



## การศึกษาวัสดุจัดชีวิตของการใช้พลังงานไปสู่ภาคชนล่าง<sup>๑</sup> และการคำนวณเปรียบเทียบประโยชน์ของเครื่องจักรในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า และเชื้อเพลิงชีวภาพ

งานวิจัยนโยบายองค์กร

ฝ่ายบริหารกลยุทธ์และนโยบายองค์กร

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

ธันวาคม 2564

## บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

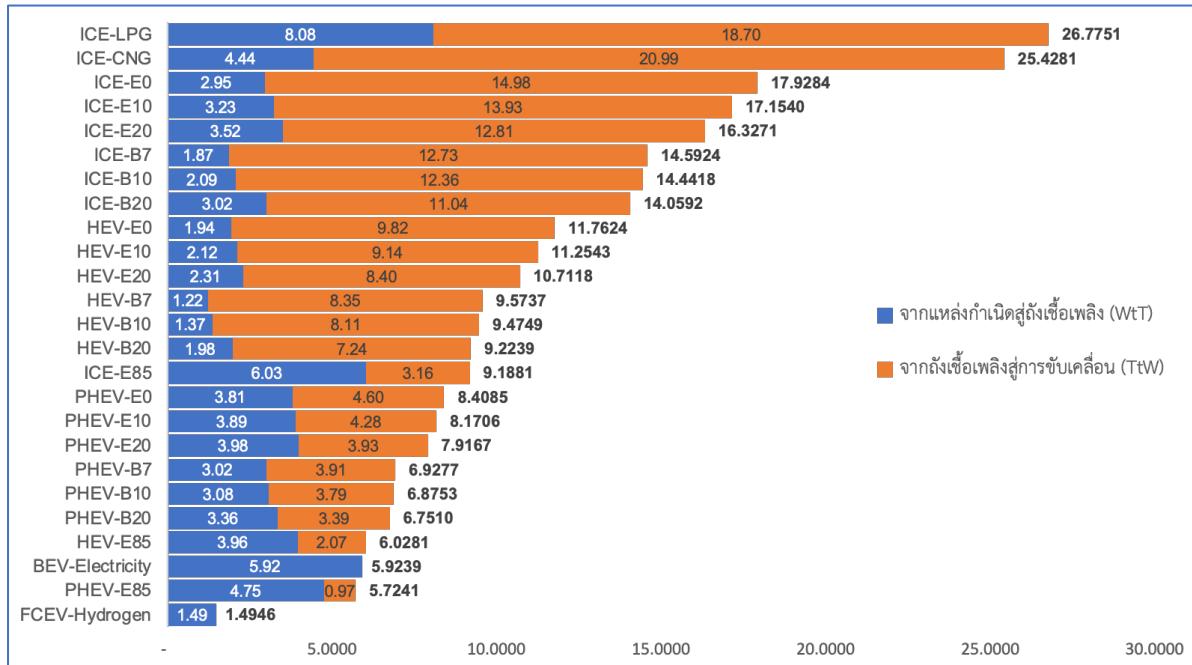
ประเทศไทยถูกจัดอันดับโดยดัชนีความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศโลก (Global Climate Risk Index) ประจำปี พ.ศ. 2564 (Global Climate Risk Index 2021) ให้มีความเปราะบางและความเสี่ยงสูงจากผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันดับ 9 จาก 180 ประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ รัฐบาลไทยโดยนายกรัฐมนตรีได้ให้คำมั่นต่อประชาคมโลกในการก้าวสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี ค.ศ. 2050 และบรรลุเป้าหมายการลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงเป็นศูนย์ได้ในปี ค.ศ. 2065 การลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) เพื่อลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงอาจเป็นภาระที่ประเทศไทยอาจปฏิเสธได้อีกต่อไป

ภาคพลังงานไทย โดยภาคการขนส่งเป็นอิกหนึ่งสาขาที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) สูงถึงร้อยละ 18.81 ของปริมาณการปลดปล่อยรวมในปี ค.ศ. 2016 เป็นรองเพียงสาขางานผลิต พลังงาน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563) ดังนี้ ภาครัฐจึงกำหนด มาตรการสำคัญต่างๆ เพื่อลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคการขนส่งไทยดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มาตรการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และมาตรการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยกำหนด เป้าหมายสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งหมายรวมถึงเชื้อเพลิงชีวภาพ ต่อการใช้ พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2580 และกำหนดเป้าหมายให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่ใช้ ไฟฟ้าที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578 ทั้งนี้ เนื่องจากทั้งมาตรการการส่งเสริมเชื้อเพลิง ชีวภาพ (Biofuel) และยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ต่างเป็นเทคโนโลยีภาคการขนส่งทางถนนที่มีศักยภาพในการลด การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากภาคขนส่ง

อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงชีวภาพมีกระบวนการเพาะปลูกและการแปรรูป ขณะที่ยานยนต์ไฟฟ้าต้องการ การผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมจากแหล่งพลังงานต่างๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมหรืออย่างน้อยก็ แตกต่างจากการณ์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ทั่วไป ดังนั้น การศึกษา เปรียบเทียบผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจากการเหล่านี้จึงมี ความสำคัญ และสามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้ด้วยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ภายใต้การศึกษานี้ อยู่บนพื้นฐานแนวคิด “การวิเคราะห์จาก แหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel: WtW)” ซึ่งจำแนกการพิจารณาวัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิง ภาคขนส่งออกเป็น 2 ส่วน คือ “การวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิดสู่ถังเชื้อเพลิง (Well-to-Tank: WtT)” และ “การวิเคราะห์จากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (Tank-to-Wheel: TtW)” ซึ่งสามารถวิเคราะห์การปลดปล่อย แก๊สเรือนกระจกได้ครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่ง โดยไม่รวมวัฏจักรชีวิตของยาน ยนต์

โดยผลกระทบศึกษา สามารถเรียงลำดับพลังงานเชื้อเพลิงที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) จำนวนมากไปน้อยได้ ดังปรากฏในแผนภาพดังนี้



จากแผนภาพจะเห็นภาพรวมผลกระทบศึกษาว่า กลุ่มพลังงานแก๊สเชื้อเพลิงภาคชนส่งไทย ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงที่สุดอย่างโดดเด่นภายใต้การศึกษา รองลงมาเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล กล่าวคือ น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (E0) ถัดจากนั้นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (น้ำมันไบโอดีเซลน้ำมันแก๊สโซหอล E10, E20 และ E85 และน้ำมันไบโอดีเซลในรูปของน้ำมันไบโอดีเซล B7, B10 และ B20) เชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิงพลังงานไฮโดรเจน ตามลำดับ

นอกจากนี้ พบทข้อสังเกตที่น่าสนใจบางประการจากการศึกษา ได้แก่

กรณีเชื้อเพลิงฟอสซิล: การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของทั้งน้ำมันเบนซิน (E0) และดีเซล (B0) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง TtW นอกจากนี้ ในกรณีที่ยานยนต์มีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน เครื่องยนต์ดีเซลจะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยกว่าเครื่องยนต์เบนซิน

กรณีเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้า: แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้ามีอิทธิพลอย่างมากต่อศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) กล่าวคือ เมียนยนต์ไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบอย่างมากจากประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยไม่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกหรือปลดปล่อยเป็นศูนย์ในช่วง TtW อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยยังคงพึ่งพาพลังงานฟอสซิลจากแก๊สธรรมชาติและถ่านหินเป็นหลัก ทำให้การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) สูงกว่าการปลดปล่อยในช่วง WtT ของการ

ผลิตเชื้อเพลิงเบนซิน (EO) สำหรับยานยนต์สันดาปภายในทั่วไป (ในหน่วย  $\text{kgCO}_2\text{eq/MJ}$  หรือ  $\text{kgCO}_2\text{eq/100 km}$ ) อย่างไรก็ดี พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) มีศักยภาพที่จะสามารถเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกเชิงพาณิชย์ที่ดีที่สุดหรือจะสามารถแสดงศักยภาพด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในแต่ของการลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจาก ได้เต็มศักยภาพ ก็ต่อเมื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานชีวนิวเคลียร์

กรณีเชื้อเพลิงไฮโดรเจน: ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจากตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) ของพลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) ต่ำที่สุดภายใต้การศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับภาคการขนส่งยังไม่แพร่หลายในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น การศึกษาจึงให้ข้อสังเกตว่า เชื้อเพลิงไฮโดรเจนมีศักยภาพด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในฐานะเชื้อเพลิงภาคการขนส่งแห่งอนาคต

กรณีแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับภาคการขนส่ง (LPG และ CNG): แก๊สเชื้อเพลิง LPG และ CNG มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจากตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ภายใต้การศึกษานี้ (ในหน่วย  $\text{kgCO}_2\text{eq/100km}$ ) เนื่องจากยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่ใช้แก๊ส มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน (EO) ทั่วไป อีกทั้งการเผาไหม้แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel): เชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งไปโอดีทานอล (E100) และ ไบโอดีเซล (B100) มีศักยภาพในการช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจากของเชื้อเพลิงฟอสซิล (เบนซิน และดีเซล) เมื่อผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซชอล (E10, E20 และ E85) และน้ำมันไปโอดีเซล (B7, B10 และ B20) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ช่วยลดการปลดปล่อยฯ ในช่วง TtW แม้จะปลดปล่อยแก๊สร้อนระจากสูงกว่าเบนซิน (EO) และดีเซล (BO) ในช่วง WtT อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในภาพรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพผสมก็ต่ำกว่าเบนซิน (EO) และดีเซล (BO) ทั่วไป

กรณีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้า (xEV): การบูรณาการเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม ซึ่งเป็นเทคโนโลยียานยนต์ที่ผสมผสานระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้แก่ ยานยนต์ไฮบริด (HEV) และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจากในภาคขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีการใช้น้ำมันแก๊สโซชอล E85 ร่วมกับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85) และน้ำมันแก๊สโซชอล E85 ร่วมกับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85) มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจากตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ใกล้เคียงกันกับการปลดปล่อยฯ ของเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) บนเงื่อนไขส่วนผสมแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าที่พึ่งพิงพลังงานฟอสซิลของไทยในปัจจุบัน

ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษายังสังเกตพบ ความลักษณะของนโยบายภาครัฐไทยในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและยานยนต์ไฟฟ้า (Biofuel vs ZEV) เนื่องจากนโยบายการสนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้าที่

ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคขันส่งไทย จนอาจนำไปสู่การยกเลิกการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในที่สุด ซึ่งจะกระทบเกี่ยวกับเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบกับเกษตรกรรมน้ำมันปาล์ม อ้อย และปาล์ม ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันอาหารและใบโอดีเซล รวมถึงประเด็นอุปสรรคในเรื่องความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะอย่าง ความพร้อมด้านพลังงานไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งระบบ ซึ่งนับเป็นปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จในการขับเคลื่อนนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในหลากหลายอาณาจารย์ประเทศในทวีปยุโรป ดังนั้นจึงนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายหลักสามประการ ดังนี้

1. ภาครัฐควรผลักดันแนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) ในระยะแรก และควรบททวนแนวทางการผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในระยะถัดไป เนื่องจากแนวทางการผลักดันสู่ฐาน ZEV จะส่งผลกระทบต่อฐานการผลิตเดิมทั้งระบบเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบกับเกษตรกรรมน้ำมันปาล์มน้ำมัน ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันอาหารและใบโอดีเซล โดยการผลักดันสู่การเป็นฐาน xEV ในระยะแรกเป็นทางเลือกที่ช่วยจำกัดขอบเขตของผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างน้อยช่วยลดผลกระทบในช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนผ่านไปสู่การพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด

2. ภาครัฐควรกำหนดช่วงระยะเวลาเปลี่ยนผ่านที่ชัดเจน เพื่อพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด โดยเร่งปรับนโยบายการจัดหาพลังงานไฟฟ้าที่มุ่งเน้นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ซึ่งจะช่วยลดค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) รวมทั้งปรับนโยบายที่ไม่ยึดหยุ่นจากการมีสัญญาผูกพันระยะยาว และสนับสนุนการใช้กระแสไฟฟ้าพลังงานสะอาดในภาคขันส่งทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะเดียวกัน ภาครัฐควรเร่งลงทุนพัฒนาระบบสายส่งสายจำหน่ายที่เชื่อมโยงระบบสมาร์ทกริดและสร้างกลไกการแข่งขัน เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างกลไกตลาดและระดับให้เกิดการแข่งขันที่โปร่งใสในการผลิต การบริโภค และการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด ผ่านเครือข่ายการมีส่วนร่วมของประชาชน ในบทบาทของผู้ผลิตระยะไฟฟ้าให้เองและซื้อจากระบบ (Prosumer) โดยไม่ควรพึ่งเทคโนโลยีพลังงานสะอาดประเภทใดประเภทหนึ่งเป็นพิเศษ ทั้งนี้ แม้ควรเร่งปรับนโยบายเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างแหล่งพลังงานผลิตยะไฟฟ้า รวมทั้งเร่งลงทุนโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบสมาร์ทกริด ระบบสายส่งสายจำหน่าย ตลอดจนสถานประจุไฟฟ้า แต่การเปลี่ยนแปลงควรเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อกำกับผลกระทบต่อภาระค่าไฟฟ้าที่จะตกแก่ประชาชนผู้บริโภคไฟฟ้าทั่วประเทศ

ควบคู่ไปกับการเตรียมความพร้อมด้านพลังงานไฟฟ้าและโครงสร้างพื้นฐานในช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านดังกล่าว ภาครัฐควรสร้างกลไกการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตยานยนต์แต่ละค่าย โดยให้กลไกตลาดเป็นตัว

ขับเคลื่อนและผลักดันผู้ผลิตยานยนต์นำเสนอยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช่ยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) 100% เข้ามายிநตลาด เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันในตลาดห้างห้างด้านราคาและคุณภาพต่อไป

3. เพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานภาคขนส่งในช่วงเปลี่ยนผ่านนี้ ภาครัฐควรสนับสนุนการบูรณาการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แก๊สโซฮอล E85 ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจุด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) สูงของไทยในปัจจุบัน ในช่วงของการเปลี่ยนผ่านนี้ อย่างน้อยที่สุดไปจนกว่าที่จะสามารถจัดหากระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ต่ำ เช่น พลังงานไฟฟ้าที่พึ่งพาแหล่งพลังงานสะอาด และเพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคส่วนของประเทศไทย

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเชิงนโยบายฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากได้รับความรุณอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในทุกมิติจากผู้มีอุปการคุณดังต่อไปนี้

ในลำดับแรก ผู้วิจัยขอกล่าวขอบพระคุณ ดร.สมิตรา จารஸอร์จน์กุล ผู้ริเริ่มโครงการศึกษาเชิงนโยบาย ขึ้นนี้ขึ้น พร้อมทั้งกรุณายield คำปรึกษา ตลอดจนสละเวลาอันมีค่าอย่างทั้งในและนอกเวลาราชการ ทุ่มเทให้ข้อมูล ความรู้ และคำปรึกษา ตั้งแต่พื้นฐานนับหนึ่งจนก่อร่างเป็นรายงานฉบับนี้

รวมถึง ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.นุวงศ์ ฉลคุป และ ดร. พิริวัฒน์ สายสิริรัตน์ ผู้ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เทคนิควิธีการต่างๆ ทั้งหมด ตลอดจนให้คำปรึกษาและ ข้อเสนอแนะ

นอกจากนี้ ผู้ร่วมเดินทางที่ขาดไม่ได้ตั้งแต่ต้นจนตลอดโครงการศึกษา อันได้แก่ คุณดารารัตน์ รัชданรักษ์ และคุณจันทนา สุกใส ผู้ร่วมสละเวลาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับ การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ทั้งหมดทั้งมวลนี้ ผู้วิจัยยังคงถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของผู้มีอุปการคุณทุกท่าน ทั้งเบื้องหน้าและเบื้องหลัง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงอีกรอบ ณ ที่นี่

สุดท้ายนี้ ไม่มีงานวิจัยขึ้นใดที่จะไม่มีข้อจำกัด ปัญหาและอุปสรรค ไม่เว้นแม้กระทั่งรายงานวิจัยฉบับนี้ ฉะนั้นแล้วสำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้การศึกษาวิจัยขึ้นนี้นั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว และยินดียิ่งที่จะรับฟังคำแนะนำและคำติชมจากผู้ที่สนใจทุกท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัย ต่อไป

บัญชา ดอกไม้

ธันวาคม 2564

## สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary) .....	ก
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
3. ขอบเขตการศึกษา.....	3
4. วรรณกรรมปริทัศน์ .....	4
4.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของไทย .....	4
4.2 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในบริบทของประเทศไทย .....	6
4.3 แนวทางการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในบริบทของสาขาวิชาฯ ส่งไทย .....	7
5. วิธีการศึกษา (Research Methodology) .....	10
5.1 กรอบแนวคิด (THEORETICAL FRAMEWORK) .....	10
5.2 กรอบการคำนวณผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม .....	13
6. ผลการศึกษา (Research Results and Discussion) .....	21
6.1 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WTT จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ที่ใช้ในภาคขนส่งไทย....	21
6.2 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TTW ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย .....	26
6.3 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WTW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการ ขนส่งไทย.....	31
7. ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา (Contributions of the Study) .....	39
7.1 ความลักลั่นของนโยบายภาครัฐไทยในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและยานยนต์ไฟฟ้า (BIOFUEL vs ZEV) อาจส่งผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง .....	39
7.2 การพัฒนาส่วนผสมแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (GRID ENERGY MIX) ไปสู่การพึ่งพาแหล่ง พลังงานหมุนเวียน .....	42
7.3 การสนับสนุนการใช้พลังงานและเทคโนโลยีภาคขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงด้านสิ่งแวดล้อมในช่วง เปลี่ยนผ่านนี้ .....	45
8. บทสรุปและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย (Conclusion and Policy Recommendation) .....	46
8.1 บทสรุป .....	46
8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย .....	49
8.3 ความสอดคล้องของข้อเสนอแนะกับร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 .....	50
บรรณานุกรม .....	52

# การศึกษาวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของการใช้พลังงานไปสู่ภาคชนส่ง และการคำนวณเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

## 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากที่ประชุมคณะกรรมการขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจ BCG Model สาขาพลังงาน วัสดุ และเคมีชีวภาพ ครั้งที่ 4/2564 เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2564 มีข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะให้ “ควรจัดทำโครงการศึกษาวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานไปสู่ภาคชนส่ง การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน และ เปรียบเทียบการคำนวณรอยเท้าคาร์บอน ในการใช้เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) กับ เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ตลอด Value Chain”

มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้น้ำมันแก๊สโซเชอรอล และ น้ำมันไบโอดีเซล ถูกนำมาใช้ในภาคชนส่งไทยในฐานะหนึ่งในเครื่องมือการอนุรักษ์พลังงานและลดการ ปลดปล่อยคาร์บอนภาคการขนส่ง โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560) คาดว่า มาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจะสามารถช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคชนส่งไทยได้ราว 10 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าภายในปี พ.ศ. 2573 นอกจากนั้น ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) เป็นเทคโนโลยี ภาคการขนส่งทางถนนที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนพลังงานฟอสซิล ต้องผ่านกระบวนการวิธีและ กระบวนการผลิตเฉพาะ เช่น การเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และแปรรูป ในขณะที่การสนับสนุนการใช้ยานยนต์ ไฟฟ้า (EV) ก็ต้องการการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ซึ่งได้มาจากแหล่งพลังงานต่างๆ ทั้งแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ หรือแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลัง น้ำ เป็นต้น เพื่อรับรองการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าทดแทนยานยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE based vehicles) ดังนั้น มาตรการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในภาคชนส่งไทยเหล่านี้ ล้วน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ทั้งในแง่ของปริมาณและรูปแบบของ ผลกระทบ ซึ่งกับประเภทของแหล่งพลังงานนั้นๆ หรืออย่างน้อยก็แตกต่างจากการณ์เปรียบเทียบกับผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้รถยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปอย่างเดียว เป็นผลอาจ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้งานการขนส่งทางถนนที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไป

ดังนั้น การแลกเปลี่ยนผลประโยชน์ (Trade-off) ระหว่างการใช้งานยานยนต์ทางถนนที่เปลี่ยนแปลง ไปตามมาตรการสนับสนุนของรัฐ กับผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจาก

มาตรการเหล่านี้ สามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Assessment: LCA) ยิ่งไปกว่านั้น วิธีการประเมินดังกล่าวเนี่ยสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดสรรค์ประเภท พลังงานทางเลือกกับเทคโนโลยียานยนต์ทางถนนต่างๆที่เหมาะสม ให้เกิดประโยชน์กับการวางแผนการลดการ ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และนำพาประเทศไทยไปสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ระดับประเทศ ภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) และก้าวสู่การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิ เป็นศูนย์ (Net Zero Emission) ระดับประเทศได้ภายในปี พ.ศ. 2608-2613 (ค.ศ. 2065-2070)

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อจัดการกับข้อกังวลว่าด้วยการพิจารณาผลลัพธ์การแลกเปลี่ยนผลประโยชน์ (Trade-off) ระหว่าง การใช้งานเทคโนโลยียานยนต์ทางถนนร่วมกับแหล่งพลังงานประเภทต่างๆ กับผลกระทบด้านลบต่อ สิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการของรัฐ การศึกษานี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์และคำนวณภาระด้าน สิ่งแวดล้อมของสถานภาพการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสำหรับการขับเคลื่อนเทคโนโลยียานยนต์บนท้องถนนไทยใน ปัจจุบัน (พ.ศ.2564 หรือ ค.ศ.2021) โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เป็นเครื่องมือหลักในการ ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบและคำนวณผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของปริมาณการปลดปล่อย แก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GhGs) จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ น้ำมันดีเซลและ เบนซินในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (Biofuel) แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas: LPG) แก๊สธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas: CNG) สำหรับเทคโนโลยียานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ยานยนต์ไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV) และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Vehicle: PHEV) รวมถึงผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า (xEV) ได้แก่ ยานยนต์ ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) และยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) ตลอดจนพลังงาน ไฮโดรเจนสำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV) ภายใต้การสมมติฐานแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน (Grid Energy Mix) ที่สอดคล้องกับการดำเนินงานตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า ปี ค.ศ.2018 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Rev.1)

ทั้งนี้ เพื่อบรรลุจุดมุ่งหมายดังกล่าว การศึกษารั้งนี้จำแนกวัตถุประสงค์ออกเป็นสามประการ ได้แก่

ประการแรก เพื่อศึกษาวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งไทยใน ปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้า ในภาค การขนส่ง

ประการที่二 เพื่อคำนวณเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ตลอดวัฏจักร ชีวิตของพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งไทยในปัจจุบัน

# ประการสุดท้าย เพื่อพัฒนาข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อนำเสนอผลการศึกษาต่อคณะกรรมการ ขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจ BCG Model สาขาวิชาพลังงาน วัสดุ และเคมีชีวภาพ

## 3. ขอบเขตการศึกษา

1. ประเภทพลังงานเชื้อเพลิง: การศึกษาจะพิจารณาเฉพาะประเภทพลังงานเชื้อเพลิงกรณีศึกษาที่มีการใช้ในภาคการขนส่งไทยบนถนน กล่าวคือ เชื้อเพลิงตัวพาพลังงาน (Energy Carriers) เชิงพาณิชย์ ประเภทต่างๆ โดยครอบคลุม น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (E0), เชื้อเพลิงชีวภาพผสม ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซเชล 91 (E10), 95 (E10), E20 และ E85, น้ำมันไบโอดีเซล B7, B20 และน้ำมันไบโอดีเซล ธรรมดा (B10), แก๊สเชื้อเพลิงเฉพาะประเภทที่มีใช้ในภาคขนส่งไทย ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) และเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานกระแสไฟฟ้า และพลังงานไฮโดรเจน ( $H_2$ ) สำหรับกักเก็บกระแสไฟฟ้า
2. ประเภทเทคโนโลยียานยนต์: การศึกษาจะพิจารณาเฉพาะประเภทเทคโนโลยียานยนต์ที่มีการใช้ในภาคการขนส่งไทยบนถนน ได้แก่ เทคโนโลยียานยนต์สันดาปภายใน (ICE), ยานยนต์ไฮบริด (HEV), ยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV), ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเชลล์เชื้อเพลิง (FCEV) เฉพาะขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน เพื่อสามารถนำมาศึกษาเปรียบเทียบกันได้อย่างเหมาะสมในบริบทของภาคการขนส่งไทย
3. ผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม: การศึกษาจะพิจารณาผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่มุมของรอยเท้าคาร์บอนที่แสดงออกมาในรูปของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจก (GHGs) ในหน่วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ( $CO_2$  eq) ซึ่งในที่นี้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) แก๊สมีเทน ( $CH_4$ )<sup>1</sup> และแก๊สไนโตรออกไซด์ ( $N_2O$ )<sup>2</sup>
4. แนวคิดการศึกษาวัฏจักรชีวิตพลังงาน: การศึกษาจะแสดงและพิจารณาวัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิง แต่ละประเภทบนพื้นฐานแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel: WtW)” ซึ่งถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากสามารถพิจารณาครอบคลุมตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการดึงทรัพยากรไปใช้เพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิง ไปจนถึงจุดสิ้นสุดของพลังงานเชื้อเพลิงที่ถูกนำไปใช้เพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนน โดยมีได้หมายรวมถึงวัฏจักรชีวิตของการผลิตยานพาหนะและโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ นอกจากนี้ แนวคิด WtW สามารถระบุถึง

<sup>1</sup> แก๊สมีเทน ( $CH_4$ ) ปริมาณ 1 หน่วยต่อน้ำหนัก มีผลกระทบเชิงลบต่อสภาพโลกร้อน มากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ในปริมาณเท่ากันถึง 25 เท่า (IPCC, 2019)

<sup>2</sup> แก๊สไนโตรออกไซด์ ( $N_2O$ ) ปริมาณ 1 หน่วยต่อน้ำหนัก มีผลกระทบเชิงลบต่อสภาพโลกร้อน มากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ในปริมาณเท่ากันถึง 298 เท่า (IPCC, 2019)

ความแตกต่างในเชิงปริมาณของผลกระทบจากผลิตภัณฑ์พลังงานขั้นสุดท้ายชนิดเดียวกัน แต่ผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกัน และ/หรือผ่านกระบวนการผลิตพลังงานแตกต่างกัน และ/หรือลูกนำไปใช้กับเทคโนโลยี yanyn ที่แตกต่างกัน เช่น สามารถระบุปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจุของเชื้อเพลิงกระแสไฟฟ้าชนิดเดียวกัน แต่ลูกแห่งผลิตภัณฑ์งานที่แตกต่างกันระหว่างแหล่งผลิตพลังงานฟอสซิลและแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น

## 4. วรรณกรรมปริทัศน์

### 4.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของไทย

ประเทศไทยมีความเปราะบางและมีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยไทยถูกจัดให้อยู่ในอันดับที่ 9 จาก 180 ประเทศทั่วโลกในบัญชีรายชื่อประเทศที่เผชิญความเสี่ยงจากการได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วมากที่สุดระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2562 ตามดัชนีความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศโลก (Global Climate Risk Index) ประจำปี พ.ศ. 2564 ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยดัชนีดังกล่าวจัดอันดับประเทศต่างๆ ตามระดับความเสี่ยงและความเปราะบางต่อเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว พิจารณาจากการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ซึ่งความรุนแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอุณหภูมิโลกเฉลี่ยที่สูงขึ้น (Eckstein et al., 2021)

ตารางที่ 1 ประเทศไทย อันดับแรกที่เผชิญความเสี่ยงจากการได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สภาพอากาศสุดชั่วมากที่สุด ระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2562 ตามดัชนีความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศโลก (Global Climate Risk Index 2021)

CRI 2000-2019 (1999-2018)	Country	CRI score	Fatalities	Fatalities per 100 000 inhabitants	Losses in million US\$ PPP	Losses per unit GDP in %	Number of events (2000-2019)
<b>1 (1)</b>	Puerto Rico	7.17	149.85	4.12	4 149.98	3.66	24
<b>2 (2)</b>	Myanmar	10.00	7 056.45	14.35	1 512.11	0.80	57
<b>3 (3)</b>	Haiti	13.67	274.05	2.78	392.54	2.30	80
<b>4 (4)</b>	Philippines	18.17	859.35	0.93	3 179.12	0.54	317
<b>5 (14)</b>	Mozambique	25.83	125.40	0.52	303.03	1.33	57
<b>6 (20)</b>	The Bahamas	27.67	5.35	1.56	426.88	3.81	13
<b>7 (7)</b>	Bangladesh	28.33	572.50	0.38	1 860.04	0.41	185
<b>8 (5)</b>	Pakistan	29.00	502.45	0.30	3 771.91	0.52	173
<b>9 (8)</b>	Thailand	29.83	137.75	0.21	7 719.15	0.82	146
<b>10 (9)</b>	Nepal	31.33	217.15	0.82	233.06	0.39	191

ที่มา: Eckstein et al. (2021, p.13)

ยิ่งไปกว่านั้น ในช่วงเวลาดังกล่าว ประเทศไทยเผชิญกับเหตุการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากกว่า 140 ครั้ง ส่งผลให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจสูงถึง 7,719 ล้านдолลาร์อเมริกัน สูงเป็นอันดับ 3 ของโลกในประเด็นเฉพาะผลกระทบทางเศรษฐกิจ เป็นรองเพียงจีนและอินเดีย และนับเป็นปีที่หากติดต่อกันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ที่ไทยอยู่ใน 10 อันดับแรกของโลกในการจัดอันดับดัชนีดังกล่าว (Eckstein et al., 2021)

เพื่อลดการเผชิญความเสี่ยงจากการเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับระบบเศรษฐกิจไทยจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สพ.) ได้ศึกษาคาดการณ์ผลกระทบต่อเศรษฐกิจในระยะยาว ผ่านแบบจำลองดุลยภาพทั่วไป (Computable General Equilibrium: CGE) พบว่า กรณีรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) โดยทำการปลดปล่อยแก๊สรีอนกระจากสุทธิของไทยเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2633 (ค.ศ. 2090) จะสามารถลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ (GDP loss) ลงได้ร้อยละ 2.6 ในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) และร้อยละ 18.0 ในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) ตามลำดับ ในขณะที่ หากสามารถรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิได้มีเกิน 1.5 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) หรือการปลดปล่อยแก๊สรีอนกระจากสุทธิของไทยเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) จะสามารถลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจลงได้ร้อยละ 9.2 ในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) และร้อยละ 66.5 ในปี

พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) ตามลำดับ (กรรมการ ธรรมพาณิชวงศ์, วิษณุ อรรถawanich, บัณฑิต ลิ่มมีโชคชัย, & อัศมน ลิ่มสกุล, 2021)

ยิ่งไปกว่านั้น บันทึกการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสมัยที่ 26 (the 26th UN Climate Change Conference of the Parties: COP26) ณ เมืองกลาสโกว ประเทศสหราชอาณาจักร เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2564 นายกรัฐมนตรีไทย พล.อ. ประยุทธ์ จันทร์โอชา ได้ให้คำมั่นต่อประชาคมโลก ภายใต้บางส่วนของสุนทรพจน์ความยั่งยืน 4 นาที (ไทยคู่ฟ้า ทำเนียบรัฐบาล, 2564) ความว่า

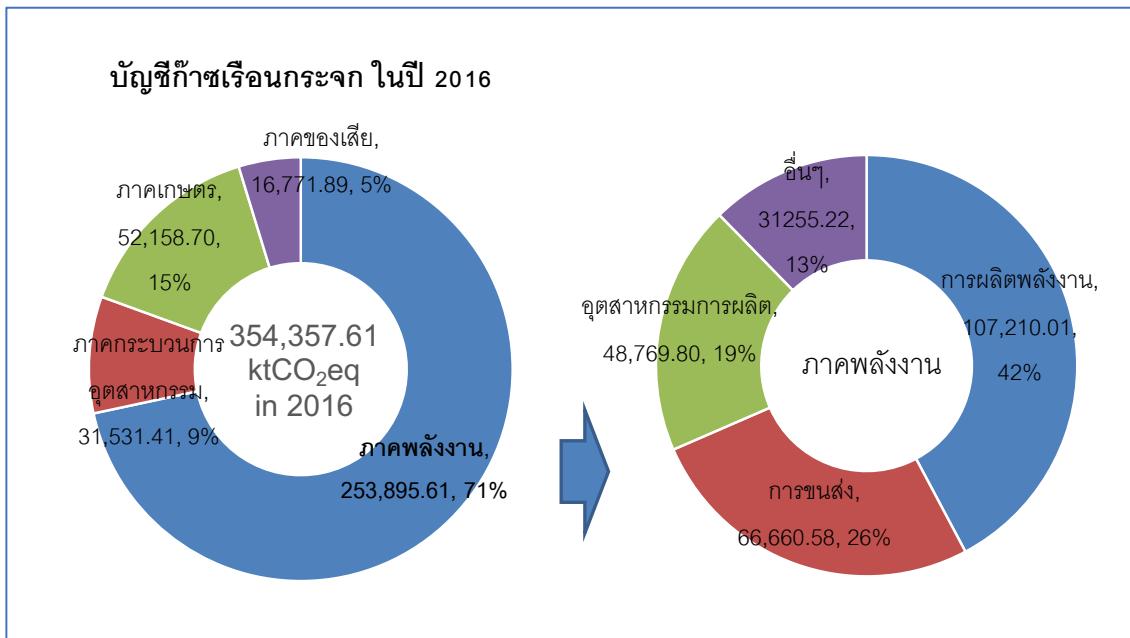
“... ประเทศไทยจะยกระดับการแก้ไขปัญหาภูมิอากาศอย่างเต็มที่และด้วยทุกวิถีทาง เพื่อให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี 2050 และบรรลุเป้าหมายการปล่อยแก๊สร้อนกระจกสูงสุดที่เป็นศูนย์ได้ภายใน หรือก่อนหน้า ปี 2065 ด้วยการสนับสนุนทางด้านการเงินและเทคโนโลยีอย่างเต็มที่และเท่าเทียม รวมถึงการเริ่มสร้างขีดความสามารถจากความร่วมมือระหว่างประเทศไทยและกลไกภายใต้กรอบอนุสัญญา ผนมั่นใจว่าประเทศไทยจะสามารถบรรลุ NDC ของเรารีบเป็นร้อยละ 40 ได้ ซึ่งจะทำให้การปล่อยแก๊สร้อนกระจกสูงสุดของไทยเป็นศูนย์ได้ภายในปี 2050”

ฉะนั้น เป้าหมายการลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจก (GhGs) ไปสู่ในระดับที่สามารถรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) หรือการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของไทยภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) จึงอาจเป็นทั้งข้อเสนอ ทางออก และคำมั่นที่ไทยมิอาจปฏิเสธได้ หากต้องการลดความเสี่ยงและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้ได้มากและรวดเร็วที่สุด

## 4.2 การปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจก (GhGs) ในบริบทของประเทศไทย

ประเทศไทยปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจก (GhGs) ซึ่งในที่นี้นับประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และแก๊สไนโตรออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) แต่ไม่รวมการใช้ที่ดินและป่าไม้ (Land Use, Land Use Change and Forestry: LULUCF) ในปี พ.ศ. 2559 รวมปลดปล่อย 354,357.61 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ( $\text{ktCO}_2\text{eq}$ ) ในขณะที่ปริมาณแก๊สร้อนกระจกที่ถูกคูดซับ/กักเก็บสูงจากการใช้ที่ดินและป่าไม้ (LULUCF) มีปริมาณคูดซับ 91,134.15 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ( $\text{ktCO}_2\text{eq}$ ) กล่าวอีกนัยหนึ่ง ประเทศไทยปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกสูงสุด ( $\text{GhGs}$ ) ในปี พ.ศ. 2559 สูง 263,223.4 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ( $\text{ktCO}_2\text{eq}$ )

เมื่อพิจารณารายละเอียดในระดับสาขา ดังแสดงใน แผนภาพที่ 1 แล้วพบว่า ภาคพลังงานมีสัดส่วนการปลดปล่อยสูงที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 71.65 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกทั้งหมดในปีดังกล่าว รองลงมา ได้แก่ ภาคเกษตร, ภาคอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ และภาคของเสีย ปลดปล่อยในสัดส่วนร้อยละ 14.72, 8.89 และ 4.73 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกทั้งหมด ตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563)



แผนภาพที่ 1 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของประเทศไทยรายสาขา ในปี พ.ศ. 2559  
(ไม่รวมภาคป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563)

ยิ่งไปกว่านั้น หากพิจารณาองค์ประกอบของภาคการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคพลังงาน ซึ่งเป็นภาคการผลิตที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยสูงที่สุดดังกล่าว นั้น จะพบว่า ดังแสดงใน แผนภาพที่ 1 สาขางานที่ส่งเป็นสาขาวิชาที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงถึง 26.26 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือคิดเป็นร้อยละ 18.81 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด เป็นรองเพียงสาขางานผลิตพลังงาน ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 42.23 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาค พลังงาน หรือประมาณร้อยละ 30.25 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด ดังนั้น สาขางานที่ส่งจึงนับเป็นสาขาวิชาหลักที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุดสาขานั่นของไทย

#### 4.3 แนวทางการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในบริบทของสาขางานส่งไทย

##### 4.3.1 มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ในภาคการขนส่ง

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สพ.) จัดทำแผนที่นำทางการลดแก๊สเรือนกระจกของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2564–2573 เพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อนให้บรรลุเป้าหมายการลดแก๊สเรือนกระจกภายใต้ข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศไทยในการลดแก๊สเรือนกระจกและการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลังปี พ.ศ. 2563 (Nationally Determined Contribution: NDC) ซึ่งต้องเสนอต่อกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations

Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

โดยแผนที่นำทางฉบับดังกล่าวพิจารณาให้สาขาระบบที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกของประเทศไทย คาดหมายให้สาขาระบบที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกของประเทศไทยได้ถึง 41 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (mtCO<sub>2</sub>eq) ภายในปี พ.ศ. 2573 ผ่านมาตรการที่สำคัญสองประการ ได้แก่ มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการคมนาคมขนส่ง และมาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล และน้ำมันไบโอดีเซล โดยมาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพคาดว่าจะสามารถช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกได้ราว 10 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (mtCO<sub>2</sub>eq) ภายในปี พ.ศ. 2573 (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

สอดคล้องกับมาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคการขนส่งดังกล่าว คณะกรรมการรัฐมนตรี (ครม.) ได้ให้ความเห็นชอบ เมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2563 ต่อแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (Alternative Energy Development Plan 2018 - 2037: AEDP 2018) โดยมีเป้าหมายของแผนฯ ที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งหมายรวมถึงเชื้อเพลิงชีวภาพ ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2580 (ค.ศ. 2037) กล่าวคือ กำหนดเป้าหมายการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีทานอล และไบโอดีเซล จากที่มีการใช้จริงในภาคขนส่งชนิดละประมาณ 4.2 ล้านตันต่อวัน ในปี พ.ศ. 2561 เพิ่มขึ้นเป็น 7.5 และ 8 ล้านลิตรต่อวัน ตามลำดับ ภายในปี พ.ศ. 2580 (ค.ศ. 2037) หรือคิดเป็นสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมร้อยละ 9.99 ต่อเชื้อเพลิงในภาคขนส่งทั้งประเทศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563)

#### 4.3.2 มาตรการสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EVs)

นอกจากมาตรการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคการขนส่งแล้ว การสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) ก็เป็นอีกมาตรการสำคัญที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางทั่วโลกในฐานะเครื่องมือช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจกในภาคขนส่ง โดยในกรณีของไทยนั้น เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2564 คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ มีมติกำหนดเป้าหมายในการผลักดันยานยนต์ไฟฟ้าของไทยให้เป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าขับเคลื่อน 100% หรือยานยนต์ที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (Zero Emission Vehicle: ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578 (แผน ZEV@2035) โดยนับเป็นการเพิ่มเป้าหมายจากแผนงานเดิม ที่เดิมตั้งเป้าหมายการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าให้ได้ร้อยละ 30 ของปริมาณการผลิตยานยนต์ทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) หรือประมาณ 750,000 คัน (แผน 30@30) โดยเพิ่มเป้าหมายการผลิตเป็น 1.051, 6.224 และ 18.413 ล้านคัน ในปี พ.ศ. 2568 (ค.ศ. 2025), พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) และ พ.ศ. 2578

(ค.ศ. 2035) ตามลำดับ และมีเป้าหมายในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศ 1.055, 5.424 และ 15.58 ล้านคัน ในปี พ.ศ. 2568 (ค.ศ. 2025), พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) และ พ.ศ. 2578 (ค.ศ. 2035) ตามลำดับ หรือ อีกนัยหนึ่ง พร้อมกับได้ตั้งเป้าหมายการส่งออก 0.8 และ 2.82 ล้านคัน ในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) และ พ.ศ. 2578 (ค.ศ. 2035) ตามลำดับ (อาชันน เกาะไฟบูลร์, 2021)

ทั้งนี้ คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ กำลังอยู่ระหว่างการจัดทำแผนที่นำทาง (Roadmap) ของการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า โดยจะมีการพิจารณากำหนดเป้าหมายและทิศทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทยในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาวที่ขัดเจน ทั้งด้านการผลิตและการใช้ยานยนต์ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) รวมถึงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และแบตเตอรี่ไฟฟ้า ภายในประเทศไทย ต่อไป

นอกจากนี้ ในร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ก็ระบุให้การผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าให้เป็นอุตสาหกรรมใหม่ เป็นอีกหนึ่งในหมวดหมายสำคัญของแผนฯ (กรุงเทพธุรกิจ, 2564b) โดยกำหนดให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนที่สำคัญของโลก และกำหนดแนวทางการดำเนินการ 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ การเพิ่มสัดส่วนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศร้อยละ 26 ภายในปี พ.ศ. 2570 สนับสนุนการลงทุนให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าอันดับหนึ่งของอาเซียน และสร้างความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานด้วยการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5,000 หัวจ่าย และพัฒนาแรงงานในอุตสาหกรรมฯ ไม่น้อยกว่า 30,000 คน (กรุงเทพธุรกิจ, 2564a)

อย่างไรก็ตาม มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนพลังงานฟอสซิล ต้องผ่านกระบวนการวิเคราะห์และกระบวนการผลิตเฉพาะ เช่น การเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และแปรรูป (García et al., 2015; Numjuncharoen, Papong, Malakul, & Mungcharoen, 2015; Papong, Chom-In, Noksa-nga, & Malakul, 2010; Silalertruksa, Gheewala, & Pongpat, 2015) ในขณะที่การสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ก็ต้องการการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ซึ่งได้มาจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ทั้งแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ หรือแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังน้ำ เป็นต้น (Nordelöf, Messagie, Tillman, Ljunggren Söderman, & Van Mierlo, 2014; Saisirirat, Thanungkano, Thanomnim, Chollacoop, & Mungkalasiri, 2017)

ดังนั้น มาตรการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในภาคขนส่งไทยเหล่านี้ ย่อมล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ทั้งในแง่ของปริมาณและรูปแบบของผลกระทบ ขึ้นกับประเภทของกระบวนการและแหล่งพลังงานนั้นๆ หรืออย่างน้อยก็แตกต่างจากการณ์เปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปเพียงอย่างเดียว เป็นผลอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้งานการขนส่งทางถนนที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไป

ทั้งหมดนี้ จึงเป็นประเด็นน่าสนใจที่ว่า การแลกเปลี่ยนผลประโยชน์ (Trade-off) ระหว่างการใช้งานเชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์ทางถนนที่เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรการสนับสนุนของรัฐนี้ จะส่งผลให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจากการมาตรฐานเหล่านี้ในเชิงปริมาณ หรือไม่ โดยสามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Assessment: LCA) พลังงานเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

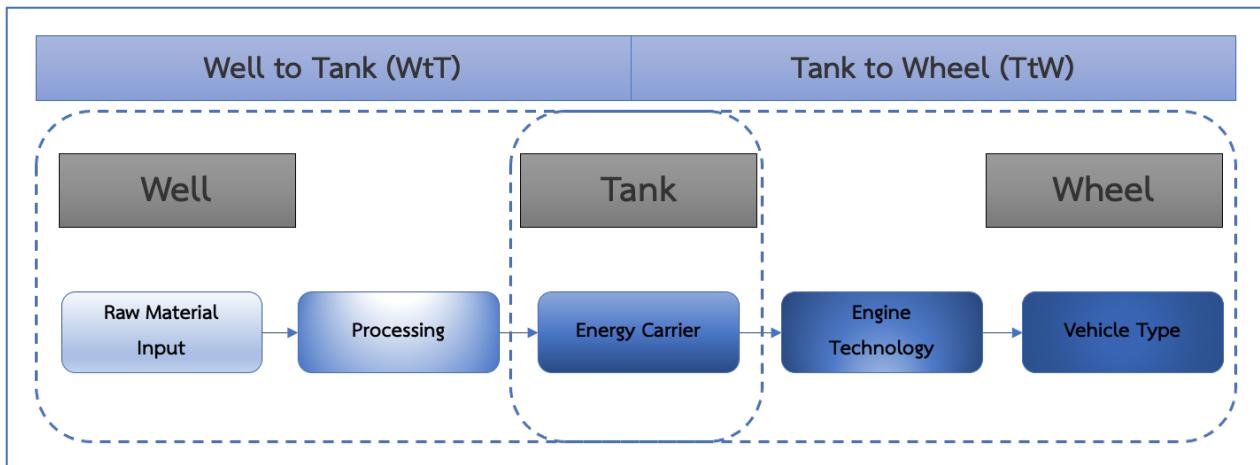
## 5. วิธีการศึกษา (Research Methodology)

### 5.1 กรอบแนวคิด (Theoretical Framework)

การศึกษานี้จะเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของการผลิตปล่อยแก๊สร้อนระจาก (GHGs) จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์ทางถนนด้วยการวิเคราะห์ตามแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well to Wheel: WtW)” ซึ่งเป็นการพิจารณาประเมินวัฏจักรชีวิตพลังงานอย่างครบวงจรตั้งแต่จุดกำเนิดของผลิตเชื้อเพลิงจากแหล่งผลิตพลังงานไปจนถึงจุดสิ้นสุดของการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนน

แนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (WtW)” นี้ถูกออกแบบให้เหมาะสมอย่างยิ่งกับการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากสามารถระบุความแตกต่างเชิงปริมาณรอยเท้าคาร์บอนได้ แม้ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์พลังงานเชื้อเพลิงขั้นสุดท้ายเป็นชนิดเดียวกัน แต่ถูกผลิตมาจากวัตถุดิบและ/หรือกระบวนการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน เช่น สามารถระบุปริมาณความแตกต่างของการผลิตปล่อยแก๊สร้อนระจากจากการผลิตไฟฟ้าแบบเดียวกันทุกประการแต่ถูกผลิตจากแหล่งที่มาของผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน รวมถึงแนวคิด WtW ดังกล่าวเนี่ย สามารถระบุความแตกต่างเชิงปริมาณได้ แม้ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์พลังงานขั้นสุดท้ายชนิดเดียวกัน แต่ถูกนำไปใช้กับใช้เทคโนโลยียานยนต์ขั้นสุดท้ายแตกต่างกัน เช่น สามารถระบุปริมาณการผลิตปล่อยแก๊สร้อนระจากที่แตกต่างกันของน้ำมันแก๊โซหูลชนิดเดียวกันที่ถูกนำไปใช้ระหว่างยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) และยานยนต์ไฮบริด (HEV) ได้ เป็นต้น (Nordelöf et al., 2014)

โดยการพิจารณาตามหลักแนวคิดดังกล่าว (WtW) สามารถจำแนกการพิจารณาได้ออกเป็นสองกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการในช่วง “จากแหล่งกำเนิดสู่ถังเชื้อเพลิง (Well to Tank: WtT)” และกระบวนการในช่วง “จากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (Tank to Wheel: TtW)” ดังแสดงในแผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 2 แนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well to Wheel: WtW)”

(Gustafsson, Svensson, Eklund, Dahl Öberg, & Vehabovic, 2021)

ยิ่งไปกว่านั้น แนวคิดจากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (WtW) นี้ ยังมีความหมายรวมกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลังงานเชื้อเพลิงภาคการขันส่งโดยเฉพาะ ในแง่ของการครอบคลุมตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการดึงทรัพยากรไปใช้เพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิง ไปจนถึงจุดสิ้นสุดของการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์ แต่ไม่ได้หมายรวมถึงวัฏจักรชีวิตของการผลิตยานพาหนะและโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ (Gustafsson, Svensson, Eklund, Dahl Öberg, et al., 2021) กล่าวคือ การประเมินวัฏจักรชีวิตพลังงานในส่วนของกระบวนการในช่วง “จากแหล่งกำเนิดสู่เชื้อเพลิง (WtT)” ภายใต้การศึกษานี้ จะพิจารณา ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเที่ยบ ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ) ที่เกิดจากกระบวนการผลิตพลังงานขั้นต้น เช่น การผลิตพลังงานเชื้อเพลิงในรูปพลังงานชีวภาพบริสุทธิ์ (Biofuel เช่น E100 และ B100) ไปสู่กระบวนการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงตัวพาลังงาน (Energy Carriers) เชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล 91<sup>3</sup> 95<sup>4</sup> E20<sup>5</sup> และ E85<sup>6</sup> น้ำมันไบโอดีเซล B7<sup>7</sup> B20<sup>8</sup> และ น้ำมันไบโอดีเซลธรรมชาติ<sup>9</sup>

<sup>3</sup> น้ำมันแก๊สโซฮอล 91 คือ น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ที่ผสมกับเอทานอล ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีเขียว

<sup>4</sup> น้ำมันแก๊สโซฮอล 95 คือ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ที่ผสมกับเอทานอล ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีส้ม

<sup>5</sup> น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 คือ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ที่ผสมกับเอทานอล ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีน้ำตาล

<sup>6</sup> น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 คือ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ที่ผสมกับเอทานอล ในอัตราส่วนร้อยละ 85 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีขาว

<sup>7</sup> น้ำมันไบโอดีเซล B7 คือ น้ำมันดีเซล ที่ผสมกับไบโอดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ 7 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีเหลือง

<sup>8</sup> น้ำมันไบโอดีเซล B20 คือ น้ำมันดีเซล ที่ผสมกับไบโอดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีแดง

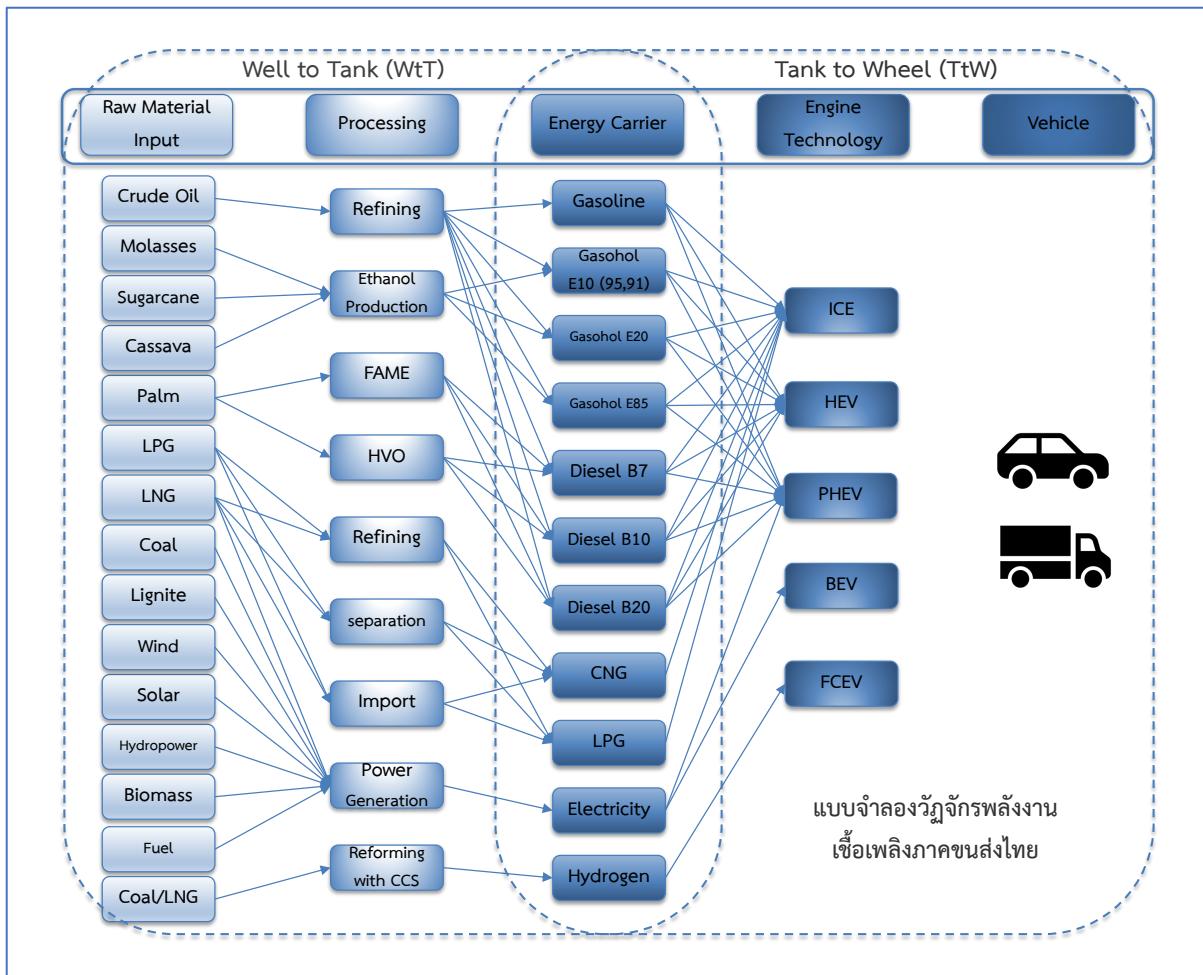
<sup>9</sup> น้ำมันไบโอดีเซลธรรมชาติ คือ น้ำมันดีเซล ที่ผสมกับไบโอดีเซล ในอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 7 - 20 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีขาว โดยในการศึกษาจะหมายถึงความเข้มข้นร้อยละ 10

เป็นต้น โดยจะพิจารณาความเข้มข้นของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในหน่วยของ กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเชื้อเพลิงหนึ่งลิตร ( $\text{kg CO}_2\text{eq/litre}$ )

นอกจากนี้ การศึกษาดังครอบคุณถึงการพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จากกระบวนการผลิตตัวพาลังงานทางเลือกชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนนในไทย ได้แก่ แก๊สปีโตรเลียมเหลว (LPG), แก๊สธรรมชาติอัด (CNG), พลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทางเลือกอื่นนอกเหนือจากพลังงานฟอสซิลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในเชิงปริมาณที่สามารถเปรียบเทียบกับผลกระทบของ พลังงานฟอสซิล โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการในช่วง “จากแหล่งกำเนิดสู่จุดเชื้อเพลิง (WTt)” โดยความเข้มข้นของรอยเท้าคาร์บอนหรือปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง WTt จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จะพิจารณาในหน่วยของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพลังงานไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ชั่วโมง ( $\text{kg CO}_2\text{eq/kWh}$ ) และความเข้มข้นของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการกระบวนการผลิตแก๊สปีโตรเลียมเหลว (LPG) แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) จะพิจารณาในหน่วยของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อน้ำหนักแก๊สหนึ่ง กิโลกรัม ( $\text{kg CO}_2\text{eq/kg}$ )

ในขณะที่ การพิจารณาในส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการ “จากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW)” จะพิจารณาถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพื่อการขับขี่ยานยนต์บนถนน โดยวิเคราะห์จากยานยนต์ที่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเหมาะสมในบริบทของภาคการขนส่งไทย กล่าวคือ การศึกษาจะเน้นวิเคราะห์ผลกระทบฯ วิรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (conventional passenger car) และบรรทุกขนาดเล็ก (small pickup truck) ซึ่งยานพาหนะเหล่านี้มีสัดส่วนการใช้งานมากที่สุดบนท้องถนนในประเทศไทย หากแต่จะแตกต่างกันเฉพาะในประเด็นของประเภทตัวพาลังงานที่ใช้ในยานยนต์เพื่อการขับเคลื่อน (ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง, แก๊สปีโตรเลียมเหลว, แก๊สธรรมชาติอัด แบตเตอรี่ไฟฟ้า และ/หรือ ไฮโดรเจน) ซึ่งย่อมหมายรวมไปถึงเทคโนโลยีการขับเคลื่อนที่แตกต่างกัน (ได้แก่ เทคโนโลยียานยนต์สันดาปภายใน: ICE, ยานยนต์ไฮบริด: HEV, ยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด: PHEV, ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่: BEV หรือยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง: FCEV)

ดังกล่าวทั้งหมดข้างต้น ภาพรวมของการวิเคราะห์แสดงไว้ใน แผนภาพที่ 3 ซึ่งแสดงแผนผังเส้นทางจากการป้อนวัตถุดิบผ่านกระบวนการแปรรูปและส่งต่อไปยังตัวพาลังงาน ก่อนจะถูกนำไปใช้กับเทคโนโลยียานยนต์ที่เกี่ยวข้องเพื่อการขับเคลื่อนบนถนนในการขนส่ง



## 5.2 กระบวนการคำนวณผลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

### 1) จากแหล่งกำเนิดสู่ถังเชื้อเพลิง (Well to Tank: WtT)

เชื้อเพลิงฟอสซิล (Conventional fossil fuel) ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน (Gasoline) และ ดีเซล (Diesel) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในส่วนของ WtT จะพิจารณาผลผลกระทบจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil petroleum refinery) เป็นสำคัญ ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ สำหรับเชื้อเพลิงเบนซิน และดีเซล มีค่าเท่ากับ 13.7265 และ 7.4395 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิกะจูล ( $\text{kg CO}_2 \text{eq/GJ}$ ) ตามลำดับ (สหสย., 2560)

แก๊สเชื้อเพลิง (Gaseous fuels) ที่สำคัญในภาคการขันส่งไทย ได้แก่ แก๊สปิโตเรียมเหลว (LPG) และแก๊สรร美化ติอัด (CNG) การคำนวณผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในช่วง WtT ในส่วนนี้จะคำนึงถึงข้อเท็จจริงที่ว่า แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขันส่งบนท้องถนนประเทศไทยมีที่มาจากการผลิตและนำเข้าโดยใน

กรณีของแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในประเทศไทยมีแหล่งที่มาสำคัญสามแหล่ง ได้แก่ จากกระบวนการกรกลันน้ำมันดิบภายในประเทศ จากโรงแยกแก๊สภายในประเทศ และจากการนำเข้า ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สรีอันรักษากลไก (GHG emission factors) ในการผลิตแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) จากกระบวนการกรกลันน้ำมันดิบจากโรงแยกแก๊สภายในประเทศ และจากการนำเข้า มีค่าเท่ากับ 7.5851, 17.8301 และ 13.7365 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิจิกจูล ( $\text{kgCO}_2\text{eq/GJ}$ ) ตามลำดับ (SimaPro, 2017; สพช., 2560)

ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ในประเทศไทยมีแหล่งที่มาสำคัญสามแหล่ง ได้แก่ จากโรงแยกแก๊สธรรมชาติเหลวภายในประเทศ จากการนำเข้าจากประเทศเมียนมาร์ และจากการนำเข้าในรูปแก๊สธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas: LNG) โดยระดับการปลดปล่อยแก๊สรีอันรักษากลไก (GHG emission factors) ในการผลิตแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) จากกระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติเหลว (LNG) ภายในประเทศไทยจากการนำเข้า และจากการนำเข้าในรูปแก๊สธรรมชาติเหลว (LNG) มีค่าเท่ากับ 17.5576, 6.0985 และ 14.0872 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิจิกจูล ( $\text{kgCO}_2\text{eq/GJ}$ ) ตามลำดับ (SimaPro, 2017; สพช., 2560)

เนื่องจากมีที่มาจากการผลิตหลากหลายแหล่งผลิตสำคัญ การบริโภคแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ในประเทศไทยในภาพรวมจึงจำเป็นต้องผ่านผู้ผลิตจากแหล่งที่มาต่างๆ เหล่านี้ในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการจัดการที่ระบุไว้ในแผนพัฒนาชาติ (คณะกรรมการนโยบายพัฒนาแห่งชาติ: กพช., 2563)

**เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)** ที่สำคัญที่มีการผลิตและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวางในภาคการขนส่งไทย ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงใบโอเอทานอล (Bioethanol) และน้ำมันเชื้อเพลิงใบโอดีเซล (Biodiesel)

การผลิตเชื้อเพลิงใบโอเอทานอล (Bioethanol) ในไทย มาจากวัตถุดิบสำคัญ ได้แก่ กาหน้ำตาล (Molasses) อ้อย (Sugarcane) และมันสำปะหลัง (Cassava)

ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สรีอันรักษากลไก (GHG emission factors) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงใบโอเอทานอล (Bioethanol) บริสุทธิ์ (E100) จากกาหน้ำตาล อ้อย และมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 18.1920, 64.6300 และ 65.3046 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิจิกจูล ( $\text{kgCO}_2\text{eq/GJ}$ ) ตามลำดับ (García et al., 2015; Papong et al., 2010; Papong & Malakul, 2010; Silalertruksa et al., 2015)

ทั้งนี้ กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงใบโอเอทานอล (E100) จากกาหน้ำตาล นับรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งแต่กระบวนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว ทึบอ้อย ตลอดจนการเตรียมยีสต์ การหมัก การกลั่นและการคายน้ำ จนกระทั่งกระบวนการขนส่ง (Silalertruksa et al., 2015) ในขณะที่กรณีของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงใบโอเอทานอล (E100) จากน้ำอ้อย ภายใต้การศึกษานี้ เริ่มจากกระบวนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อย การทึบเพื่อสกัดน้ำอ้อย กระบวนการหมัก การกลั่นและการคายน้ำ และขั้นตอนการขนส่ง (García et al., 2015; Silalertruksa et al., 2015) ท้ายที่สุดในกรณีของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงใบโอเอทานอล

(E100) จามันสำปะหลังนั้น กระบวนการผลิตจะหมายรวมตั้งแต่กระบวนการเพาบปลูกและเก็บเกี่ยวน้ำมันสำปะหลัง การทำให้เป็นของเหลว ตลอดจนการหมัก การกลั่นและการคายน้ำ รวมทั้งขั้นตอนการขนส่ง (Papong & Malakul, 2010)

ทั้งนี้ สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย ได้กำหนดให้สัดส่วนการผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันน้ำอ้อย และน้ำมันสำปะหลัง ใน การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลริสูทธิ์ (E100) มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 67.46, 5.09 และ 27.45 ตามลำดับ (สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย, 2564) ดังนั้น ด้วยการคำนวณโดยเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักอ้างอิงจากสัดส่วนดังกล่าว ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Bioethanol) บริสุทธิ์ (E100) จึงมีค่าเป็น 31.7315 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิจิกะจูล ( $\text{kgCO}_2\text{eq/GJ}$ )

การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Biodiesel) ในไทย มาจากวัตถุดิบสำคัญ คือ น้ำมันปาล์มสกัด (Palm Oil) ผ่านกรรมวิธีที่สำคัญ ได้แก่ การทำให้เป็นเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester: FAME) หรือการทำให้เป็นน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenated Vegetable Oil: HVO) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำมันปาล์มให้สามารถใช้ขับเคลื่อนยานยนต์ได้

ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Biodiesel) บริสุทธิ์ (B100) จากกระบวนการ FAME และ HVO มีค่าเท่ากับ 53.5737 และ 58.9000 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิจิกะจูล ( $\text{kgCO}_2\text{eq/GJ}$ ) ตามลำดับ โดยนับรวมตั้งแต่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการกระบวนการเพาบปลูก เก็บเกี่ยวผลปาล์ม สกัดน้ำมันปาล์ม กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพดังกล่าว ตลอดจนการขนส่งน้ำมันปาล์มดิบและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (IEA-AMF, 2017; SimaPro, 2017; สถาบันฯ, 2560)

การประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ในภาคการขนส่งไทยในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ การผสมน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Bioethanol) กับน้ำมันเบนซินตามสัดส่วนต่างๆ ในรูปของน้ำมันแก๊สโซฮอล (Gasohol) และการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Biodiesel) กับน้ำมันดีเซลตามสัดส่วนต่างๆ ในรูปของน้ำมันไบโอดีเซลผสม

ในการนี้ของการผสมไบโอดีเซล (E100) ร่วมกับน้ำมันเบนซิน (EO) ได้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล 91, 95, E20 และ E85 ในสัดส่วนต่อไปนี้

- น้ำมันแก๊สโซฮอล 91: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน ออกเทน 91 (EO) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 90 ต่อ 10
- น้ำมันแก๊สโซฮอล 95: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน ออกเทน 95 (EO) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 90 ต่อ 10

- น้ำมันแก๊สโซฮอล E20: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไปโอดีเซลบริสุทธิ์ (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 80 ต่อ 20
- น้ำมันแก๊สโซฮอล E85: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไปโอดีเซลบริสุทธิ์ (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 15 ต่อ 85

ในขณะที่ ในส่วนของการผสมไปโอดีเซล (B100) ร่วมกับน้ำมันดีเซล (B0) ได้เป็นน้ำมันไปโอดีเซลธรรมชาติ (B10), น้ำมันไปโอดีเซล B7 และน้ำมันไปโอดีเซล B20 ในสัดส่วนดังต่อไปนี้

- น้ำมันไปโอดีเซล B7: ผสมเชื้อเพลิงดีเซล (B0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไปโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) ที่บำบัดด้วยกระบวนการ FAME ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 93 ต่อ 7
- น้ำมันไปโอดีเซลธรรมชาติ (B10): ผสมเชื้อเพลิงดีเซล ร่วมกับเชื้อเพลิงไปโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) ที่บำบัดด้วยกระบวนการ FAME ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 90 ต่อ 10
- น้ำมันไปโอดีเซล B20: ผสมเชื้อเพลิงดีเซล ร่วมกับเชื้อเพลิงไปโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) ที่บำบัดด้วยกระบวนการ FAME และ B100 ที่บำบัดด้วยกระบวนการ HVO ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 80 ต่อ 10 ต่อ 10

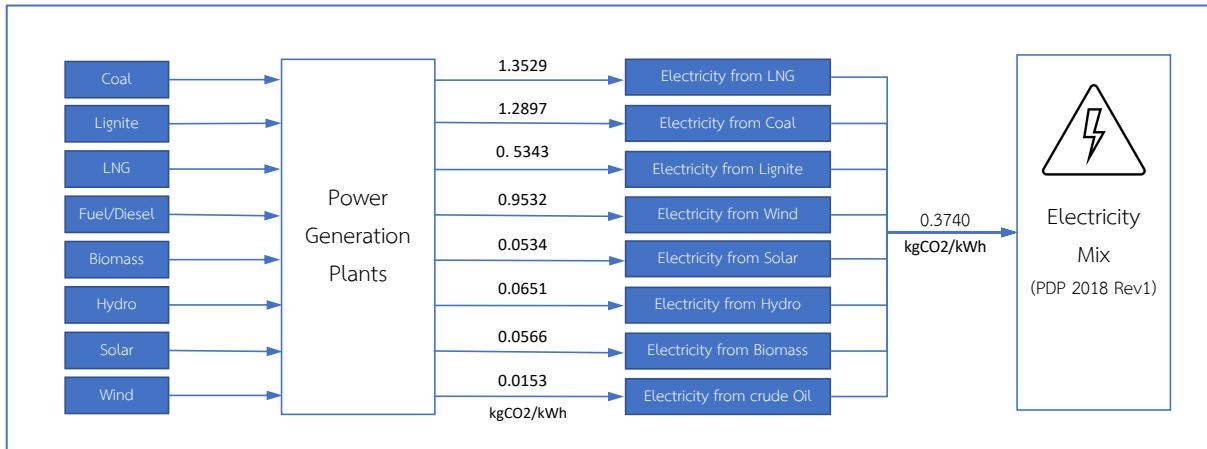
## พลังงานไฟฟ้า (Electricity)

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยมีแหล่งที่มาและแหล่งพลังงานผสมผสานหลากหลายช่องทาง ทั้งจากการผลิตภายในประเทศและการนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน จากพลังงานฟอสซิลและพลังงานทางเลือกประเภทต่างๆ ซึ่งช่องทางทั้งหมดนี้จะถูกนำมาพิจารณาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนของ WtT นี้ ตามสัดส่วนแหล่งผลิตไฟฟ้า (Grid Energy Mix) ที่ระบุในแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2561 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP2018 Rev.1) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2563) ทั้งนี้ แผนการผลิตไฟฟ้าฉบับดังกล่าว ระบุแหล่งพลังงานสำคัญ ได้แก่ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมันเตา และพลังงานหมุนเวียน (รวมถึงพลังงานชีวมวล ไฟฟ้าพลังน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานนิวเคลียร์) ซึ่งได้มาจากการแหล่งผลิตต่างๆ ได้แก่ การผลิตภายในประเทศ และจากการนำเข้าจากประเทศ สปป.ลาว และสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

กระบวนการต่างๆในการแปรรูปพลังงานจากแหล่งกำเนิดหลากหลายเหล่านี้ให้เป็นกระแสไฟฟ้าจะถูกนำมาพิจารณา ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมแหล่งพลังงาน การใช้สารประกอบเคมีและวัสดุในกระบวนการสาธารณูปโภค การขนส่งเชื้อเพลิงไปสู่โรงไฟฟ้า ตลอดจนสารที่ถูกปล่อยออกมายังทุกกระบวนการพื้นฐานอย่างไรก็ตาม การศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่การพิจารณาระบวนการผลิตไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในกระบวนการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าจะไม่ถูกนับรวมอยู่ในการศึกษานี้

ระดับการปลดปล่อยแก๊สรีอนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง WtT จากการผลิตกระแสไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2564 อาจอิงจากการคำนวณภายใต้แผนฯ PDP2018 Rev.1 มีค่าเท่ากับ 0.3740

กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2563, p.7-1) (แผนภาพที่ 4)



แผนภาพที่ 4 เส้นทางแหล่งพลังงานสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทย (Saisirirat et al., 2017)

## พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen)

การผลิตตัวพาพลังงานประเภทพลังงานไฮโดรเจนในการศึกษานี้ จะอ้างอิงถึงกระบวนการผลิตไฮโดรเจนสีฟ้า (Blue Hydrogen) กล่าวคือ ถูกผลิตขึ้นจากการเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และ/หรือ แก๊สธรรมชาติ ที่ผ่านกระบวนการดักจับและจัดเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage: CCS) (แผนภาพที่ 5) เนื่องจากในปัจจุบันมากกว่าร้อยละ 95 ของการผลิตพลังงานไฮโดรเจนทั่วโลกมีที่มาจากการเชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการแปรรูปมีเทนด้วยไอน้ำ (Steam Methane Reforming: SMR) จากแก๊สธรรมชาติและถ่านหิน (Howarth & Jacobson, 2021)

โดยการพิจารณาจะครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการสกัดวัตถุดิบจนถึงการส่งมอบที่โรงงานไฮโดรเจน อย่างไรก็ตาม การศึกษาไม่ได้หมายรวมปัจจัยทางอ้อมในกระบวนการผลิตบางประการ เช่น ของเสียหรือผลพลอยได้จากการกระบวนการผลิตที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ ปริมาณอากาศที่ใช้รวมถึงแก๊สไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) และออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) การปลดปล่อยของเสีย เช่น สาร CFC/HCFC, โลหะ และป्रอท ในอากาศหรือน้ำ ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง WtT จากการผลิตไฮโดรเจนนี้มีค่าเท่ากับ 14.1079 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลจูล ( $\text{kgCO}_2/\text{GJ}$ ) หรือ 1.6959 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อน้ำหนักแก๊สหนึ่งกิโลกรัม ( $\text{kgCO}_2/\text{kg}$ ) (SimaPro, 2017)

## BLUE HYDROGEN



แผนภาพที่ 5 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนสีฟ้า (Blue Hydrogen)

### 2) จากถังสู่การขับเคลื่อน (Tank to Wheel: TtW)

การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วง TtW ตามหลักการ WtW นี้ จะพิจารณาจากปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จากการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพื่อการเคลื่อนที่ยานยนต์บนถนน โดยการศึกษาจะครอบคลุมถึงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงหลากหลายประเภท ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน (Gasoline 95), น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซหอล (Gasohol 91, 95, E20 และ E85), น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Diesel B7, B10 และ B20), แก๊สปิตรเลียมเหลว (LPG), แก๊สธรรมชาติอัด (CNG), พลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฮโดรเจน ซึ่งจะครอบคลุมเทคโนโลยีการขับเคลื่อนยานยนต์ ทั้งเทคโนโลยียานยนต์สันดาปภายใน (ICE) และยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ประเภทต่างๆ ทั้งนี้ การศึกษาจะมุ่งเน้นวิเคราะห์ผลกระทบโดยใช้กรณีศึกษาจากการใช้งานรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (conventional passenger car) และรถบรรทุกขนาดเล็ก (small pickup truck) ซึ่งมีสัดส่วนการใช้งานสูงกว่ายานยนต์ประเภทอื่นในไทย

### เทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงเบนซิน** การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 6.84 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) และสำหรับรถบรรทุกขนาดเล็กเท่ากับ 8.62 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาพลائعเชื้อเพลิงเบนซินเป็นดังนี้ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 68.56 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำเทเรจูล (tCO<sub>2</sub>/TJ) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) และไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) จำนวน 6 และ 3 กิโลกรัมต่ำเทเรจูล (kg/TJ) ตามลำดับ (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงแก๊สโซหอล** การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 7.06, 7.30 และ 9.38 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) สำหรับการใช้ E10, E20 และ E85 ตามลำดับ (IEA-AMF, 2017) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors)

ในช่วง TtW จากการเผาพลานุเชื้อเพลิงไปโถ蛾านอล (E100) มีค่าเท่ากับ 0.0095 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตร ( $\text{kgCO}_2/\text{litre}$ ) (IPCC, 2019)

เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงดีเซล การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิง สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 4.98 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) และสำหรับรถบรรทุกขนาดเล็กเท่ากับ 7.25 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาพลานุเชื้อเพลิงดีเซลเป็นดังนี้ ปลดปล่อยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ 73.28 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเทระจุล ( $\text{tCO}_2/\text{TJ}$ ) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และใน ตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) จำนวน 1 และ 4 กิโลกรัมต่อเทระจุล ( $\text{kg/TJ}$ ) ตามลำดับ (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิง เท่ากับ 5.01, 5.03 และ 5.08 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) สำหรับการใช้ B7, B10 และ B20 ตามลำดับ (Green Car Congress, 2006; US Environmental Protection Agency, n.d.) นอกจากนี้ ระดับ การปลดปล่อยแก๊สร้อนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาพลานุเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100) มีค่าเท่ากับ 0.1150 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตร ( $\text{kgCO}_2/\text{litre}$ ) (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลือง พลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 11.07 กิโลกรัมต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kg}/100\text{km}$ ) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊ส ร้อนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาพลานุแก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นดังนี้ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 62.71 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเทระจุล ( $\text{tCO}_2/\text{TJ}$ ) และปลดปล่อยแก๊ส มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) จำนวน 30 กิโลกรัมมีเทนต่อเทระจุล ( $\text{kg/TJ}$ ) (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลือง พลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 6.25 กิโลกรัมต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kg}/100\text{km}$ ) (Pacific Northwest National Laboratory, n.d.; US Environmental Protection Agency, 2017) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊ส ร้อนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาพลานุแก๊สธรรมชาติอัด ได้แก่ ปลดปล่อย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 55.50 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเทระจุล ( $\text{tCO}_2/\text{TJ}$ ) และปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) จำนวน 630 กิโลกรัมมีเทนต่อเทระจุล ( $\text{kg/TJ}$ ) (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

## ยานยนต์ไฟฟ้า (EV)

เทคโนโลยียานยนต์ไฮบริด (HEV) การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ ร้อยละ 65.61 ของเครื่องยนต์เบนซินทั่วไป (Conventional Gasoline ICE) (US Environmental Protection Agency, 2017)

เทคโนโลยียานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ ร้อยละ 43.7 ของเครื่องยนต์เบนซินทั่วไป (Conventional Gasoline ICE) (US Environmental Protection Agency, 2017)

ทั้งนี้ในการศึกษานี้ เทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ของยานยนต์ไฮบริด (HEV) และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) จะถือว่าคล้ายกับเทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ทั่วไป ดังนั้น ปัจจัยการผลดีปล่อยแก๊สร้อนระจากของยานยนต์ไฮบริด (HEV) และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) จะถือว่าเท่ากับที่พิจารณาจากยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ทั่วไปตามสัดส่วนการสิ้นเปลืองพลังงานของเทคโนโลยีการขับเคลื่อนแต่ละประเภทดังกล่าวข้างต้น

ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ ร้อยละ 26.50 ของเครื่องยนต์เบนซินทั่วไป (Conventional Gasoline ICE) (US Environmental Protection Agency, 2017)

ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ ร้อยละ 49.13 ของเครื่องยนต์เบนซินทั่วไป (Conventional Gasoline ICE) (Pacific Northwest National Laboratory, n.d.; US Environmental Protection Agency, 2017)

## 6. ผลการศึกษา (Research Results and Discussion)

### 6.1 ผลการปลดปล่อยแก๊สรีอันกระจุกในช่วง WtT จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ที่ใช้ในภาคขนส่งไทย

#### 6.1.1 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สรีอันกระจุกในช่วง WtT เชิงเปรียบเทียบ (Comparing of WtT GHG Results)

ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สรีอันกระจุก (GHGs) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อมากถึง ( $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ ) ดังแสดงใน ตารางที่ 2 ดังนี้ พลังงานไฟฟ้า: 103.8889, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85: 28.0274, แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG): 27.4220, น้ำมันเบนโซดีเซล B20: 16.7431, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20: 16.3459, แก๊สธรรมชาติอัด (CNG): 15.0573, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 14.9929, พลังงานไฮโดรเจน 14.1373, น้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0): 13.7262, น้ำมันไบโอดีเซล B10: 11.5325 และ น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม: 10.2939 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อมากถึง ตามลำดับ

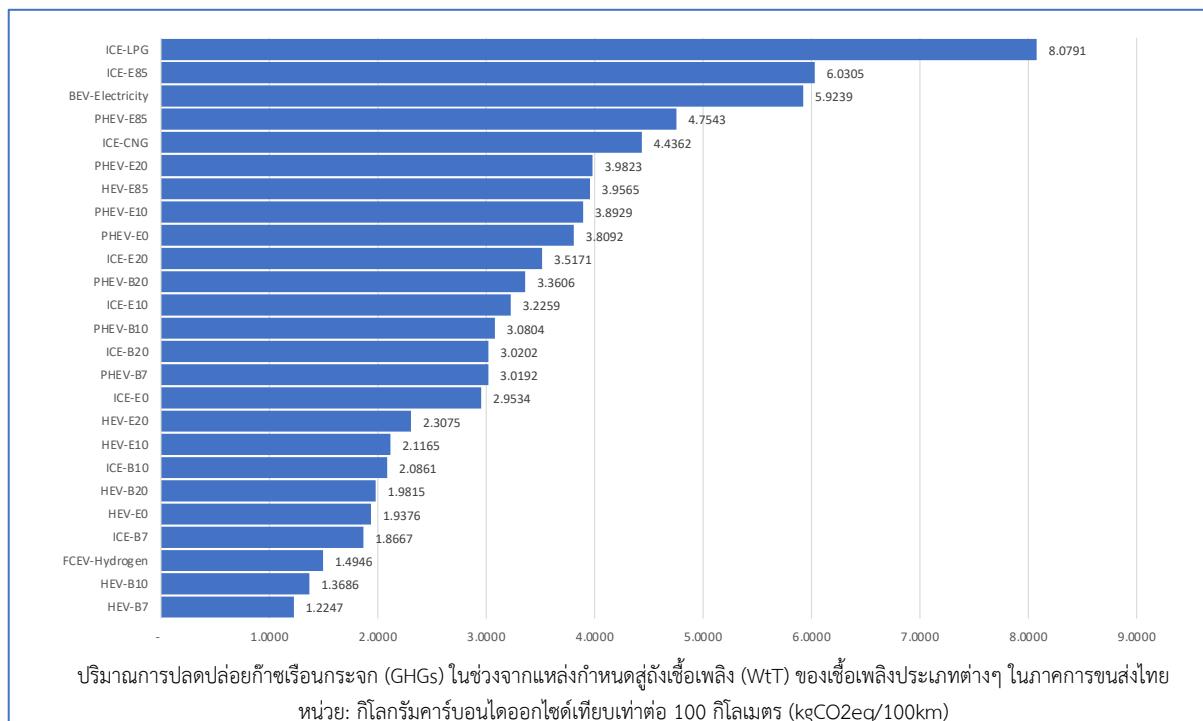
ตารางที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สรีอันกระจุกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ในช่วงจากแหล่งกำเนิดถึงเชื้อเพลิง (WtT) ในหน่วยกรัมต่อมากถึง

Energy Carriers in Tanks	Materials	Energy Carrier Pathways	WTT		Heating value MJ/litre, MJ/kWh, MJ/kg	WTT gCO2/MJ	WTT	
			kgCO2/litre, kgCO2/kWh, kgCO2/kg	kgCO2/litre, kgCO2/kWh, kgCO2/kg			Compared with Gasoline 95 (E0)	
Gasoline 95 (E0)	Crude Oil	E0 (Refining)	0.4321	0.4321	31.4800	<b>13.7262</b>	100%	
Gasohol 91,95 (E10)	Molasses	E100	0.3900	E100 (Mix)	0.4569	30.4758	<b>14.9929</b>	109%
Gasohol E20 (E20)	Sugarcane		0.6463		0.4817	29.4716	<b>16.3459</b>	119%
Gasohol E85 (E85)	Cassava		1.4000		0.6431	22.9443	<b>28.0274</b>	204%
Diesel B7, B7 premium (B7)	Palm	B100 (FAME)	1.7096	B100 (Mix)	0.3717	36.1044	<b>10.2939</b>	75%
Diesel (B10)		2.1451			0.4148	35.9691	<b>11.5325</b>	84%
Diesel B20 (B20)					B100 (HVO)	0.6022	35.9691	<b>16.7431</b>
LPG (Mix-Gas Plan 2016)	LPG	LPG (Refining)		0.3739	0.7300	26.6200	<b>27.4220</b>	200%
		LPG (Separating)		0.8790				

		LPG (Import)	0.6772				
CNG (Mix-Gas Plan 2016)	LNG	CNG (Separating)	0.8275	0.7097	47.1300	<b>15.0573</b>	110%
		CNG (Myanmar)	0.2874				
		CNG (Import)	0.6639				
Electricity (Mix PDP 2018 Rev1)	Coal	Electricity (Power generation)	1.3529	0.3740	3.6000	<b>103.8889</b>	757%
	Lignite		1.2897				
	LNG		0.5691				
	Fuel/Diesel		0.9532				
	Biomass		0.0534				
	Hydro		0.0651				
	Solar		0.0566				
	Wind		0.0153				
Hydrogen	LNG/Coal	Blue H2 (Reforming with CCS)	1.6959	1.6959	119.9600	<b>14.1373</b>	103%

ในขณะที่ ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิง ประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อ 100 กิโลเมตร (kgCO2eq/100km) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 6 และ [Error! Reference source not found.](#) ดังนี้



แผนภาพที่ 6 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในช่วงจากแหล่งกำเนิดสู่จุดสิ้นเชือเพลิง (WtT) หน่วย: กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร

แก๊สปีโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG): 8.0791, น้ำมันแก๊สโซชอล E85 สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-E85): 6.0305, พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (BEV) 5.9239, น้ำมันแก๊สโซชอล E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85): 4.7543, แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG): 4.4362, น้ำมันแก๊สโซชอล E20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E20): 3.9823, น้ำมันแก๊สโซชอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85) 3.9565, น้ำมันแก๊สโซชอล E10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E10): 3.8929, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E0): 3.8092, น้ำมันแก๊สโซชอล E20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E20) 3.5171, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20): 3.3606, น้ำมันแก๊สโซชอล E10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E10): 3.2259, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B10): 3.0804, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B20): 3.0202, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B7): 3.0192, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) 2.9534, น้ำมันแก๊สโซชอล E20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E20): 2.3075, น้ำมันแก๊สโซชอล E10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E10): 2.1165, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B10): 2.0861, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B20): 1.9815, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E0): 1.9376, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B7): 1.8667, พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV): 1.4946, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B10): 1.3686, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B7): 1.2247 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ในระหว่างจากแหล่งกำเนิดถึงจุดเชื้อเพลิง (WTT) ในหน่วยกิโลกรัมต่อ 100 กิโลเมตร

Energy Carriers in Tanks	WTT	Technology	Energy needed	Fuel Consumption	Electricity Consumption	WTT	
			MJ/100km	Litre/100km, kg/100km	kWh/100km	kgCO2/100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
Gasoline 95 (E0)	0.4321	ICE-E0	215	6.8350	0.0000	<b>2.9534</b>	<b>100%</b>
		HEV-E0	141	4.4843	0.0000	<b>1.9376</b>	<b>66%</b>
		PHEV-E0	94	2.0992	7.7596	<b>3.8092</b>	<b>129%</b>
Gasohol 91,95 (E10)	0.4569	ICE-E10	215	7.0602	0.0000	<b>3.2259</b>	<b>109%</b>
		HEV-E10	141	4.6320	0.0000	<b>2.1165</b>	<b>72%</b>
		PHEV-E10	94	2.1684	7.7596	<b>3.8929</b>	<b>132%</b>
Gasohol E20 (E20)	0.4817	ICE-E20	215	7.3008	0.0000	<b>3.5171</b>	<b>119%</b>
		HEV-E20	141	4.7898	0.0000	<b>2.3075</b>	<b>78%</b>
		PHEV-E20	94	2.2423	7.7596	<b>3.9823</b>	<b>135%</b>
	0.6431	ICE-E85	215	9.3777	0.0000	<b>6.0305</b>	<b>204%</b>

Energy Carriers in Tanks	WTT	Technology	Energy needed	Fuel Consumption	Electricity Consumption	WTT	
			MJ/100km	Litre/100km, kg/100km	kWh/100km	kgCO2/100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
Gasohol E85 (E85)		HEV-E85	141	6.1525	0.0000	<b>3.9565</b>	<b>134%</b>
		PHEV-E85	94	2.8802	7.7596	<b>4.7543</b>	<b>161%</b>
Diesel B7, B7 premium (B7)	0.3717	ICE-B7	181	5.0227	0.0000	<b>1.8667</b>	<b>63%</b>
		HEV-B7	119	3.2952	0.0000	<b>1.2247</b>	<b>41%</b>
		PHEV-B7	79	1.5426	6.5398	<b>3.0192</b>	<b>102%</b>
Diesel (B10)	0.4148	ICE-B10	181	5.0289	0.0000	<b>2.0861</b>	<b>71%</b>
		HEV-B10	119	3.2993	0.0000	<b>1.3686</b>	<b>46%</b>
		PHEV-B10	79	1.5445	6.5234	<b>3.0804</b>	<b>104%</b>
Diesel B20 (B20)	0.6022	ICE-B20	181	5.0150	0.0000	<b>3.0202</b>	<b>102%</b>
		HEV-B20	119	3.2902	0.0000	<b>1.9815</b>	<b>67%</b>
		PHEV-B20	79	1.5403	6.5054	<b>3.3606</b>	<b>114%</b>
LPG (Mix -Gas Plan 2016)	0.7300	ICE-LPG	295	11.0676	0.0000	<b>8.0791</b>	<b>274%</b>
CNG (Mix -Gas Plan 2016)	0.7097	ICE-CNG	295	6.2512	0.0000	<b>4.4362</b>	<b>150%</b>
Electricity (Mix PDP 2018 Rev1)	0.3740	BEV	57	0.0000	15.8393	<b>5.9239</b>	<b>201%</b>
Hydrogen	1.6959	FCEV	106	0.0000	0.8813	<b>1.4946</b>	<b>51%</b>

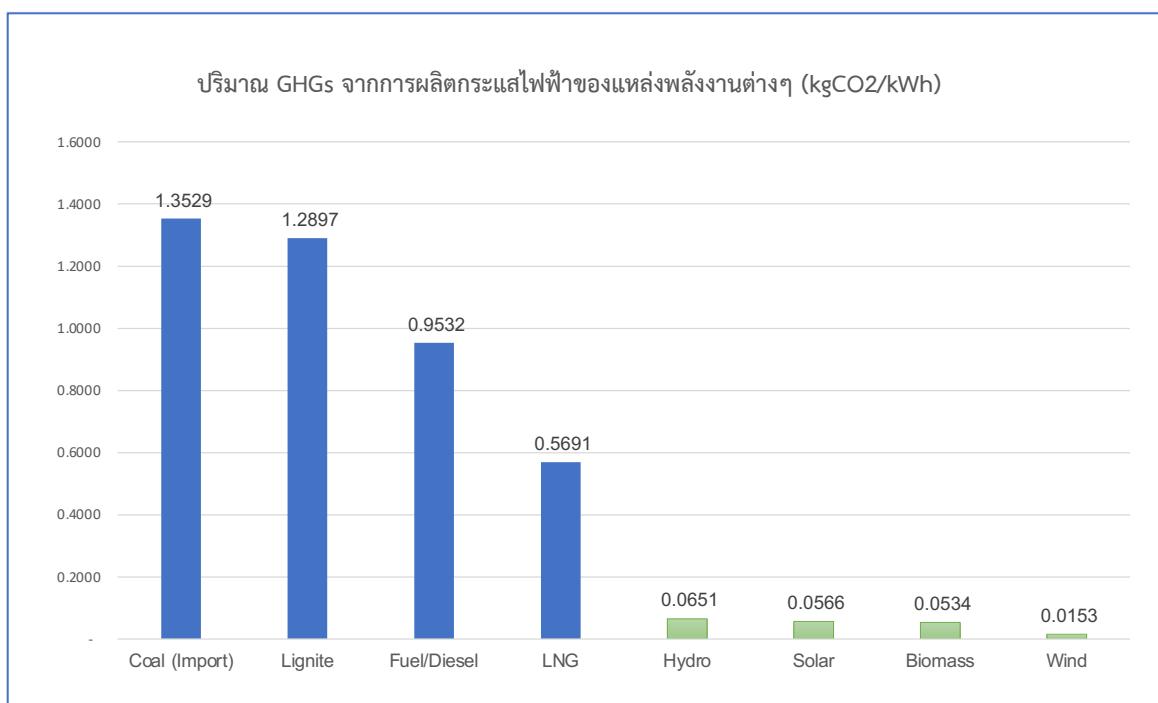
### 6.1.2 กรณีพลังงานไฟฟ้า

การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในช่วง WTT มักไม่ค่อยได้รับความสนใจเท่าการปลดปล่อยในช่วงการเผาพาณิชย์เชื้อเพลิงจากการขับเคลื่อนยานยนต์หรือในช่วงการใช้งาน (Use Phase) ทั้งที่การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วงการผลิตเชื้อเพลิงก็มีความสำคัญมากพอที่อาจจะส่งผลกระทบถึงภาพรวมการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงานได้ (Andersson & Börjesson, 2021) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีที่มาของแหล่งพลังงานหลากหลาย ทั้งจากแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และแหล่งพลังงานหมุนเวียน

ดังเช่นจากการศึกษามีอพิจารณาเฉพาะในช่วง WTT พบว่า ต่อการให้พลังงานหนึ่งกิโลจูลเท่ากัน การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นประเภทการผลิตพลังงานเพื่อการขนส่งที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุดถึง 103.89 grammes/kWh โดยออกไซด์เทียบเท่า หรือสูงกว่าในกรณีของการผลิตน้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0) ถึงกว่า 7 เท่า (ตารางที่ 2) และแม้นจะเปรียบเทียบกันในหน่วยต่อระยะทางการขับเคลื่อน 100 กิโลเมตร การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WTT ของยานยนต์แบตเตอรี่ไฟฟ้า (BEV) ถึง 5.92 กิโลกรัม

คาร์บอนไดออกไซด์เที่ยบเท่า หรือสูงกว่าของเคลื่อนยนต์สันดาปภายในที่ใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 95 (ICE-E0) ถึงกว่าสองเท่า ([Error! Reference source not found.](#))

ทั้งนี้ สาเหตุสำคัญสืบเนื่องจากศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของพลังงานไฟฟ้านั้นขึ้นกับแหล่งที่มาของ การผลิตกระแสไฟฟ้า (Gustafsson, Svensson, Eklund, & Fredriksson Möller, 2021) โดยในกรณีของ แหล่งที่มาของการผลิตไฟฟ้านอกประเทศไทยนั้น พิจพายแหล่งวัตถุดิบพลังงานจากผลิตภัณฑ์ฟอสซิลเป็นหลัก ซึ่งมี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบพลังงานหมุนเวียน จากผลการศึกษาพบว่า แหล่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้านอกประเทศไทย เรียงลำดับจากการปลดปล่อยแก๊สร้อนระดับจาก มากไปน้อย ได้แก่ แหล่งพลังงานฟอสซิล ดังนี้ ถ่านหิน/ลิกไนท์, น้ำมันดีเซล/น้ำมันเตา และแก๊สธรรมชาติ ปลดปล่อยแก๊สร้อนระดับในกระบวนการผลิตไฟฟ้าบริมาณ 1.3529 – 1.2897, 0.9532 และ 0.5691 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เที่ยบเท่าต่อ กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ รองลงมาเป็นกลุ่มพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานชีวมวล และพลังงานลม ซึ่งปลดปล่อยแก๊สร้อนระดับบริมาณ 0.0651, 0.0566 0.0534 และ 0.0153 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เที่ยบเท่าต่อ กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ (แผนภาพที่ 7) เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้กระหึ่งแก๊สธรรมชาติ ซึ่งหลายประเทศในปัจจุบันใช้เป็นแหล่งพลังงาน ในช่วงเปลี่ยนผ่าน (Transition Fuel) จากถ่านหินไปสู่พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า กลับปลดปล่อยแก๊สร้อนระดับสูงกว่าการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนทุกด้วยในกรณีศึกษานี้มากกว่า 8.7 เท่า



แผนภาพที่ 7 ปริมาณการปลดปล่อย GHGs จากการผลิตกระแสไฟฟ้าของแหล่งพลังงานต่างๆ (kgCO2/kWh)

อย่างมิพักต้องสงสัย แหล่งวัตถุดิบเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับประจุพลังงานยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่อภาพรวมศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งด้วยยานยนต์ไฟฟ้า (EVs)

ในไทย ดังนั้น ประเทศไทยควรเร่งลงทุนเพื่อเพิ่มสัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน เพื่อลดความเสี่ยง ทั้งด้านอุปทานและด้านราคา ทั้งนี้ควรให้ความสำคัญกับการลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่ไม่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพื่อลดค่าการผลิตปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ควบคู่ไปกับการลงทุนในระบบส่งจำหน่ายและจัดการไฟฟ้าและสนับสนุนมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้พลังงานในทุกภาคส่วน

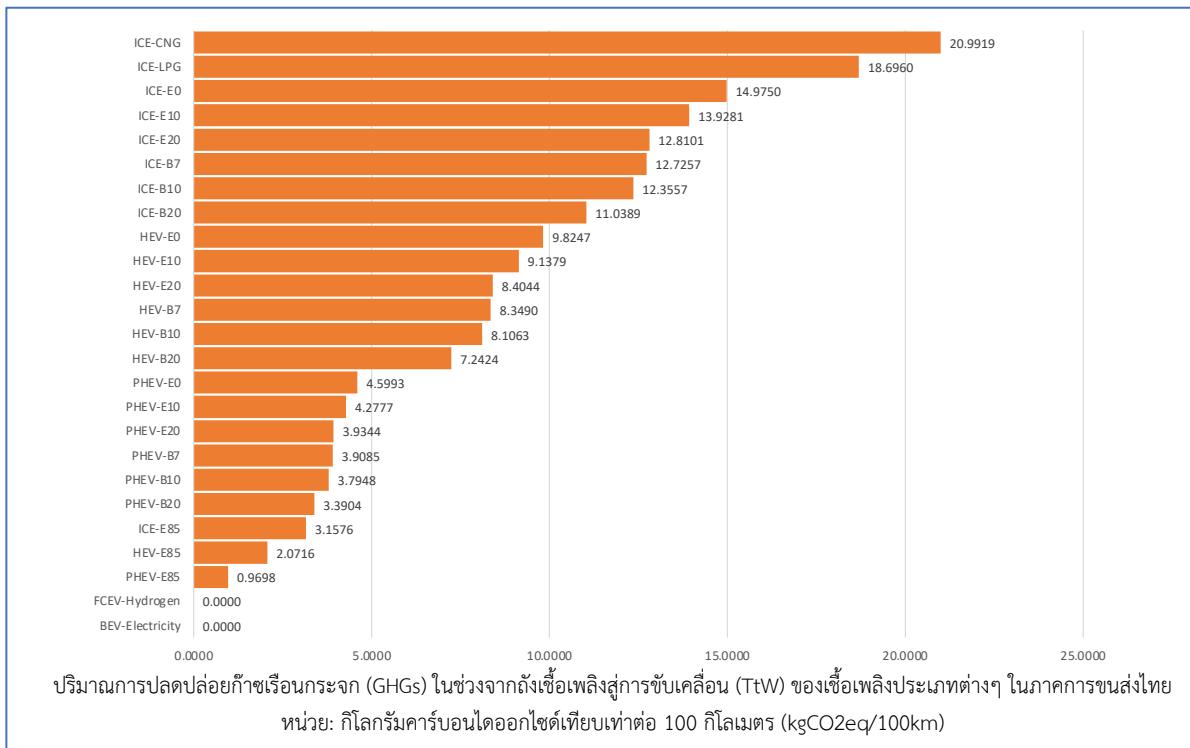
### 6.1.2 กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ

ระดับความเข้มข้นของเชื้อเพลิงชีวภาพ (E100 และ B100) มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวภาพผสม เช่น E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT มากกว่า E20, E10 และ E0 ตามลำดับ กล่าวคือ สัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพเอทานอล (E100) ในการผสมกับน้ำมันเบนซิน (E0) เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลความเข้มข้นระดับต่างๆจะแปรผันตามกับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT กล่าวคือ น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 ซึ่งมีความเข้มข้นของเอทานอล (E100) มากกว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล E20, E10 และน้ำมันเบนซิน (E0) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT (0.6431 kgCO<sub>2</sub>/litre) มากกว่าการปลดปล่อยฯ ของน้ำมันแก๊สโซฮอล E20 (0.4817 kgCO<sub>2</sub>/litre), E10 (0.4569 kgCO<sub>2</sub>/litre) และน้ำมันเบนซิน (E0) (0.4321 kgCO<sub>2</sub>/litre) ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT มากกว่า B10, B7 และ B0 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

## 6.2 ผลกระทบปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆในภาคการขนส่งไทย

### 6.2.1 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW เชิงเปรียบเทียบ (Comparing of TTW GHG Results)

ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง TtW ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร (kgCO<sub>2</sub>eq/100km) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 8 และ ตารางที่ 4 ดังนี้



แผนภาพที่ 8 บริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในช่วงจากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW) หน่วย: กิโลกรัมคาร์บอน dioxide เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร

แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG): 20.9919, แก๊สบีโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG): 18.6960, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) 14.9750, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E10): 13.9281, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E20) 12.8101, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B7): 12.7257, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B10): 12.3557, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B20): 11.0389, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E0): 9.8247, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E10): 9.1379, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E20): 8.4044, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B7): 8.3490, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B10): 8.1063, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B20): 7.2424, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E0): 4.5993, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E10): 4.2777, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E20): 3.9344, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B7): 3.9085, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B10): 3.7948, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20): 3.3904, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-E85): 3.1576, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85): 2.0716, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์

ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85): 0.9698, และพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และ พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV): 0.0000 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สรีอันร้ายจากของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ในช่วงจากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW)

Energy Carriers in Tanks	TTW	Technology	Fuel Consumption	Electricity Consumption	TTW	
	kgCO2/litre, kgCO2/kWh, kgCO2/kg				kgCO2/100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
	litre/100km, kg/100km		litre/100km, kg/100km	kWh/100km		
Gasoline 95 (E0)	2.1909	ICE-E0	6.8350	0.0000	<b>14.9750</b>	<b>100%</b>
		HEV-E0	4.4843	0.0000	<b>9.8247</b>	<b>66%</b>
		PHEV-E0	2.0992	7.7596	<b>4.5993</b>	<b>31%</b>
Gasohol 91,95 (E10)	1.9728	ICE-E10	7.0602	0.0000	<b>13.9281</b>	<b>93%</b>
		HEV-E10	4.6320	0.0000	<b>9.1379</b>	<b>61%</b>
		PHEV-E10	2.1684	7.7596	<b>4.2777</b>	<b>29%</b>
Gasohol E20 (E20)	1.7546	ICE-E20	7.3008	0.0000	<b>12.8101</b>	<b>86%</b>
		HEV-E20	4.7898	0.0000	<b>8.4044</b>	<b>56%</b>
		PHEV-E20	2.2423	7.7596	<b>3.9344</b>	<b>26%</b>
Gasohol E85 (E85)	0.3367	ICE-E85	9.3777	0.0000	<b>3.1576</b>	<b>21%</b>
		HEV-E85	6.1525	0.0000	<b>2.0716</b>	<b>14%</b>
		PHEV-E85	2.8802	7.7596	<b>0.9698</b>	<b>6%</b>
Diesel B7, B7 premium (B7)	2.5337	ICE-B7	5.0227	0.0000	<b>12.7257</b>	<b>85%</b>
		HEV-B7	3.2952	0.0000	<b>8.3490</b>	<b>56%</b>
		PHEV-B7	1.5426	6.5398	<b>3.9085</b>	<b>26%</b>
Diesel (B10)	2.4569	ICE-B10	5.0289	0.0000	<b>12.3557</b>	<b>83%</b>
		HEV-B10	3.2993	0.0000	<b>8.1063</b>	<b>54%</b>
		PHEV-B10	1.5445	6.5234	<b>3.7948</b>	<b>25%</b>
Diesel B20 (B20)	2.2012	ICE-B20	5.0150	0.0000	<b>11.0389</b>	<b>74%</b>
		HEV-B20	3.2902	0.0000	<b>7.2424</b>	<b>48%</b>
		PHEV-B20	1.5403	6.5054	<b>3.3904</b>	<b>23%</b>
LPG (Mix -Gas Plan 2016)	1.6893	ICE-LPG	11.0676	0.0000	<b>18.6960</b>	<b>125%</b>
CNG (Mix -Gas Plan 2016)	3.3580	ICE-CNG	6.2512	0.0000	<b>20.9919</b>	<b>140%</b>
Electricity (Mix PDP 2018 Rev1)	0.0000	BEV	0.0000	15.8393	<b>0.0000</b>	<b>0%</b>

Energy Carriers in Tanks	TTW	Technology	Fuel Consumption	Electricity Consumption	TTW	
	kgCO <sub>2</sub> /litre, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg				kgCO <sub>2</sub> /100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
	litre/100km, kg/100km		litre/100km, kg/100km	kWh/100km	0.0000	0%
Hydrogen	0.0000	FCEV	0.0000	0.8813	0.0000	0%

## 6.2.2 กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ

พิจารณาเปรียบเทียบกรณีเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวภาพ ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน กับน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ในประเด็นความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่า ในยานยนต์ขนาดเดียวกัน น้ำมันเชื้อเพลิงในกลุ่มสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงต่อการขับเคลื่อนระยะ 100 กิโลเมตร ต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงในกลุ่มน้ำมันเบนซิน

โดยเชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ในที่นี้ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ใช้เชื้อเพลิงปริมาณประมาณ 5, 3.3 และ 1.5 ลิตร สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE), ยานยนต์ไฮบริด และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด ตามลำดับ ต่อการขับเคลื่อนบนถนน 100 กิโลเมตร ในขณะที่เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 และน้ำมันแก๊สโซเชออล E10 E20 และ E85 ใช้เชื้อเพลิงปริมาณประมาณ 7 - 9, 4.5 - 6 และ 2.2 - 3 ลิตรสำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE), ยานยนต์ไฮบริด และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด ตามลำดับ ต่อการขับเคลื่อนบนถนน 100 กิโลเมตร (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ การเพิ่มสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพไบโอดีเซล B100 ลงในเนื้อน้ำมันฟอสซิลเบนซิน E0 และดีเซล B0 มีผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของน้ำมันแก๊สโซเชออล และน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

นอกจากนี้ ในประเด็นของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TTW นั้น พบว่า ในยานยนต์ขนาดและเทคโนโลยียานยนต์เดียวกัน น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลก็มีอัตราการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่อการขับเคลื่อนระยะ 100 กิโลเมตร ต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน

โดยในกรณียานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกประมาณ 12.73, 12.36 และ 11.04 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 และน้ำมันแก๊สโซเชออล E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกประมาณ 14.98, 13.93, 12.81 และ 3.16 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ในยานยนต์ไฮบริดขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกประมาณ 8.35, 8.11 และ 7.24 กิโลกรัม

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 และ น้ำมันแก๊สโซชอล E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกประมาณ 9.82, 9.14, 8.40 และ 2.07 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ในทำนองเดียวกัน ใน yanynต์ปลีกอินไฮบริดขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกประมาณ 3.91, 3.79 และ 3.39 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 และน้ำมันแก๊สโซชอล E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกประมาณ 4.60, 4.28, 3.93 และ 0.97 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

อย่างไรก็ตาม แม้ผลการศึกษาจะพบว่า yanynต์ดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ในช่วง TtW ต่ำกว่า yanynต์เบนซิน ในกรณีเฉพาะที่ขนาดและเทคโนโลยีyanynต์เดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติในกรณีของการขับสี่ล้อไทยแล้ว yanynต์ดีเซลมักเป็นกลุ่ม yanynต์ขนาดใหญ่กว่า yanynต์เบนซิน เช่น รถกระบะ เป็นต้น ดังนั้น การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ของ yanynต์ดีเซลทั่วไปในประเทศไทยจึงมักสูงกว่า yanynต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน

เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงชีวภาพในส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซชอล และไบโอดีเซลจะแปรผันตามอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน yanynต์ตั้งกล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผันกับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW กล่าวคือ แม่น้ำมันแก๊สโซชอล E85 จะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่า E20, E10 และ E0 ตามลำดับ แล้ว แต่ในด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แก๊สโซชอล E85 กลับปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ( $0.3367 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) ต่ำกว่าการปลดปล่อยฯ ของน้ำมันแก๊สโซชอล E20 ( $1.7546 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ), E10 ( $1.9728 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) และน้ำมันเบนซิน (E0) ( $2.1909 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) ตามลำดับ

### 6.2.3 กรณีพลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่เกิดการสันดาป ทำให้ yanynต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และ yanynต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) ไม่ปล่อยไอเสีย ดังนั้น จึงมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW เป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของ yanynต์ไฮบริดและ yanynต์ปลีกอินไฮบริด แม้การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจะจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้าในช่วง TtW จะเป็นศูนย์ แต่ยังมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวภาพในส่วนของการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในช่วง TtW ซึ่งได้กล่าวแล้วข้างต้น

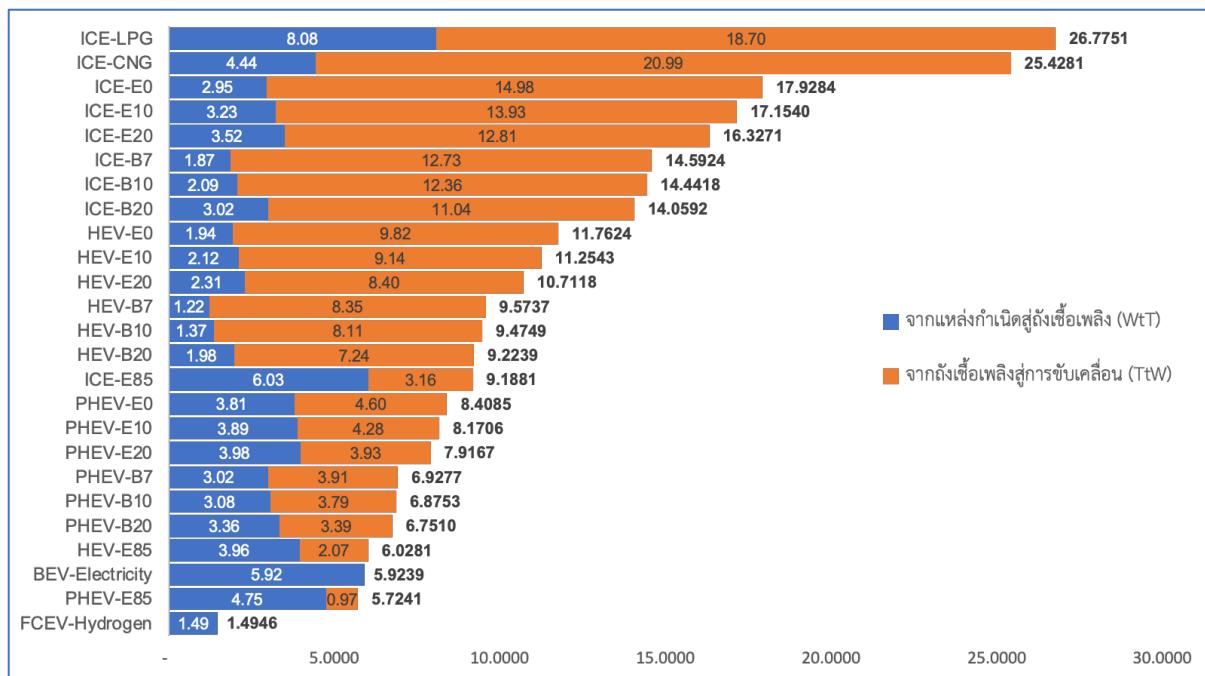
#### 6.2.4 แก๊สเชื้อเพลิง CNG และ LPG

จากการศึกษาพบว่า ยานยนต์ที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิง CNG และ LPG เป็นกลุ่มที่มีอัตราการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW สูงกว่ายานยนต์กลุ่มนี้ๆ โดยเฉลี่ย โดยแก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) และแก๊สปีโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ประมาณ 20.9919 และ 18.6960 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการขับเคลื่อน 100 กิโลเมตร ตามลำดับ กล่าวคือสูงกว่าการปลดปล่อยฯ ของน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) ร้อยละ 40 และ 25 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแก๊สปีโตรเลียมเหลว (LPG) มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง ในขณะที่การใช้งานแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ในภาคการขนส่ง หรือเครื่องยนต์ CNG ปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ออกมากสูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในประเทศอื่นๆ กอปรกับแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า ดังนั้นจึงส่งผลให้แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ดังเช่นในผลการศึกษา

### 6.3 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย

#### 6.3.1 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงานเชิงเปรียบเทียบ (Comparing of WTW GHG Results)

ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 9 และ ตารางที่ 5 ดังนี้



แผนภาพที่ 9 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย (หน่วย: กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร: kgCO<sub>2</sub>eq/100km)

แก๊สปิโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG): 26.7751, แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG): 25.4281, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0): 17.9284, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E10): 17.1540, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E20): 16.3271, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B7): 14.5924, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B10): 14.4418, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B20): 14.0592, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E0): 11.7624, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E10): 11.2543, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E20): 10.7118, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B7): 9.5737, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B10): 9.4749, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B20): 9.2239, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-E85): 9.188, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E0): 8.4085, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E10): 8.1706, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E20): 7.9167, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B7): 6.9277, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B10): 6.8753, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20): 6.7510, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85): 6.0281, พลังงานไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (BEV-Electricity): 5.9239, น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด

(PHEV-E85): 5.7241 และพลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen): 1.4946 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ตามลำดับ

#### ตารางที่ 5 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW)

ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย

Energy Carriers	Materials	Energy Carrier Pathways	WTT gCO <sub>2</sub> /liter, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg	WTT	TTW	WTW	Technology	WTT	TTW	WTW	Compared with ICE (EO)				
								kgCO <sub>2</sub> /liter, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg	kgCO <sub>2</sub> /100 km	kgCO <sub>2</sub> /100 km					
Gasoline 95 (EO)	Crude Oil	E0 (Refining)	0.4321	0.4321	2.1909	2.6230	ICE-E0	2.9534	14.9750	<b>17.9284</b>	100%				
Gasohol 91,95 (E10)	Molasses						HEV-E0	1.9376	9.8247	<b>11.7624</b>	66%				
Gasohol E20 (E20)	Sugarcane						PHEV-E0	3.8092	4.5993	<b>8.4085</b>	47%				
Gasohol E85 (E85)	Cassava			0.4569	1.9728	2.4297	ICE-E10	3.2259	13.9281	<b>17.1540</b>	96%				
Diesel B7, premium (B7)	Palm	B100 (FAME)	1.7096				HEV-E10	2.1165	9.1379	<b>11.2543</b>	63%				
Diesel (B10)							PHEV-E10	3.8929	4.2777	<b>8.1706</b>	46%				
Diesel B20 (B20)							ICE-E20	3.5171	12.8101	<b>16.3271</b>	91%				
LPG (Mix -Gas Plan 2016)	LPG		0.4817	1.7546	2.2364	HEV-E20	2.3075	8.4044	<b>10.7118</b>	60%					
CNG (Mix -Gas Plan 2016)	LNG					PHEV-E20	3.9823	3.9344	<b>7.9167</b>	44%					
							ICE-E85	6.0305	3.1576	<b>9.1881</b>	51%				
				0.6431	0.3367	0.9798	HEV-E85	3.9565	2.0716	<b>6.0281</b>	34%				
							PHEV-E85	4.7543	0.9698	<b>5.7241</b>	32%				
							ICE-B7	1.8667	12.7257	<b>14.5924</b>	81%				
				0.3717	2.5337	2.9053	HEV-B7	1.2247	8.3490	<b>9.5737</b>	53%				
							PHEV-B7	3.0192	3.9085	<b>6.9277</b>	39%				
							ICE-B10	2.0861	12.3557	<b>14.4418</b>	81%				
				0.4148	2.4569	2.8717	HEV-B10	1.3686	8.1063	<b>9.4749</b>	53%				
							PHEV-B10	3.0804	3.7948	<b>6.8753</b>	38%				
							ICE-B20	3.0202	11.0389	<b>14.0592</b>	78%				
				0.6022	2.2012	2.8034	HEV-B20	1.9815	7.2424	<b>9.2239</b>	51%				
							PHEV-B20	3.3606	3.3904	<b>6.7510</b>	38%				
							ICE-LPG	8.0791	18.6960	<b>26.7751</b>	149%				
				0.7300	1.6893	2.4192	ICE-CNG	4.4362	20.9919	<b>25.4281</b>	142%				

โครงการศึกษาวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของการใช้พลังงานไปสู่ภาคขนส่ง และการคำนวณเปรียบเทียบเรือบรรทุกน้ำมัน (Carbon footprint) ในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

Energy Carriers	Materials	Energy Carrier Pathways	WTT		WTT	TTW	WTW	Technology	WTT	TTW	WTW	Compared with ICE (EO)
			gCO <sub>2</sub> /liter, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg		kgCO <sub>2</sub> /liter, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg				kgCO <sub>2</sub> /100 km			
		CNG (Import)	0.6639									
Electricity (Mix -PDP 2018 Rev1)	Coal	Electricity (Power generation)	1.3529		0.3740	0.0000	0.3740	BEV	5.9239	0.0000	5.9239	33%
	Lignite		1.2897									
	LNG		0.5691									
	Fuel/Diesel		0.9532									
	Biomass		0.0534									
	Hydro		0.0651									
	Solar		0.0566									
	Wind		0.0153									
Hydrogen	LNG/Coal	Blue H2 (Reforming with CCS)	1.6959		1.6959	0.0000	1.6959	FCEV	1.4946	0.0000	1.4946	8%

### 6.3.2 เชื้อเพลิงฟอสซิล vs เชื้อเพลิงชีวภาพ

เมื่อพิจารณาภาพรวมการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกกรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งเชื้อเพลิงໄปโอดีเซล นอล (E100)<sup>10</sup> และໄปโอดีเซล (B100)<sup>11</sup> แล้ว การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาย ในช่วง WtT กล่าวคือ การปลดปล่อยฯในช่วง WtT โดยเฉลี่ยต่อลิตร จะน้อยกว่าการปลดปล่อยฯในช่วง TtW หรือการปลดปล่อยฯในช่วง WtT เป็นส่วนใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพรวมการปลดปล่อยตลอดวงจรวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิง (WtW) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ในทางกลับกัน เชื้อเพลิงฟอสซิลจากการกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมทั่วไป (EO<sup>12</sup>, BO<sup>13</sup>, LPG<sup>14</sup> และ CNG<sup>15</sup>) การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาย ในช่วง TtW กล่าวคือ การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT โดยเฉลี่ยต่อลิตรหรือกิโลกรัม น้อยกว่าในในช่วง TtW หรือเป็นส่วนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับภาพรวมการปลดปล่อยตลอดวงจรวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิง (WtW) ฟอสซิล

อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมตลอดวงจรวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิง (WtW) เชื้อเพลิงชีวภาพปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือเชื้อเพลิงชีวภาพมีศักยภาพในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากกว่า เชื้อเพลิงฟอสซิล

<sup>10</sup> WtT of E100 = 0.6803, TtW of E100 = 0.0095, WtW of E100 = 0.6898 kgCo2eq/litre

<sup>11</sup> WtT of B100FAME = 1.7096, WtT of B100HVO = 2.1451, TtW of B100 = 0.1550, WtW of B100FAME = 1.8646, WtW of B100HVO = 2.3001 kgCo2eq/litre

<sup>12</sup> WtT of EO = 0.4321, TtW of EO = 2.1909, WtW of EO = 2.6230 kgCo2eq/litre

<sup>13</sup> WtT of BO = 0.2709, TtW of BO = 2.7127, WtW of BO = 2.9836 kgCo2eq/litre

<sup>14</sup> WtT of LPG = 0.7300, TtW of LPG = 1.6893, WtW of LPG = 2.4192 kgCo2eq/kg

<sup>15</sup> WtT of CNG = 0.7097, TtW of LPG = 3.3580, WtW of LPG = 4.0677 kgCo2eq/kg

### 6.3.3 เชื้อเพลิงชีวภาพผสม

ในกรณี yanyn ต์สันดาปภายใน (ICE) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันใบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมี่ยม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 14.5924, 14.4418 และ 14.0592 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับเรื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินอกเทน 95 (E0), น้ำมันแก๊สโซเชล E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 17.9284, 17.1540, 16.3271 และ 9.1881 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร (ตารางที่ 5)

ในกรณี yanyn ต์ไฮบริด (HEV) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงสำหรับ yanyn ต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันใบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมี่ยม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 9.5737, 9.4749 และ 9.2239 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับเรื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินอกเทน 95 (E0), น้ำมันแก๊สโซเชล E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 11.7624, 11.2543, 10.7118 และ 6.0281 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ใน yanyn ต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงสำหรับ yanyn ต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันใบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมี่ยม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 6.9277, 6.8753 และ 6.7510 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับเรื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินอกเทน 95 (E0), น้ำมันแก๊สโซเชล E10 E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 8.4085, 8.1706, 7.9167 และ 5.7241 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ทั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า นอกเหนือจากการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคชนบทแล้ว เทคโนโลยี yanyn ต์ทางเลือกที่สามารถมีส่วนในการสร้างอนิสงค์ในด้านการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้อีกด้วยหนึ่ง กล่าวคือสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ใบโอดีเซล B100 และใบโอดีเซล E100) ที่ผสมในเชื้อเพลิงฟอสซิล (ดีเซล B0 และเบนซิน E0) แปรผกผันกับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ดังผลการศึกษาข้างต้นพบว่า การปลดปล่อยฯ ของ B20 ต่ำกว่า B10 และ B7 ตามลำดับ ในขณะที่ การปลดปล่อยฯ ของ E85 ต่ำกว่า E20, E10 และ E0 ตามลำดับ นอกจากนี้ เทคโนโลยี yanyn ต์ทางเลือก ได้แก่ yanyn ต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) มีศักยภาพในการช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) พลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีการขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า yanyn ต์ไฮบริด (HEV) และ yanyn ต์สันดาปภายใน (ICE) ขนาดเดียวกัน ตามลำดับ

### 6.3.4 แก๊สเชื้อเพลิง (CNG และ LPG)

การใช้งานแก๊สเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งบนถนนนั้น ทั้งแก๊สปีโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) และแก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) สูงกว่าเชื้อเพลิงทุกประเภทโดยเปรียบเทียบภายใต้การศึกษานี้

โดยแก๊สปีโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) และแก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกปริมาณ 26.7751 และ 25.4281 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการขับเคลื่อน 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ตามลำดับ (ตารางที่ 5) หรือสูงกว่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของการใช้น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) สูงกว่าถึงร้อยละ 49 และ 42 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ทั้งนี้ สาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งมาจากการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงนั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (295 MJ/100km) สูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวทั่วไป (215 MJ/100km) นอกจากนี้ แก๊สปีโตรเลียมเหลว (LPG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT (0.73  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ ) สูงกว่าน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (0.4321  $\text{kgCO}_2\text{eq/litre}$ ), มีอัตราการให้พลังงานต่อหน่วย (26.62 เมกะจูลต่อ กิโลกรัม: MJ/kg) ต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (31.48 เมกะจูลต่อลิตร: MJ/litre) และปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW (18.696  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) สูงกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) (14.975  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ )

ในขณะที่ แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT (0.7097  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ ) และในช่วง TtW (0.4321  $\text{kgCO}_2\text{eq/litre}$  และ 20.9919  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) สูงกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) (14.975  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) แม้จะมีอัตราการให้พลังงานต่อหน่วย (47.13 MJ/kg) สูงกว่าน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (31.48 MJ/litre) เนื่องจากการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

### 6.3.5 พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ กับยานยนต์ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (Zero Emission Vehicle: ZEV)

ผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ซึ่งภายใต้การศึกษานี้ หมายรวมถึง ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงจากพลังงานไฮโดรเจน (FCEV) ในการเป็นช่องทางการขนส่งที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุด ในภาคขนส่งไทยภายใต้การศึกษานี้

อย่างไรก็ตาม การที่ถูกขานรานว่าเป็นยานยนต์ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) เหตุเพราะยานยนต์เหล่านี้ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเป็นศูนย์เฉพาะในช่วง TtW ดังแสดงในผลการศึกษา หากแต่ขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฮโดรเจนในช่วง WtT ยังคงมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก

โดยในกรณีพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (BEV-Electricity) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT และหมายรวมถึงตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ปริมาณ 5.9239 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kg CO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ทั้งนี้ จากผลการศึกษาจะพบข้อสังเกตสำคัญที่ว่า กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยยังมีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้เพิ่มขึ้นอีกด้วยการปรับเปลี่ยนแหล่งวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานฟอสซิล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากแก๊สรูมชาติและถ่านหิน เปลี่ยนเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน

ในขณะที่พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) ปลดปล่อยฯ ในช่วง WtT และหมายรวมถึงตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ปริมาณ 1.4946 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kg CO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) โดยปริมาณดังกล่าวทำให้พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) เป็นช่องทางการขนส่งที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุดอย่างโดดเด่น ภายใต้การศึกษานี้ (ตารางที่ 5) ทั้งนี้ เพราะพลังงานไฮโดรเจนมีประสิทธิภาพการให้พลังงานสูง (119.96 MJ/kg) กองรับกับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิงบริโภคพลังงานต่ำ (105.72 MJ/100 km) ในเวลาเดียวกัน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bicer & Dincer (2018) อย่างไรก็ตาม พลังงานไฮโดรเจนสำหรับภาคยานยนต์ยังคงอยู่ในช่วงของการพัฒนา และยังคงมีข้อจำกัดอยู่อย่างน้อย 3 ประการ ได้แก่ พลังงานไฮโดรเจนจัดเก็บและขนส่งได้ยาก การผลิตไฮโดรเจนใช้ต้นทุนสูง โดยเฉพาะอย่าง ในกรณีพลังงานไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตด้วยเชื้อเพลิงสะอาด (Green Hydrogen) และกระบวนการปรับเปลี่ยนจากการใช้แหล่งพลังงานเดิมไปสู่การใช้พลังงานไฮโดรเจนต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและความปลอดภัยเท่าเดิม (Sarah Golden, 2020)

### 6.3.6 เชื้อเพลิงชีวภาพกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม

นอกเหนือจากประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขั้นส่งไทย ผลการศึกษาจึงเปิดเผยถึงโอกาสในการบูรณาการนวัตกรรมพลังงานเชื้อเพลิงเข้ากับเทคโนโลยีการขับส่ง ที่ก็มีศักยภาพในการถูกนำเสนอบริบททางเลือกในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขั้นส่งไทยได้อย่างน่าสนใจ ในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจุกระแสไฟฟ้าด้วยสัดส่วนผสมแหล่งพลังงานไฟฟ้า (Grid Energy Mix) ในปัจจุบันของไทย นั่นคือ การบูรณาการการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (E85 และ B20) เข้ากับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV)

ดังแสดงในผลการศึกษา ขณะที่พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) 5.9239 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) พลังงานประเภทอื่นๆที่ปลดปล่อยฯใกล้เคียง ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85) ปลดปล่อยฯ 5.7241  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$  (ตารางที่ 5) หรือต่ำกว่าการปลดปล่อยฯของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ร้อยละ 3 รองลงมา ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85; ปลดปล่อยฯ 6.0281  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) และน้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20; ปลดปล่อยฯ 6.7510  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ซึ่งปลดปล่อยฯสูงกว่าการปลดปล่อยฯของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ร้อยละ 2 และ 14 ตามลำดับ

## 7. ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา (Contributions of the Study)

จากการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อสังเคราะห์เป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนพลังงานฟอสซิล และการสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ในภาคขนส่งไทยได้ ดังนี้

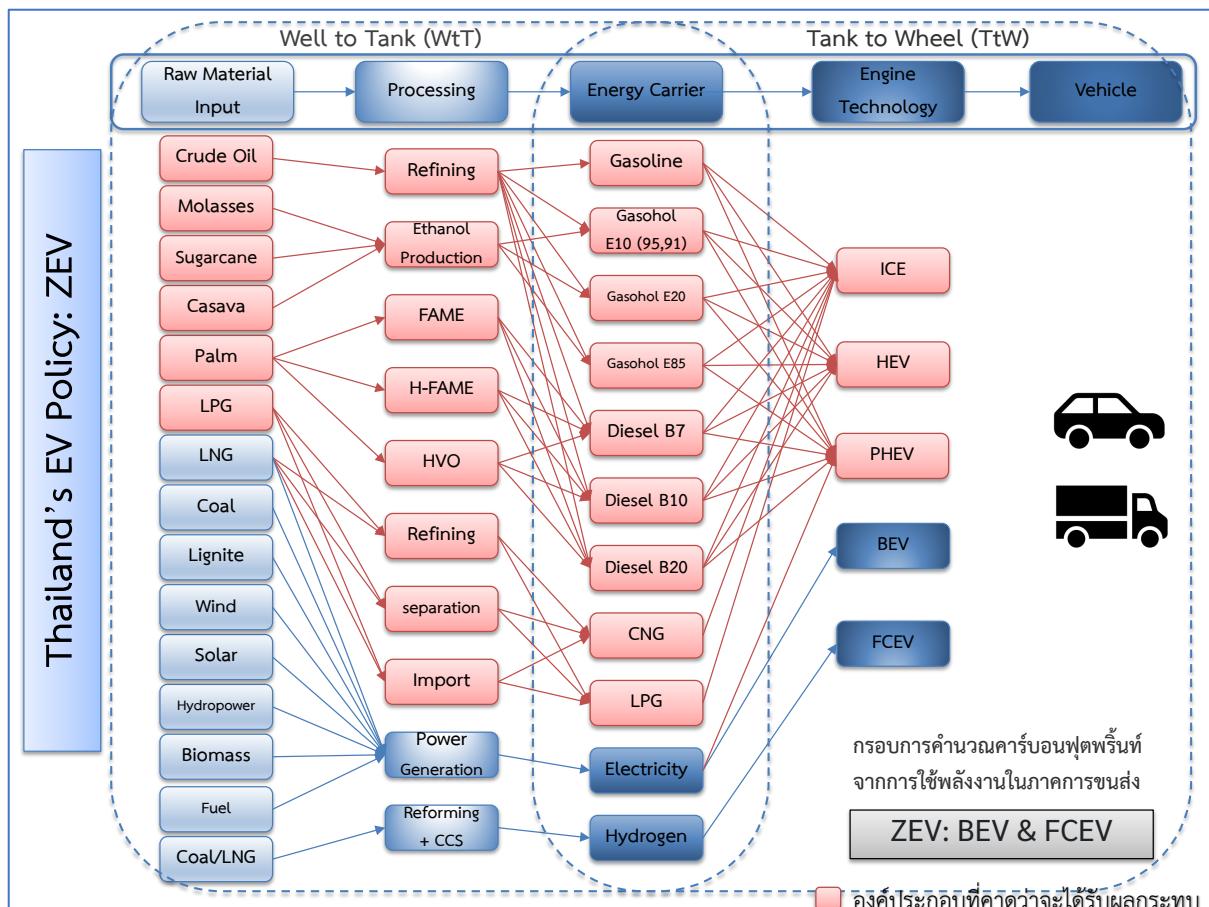
### 7.1 ความลักษณะของนโยบายภาครัฐไทยในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและยานยนต์ไฟฟ้า (Biofuel vs ZEV) อาจส่งผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง

จากการที่คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ ได้มีมติกำหนดเป้าหมายในการผลักดันยานยนต์ไฟฟ้าของไทยให้เป็นฐานการผลิต รวมถึงการผลักดันให้ยานยนต์ที่ใช้ในประเทศไทยเป็นยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (Zero Emission Vehicle: ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578 (แผน ZEV100%@2035) ปรับเปลี่ยนจากแผน 30@30 ซึ่งย่อมาอยู่รวมเฉพาะยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าขับเคลื่อน 100% ได้แก่ ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) ดังกรณีภายใต้การศึกษานี้

นโยบายการสนับสนุนยานยนต์ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ดังกล่าว อาจเกิดความลักษณะกับมาตรการการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคขนส่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความสับสนและความไม่สงบในนโยบายของรัฐบาลที่ไม่ชัดเจนและปรับเปลี่ยนรวดเร็ว

การเปลี่ยนผ่านอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและการบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะส่งผลกระทบต่อฐานการผลิตเดิม ตั้งแต่แรงงานที่เกี่ยวข้องไปจนถึงห่วงโซ่อุปทานทั้งระบบ กระทบเกี่ยวพันเป็นวงกว้าง ทั้งผู้ประกอบการและการจ้างแรงงานจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลกระทบกับเกษตรกรรมมั่นสำคัญ อ้อย และปาล์ม ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันใบโอเอทานอลและไบโอดีเซล (แผนภาพที่ 10)

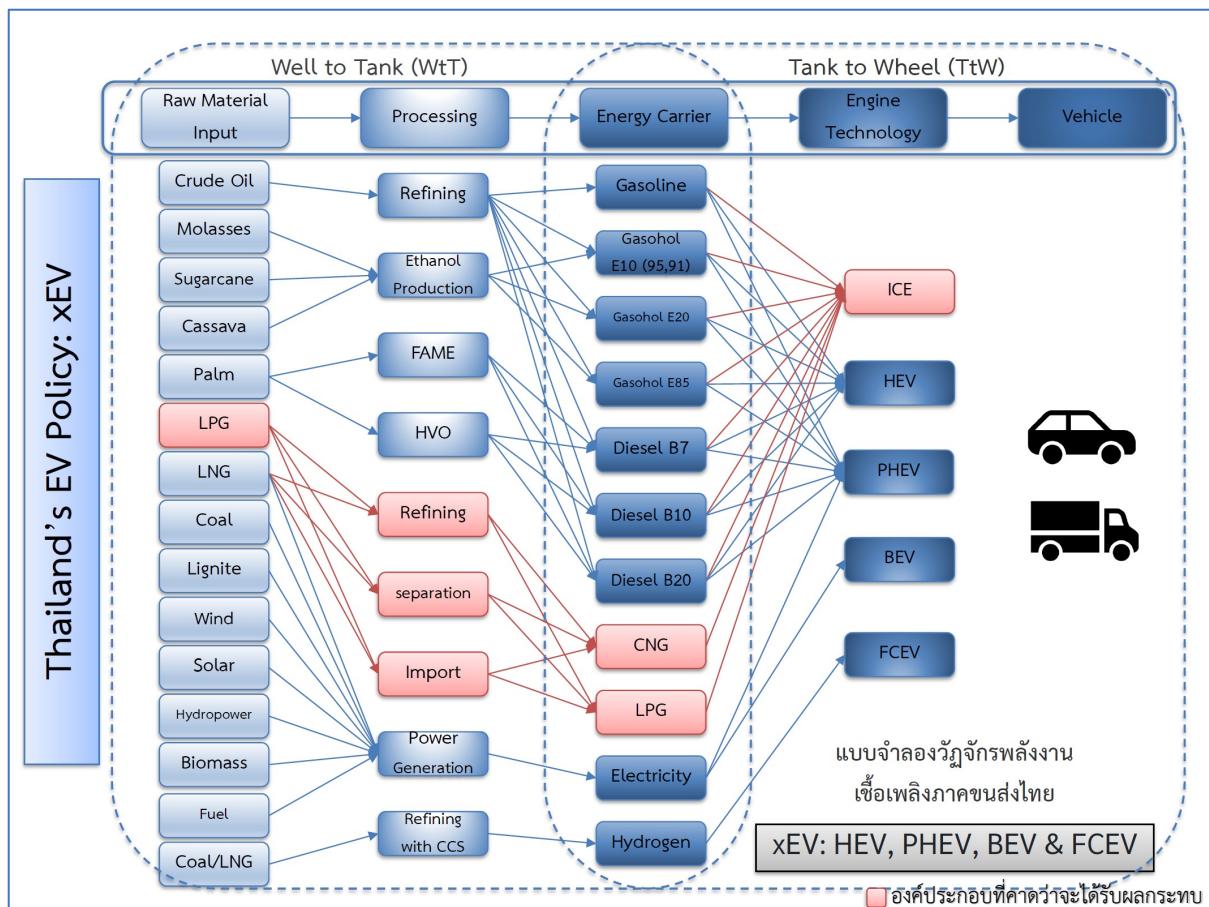
ดังแสดงใน แผนภาพที่ 10 การผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและการบริโภคยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะส่งผลกระทบในวัฏจักรชีวิตพลังงานในภาคขนส่งไทย เริ่มจาก การยกเลิกผลิตและลดการใช้ยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) และยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการลดการบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิล แก๊สเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงชีวภาพ จนอาจนำไปสู่การยกเลิกการผลิตเชื้อเพลิงเหล่านี้ในระยะยาวในที่สุด ซึ่งย่อผลกระทบต่ออุตสาหกรรมกระบวนการผลิตพลังงาน ได้แก่ กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ กระบวนการกลั่นและแยกแก๊สเชื้อเพลิง และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวภาพ จนในท้ายที่สุดจะกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องในการจัดหาราภูดิบ ได้แก่ ผู้จัดหาและนำเข้าน้ำมันดิบ แก๊สปิโตรเลียมเหลว และแก๊สธรรมชาติเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระทบท่อเกษตรกรชาวไร่มั่นสำคัญ อ้อย และปาล์ม ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ



แผนภาพที่ 10 องค์ประกอบภายในวัสดุจักรชีวิตพลังงานภาคขนส่งไทยที่จะได้รับผลกระทบจากนโยบายการผลักดันไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV)

แนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 11 อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยจำกัดขอบเขตของผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างน้อยช่วยลดผลกระทบในช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนผ่านไปสู่การพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน และพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาดซึ่งจะกล่าวในประเด็นถัดไป

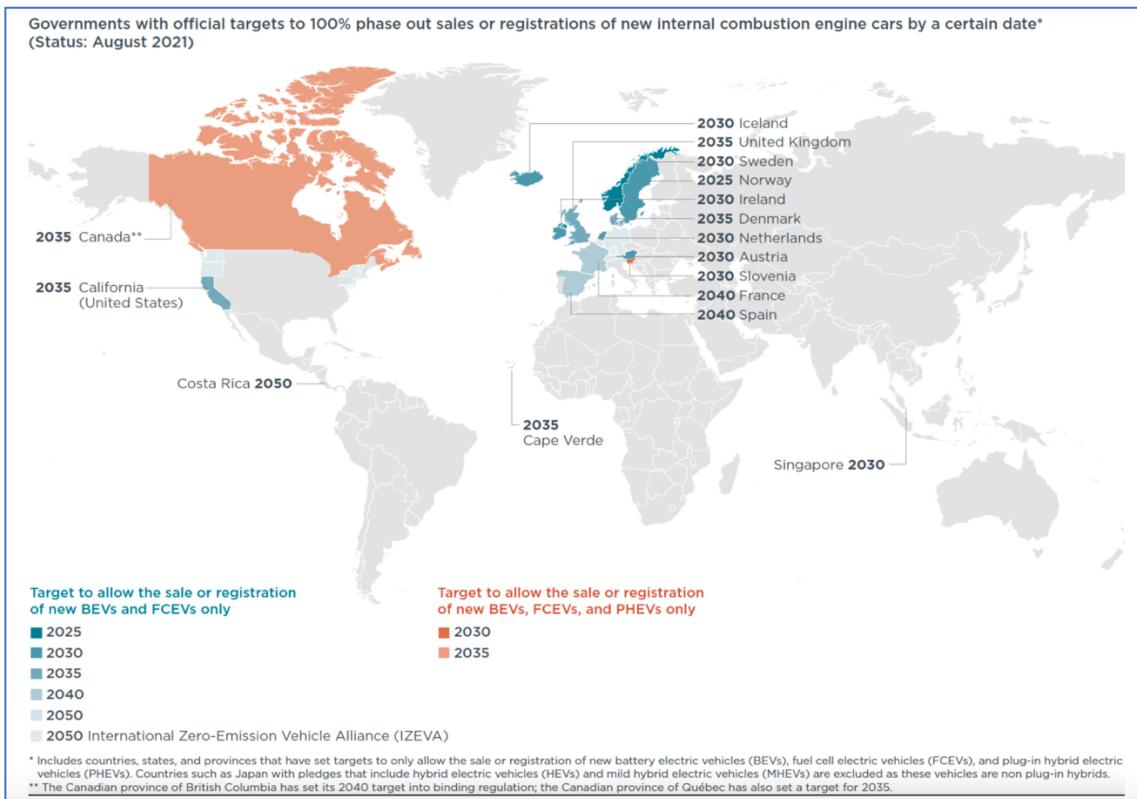
ดังแสดงใน แผนภาพที่ 11 ยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะยังคงได้รับการสนับสนุนภายใต้แผนงานนี้ พร้อมด้วยการผลิตและบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม ได้แก่ ยานยนต์ไฮบริด (HEV) และปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) โดยจะยังสามารถส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพควบคู่ไปด้วย ทั้งนี้ ผลกระทบส่วนใหญ่จะตกแก่เพียงยานยนต์สันดาปภายใน 100% รวมถึงแก๊สเชื้อเพลิง ห้องปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ต่างมีประสิทธิภาพด้านการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับยานยนต์และเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ ภายใต้การศึกษานี้



โครงการศึกษาวิถีชีวิต (Life Cycle) ของการใช้พลังงานไปสู่ภาคชนลั่ง และการคำนวณเปรียบเทียบเรื้อร่ายแท็บบอน (Carbon footprint) ในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

## 7.2 การพัฒนาส่วนผสมแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (Grid Energy Mix) ไปสู่การพึ่งพาแหล่งพลังงานหมุนเวียน

การผลักดันให้ยานยนต์ใช้ในประเทศไทยเป็นยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าขับเคลื่อน 100% หรือยานยนต์ที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578 (ค.ศ. 2035) นั้น จำเป็นต้องเตรียมความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยในกรณีด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานเพื่อการขนส่งบนถนนนั้น ผลกระทบศึกษาพบว่า แหล่งวัตถุดิบเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภาพรวมศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งด้วยยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยในปัจจุบัน กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทย ยังคงพึ่งพาแหล่งวัตถุดิบพลังงานผลิตภัณฑ์ฟอสซิลเป็นหลัก ดังนั้น ประเทศไทยควรลงทุนเพื่อเพิ่มสัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ทั้งนี้ ควรให้ความสำคัญกับการลงทุนในการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำ เพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Grid Emission Factor) ควบคู่ไปกับการลงทุนในระบบส่งจำหน่ายและจัดการไฟฟ้าスマาร์ทกริดและสนับสนุนมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน รวมถึงการเตรียมการรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยหน่วยงานเกี่ยวข้อง ทao การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง ควรวางแผนรองรับการใช้ไฟฟ้าด้วยการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี จัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้เพียงพอทั่วประเทศ โดยประเทศไทยมีปัญหาความไม่พร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานทั้งสถานีประจุไฟฟ้าและระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันไทยมีสถานีประจุไฟฟ้าเพียงทั้งสิ้น 817 สถานีทั่วประเทศ (Praiwan, 2021)



แผนภาพที่ 12 ประเทศที่มีการกำหนดเป้าหมายยกเลิกการจำหน่ายหรือการจดทะเบียน

รถยนต์ใหม่ที่เป็นยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) (UN Climate Change, 2021)

หลายประเทศในทวีปยุโรปได้กำหนดเป้าหมายยกเลิกการจำหน่ายหรือการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ที่เป็นยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) เช่น นอร์เวย์กำหนดเป้าหมายลักษณะในปี ค.ศ. 2025, ไอซ์แลนด์ สวีเดน ไอร์แลนด์ เนเธอร์แลนด์ และออสเตรีย กำหนดเป้าหมายในปี ค.ศ. 2030, เดนมาร์ก สาธารณอาณาจักร และสิงคโปร์ กำหนดเป้าหมายในปี ค.ศ. 2035 และ สเปนและฝรั่งเศส ตั้งเป้าหมายในปี ค.ศ. 2040 ดังแสดงในแผนภาพที่ 12 (UN Climate Change, 2021)

น่าสังเกตว่า ประเทศส่วนใหญ่เหล่านี้เป็นประเทศที่มีรายได้สูง จำนวนประชากรไม่มาก ผู้บริโภคในประเทศเห็นความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรมยานยนต์ไม่ใช่อุตสาหกรรมหลักของประเทศ (ยกเว้นสเปนและฝรั่งเศสที่มีกำลังการผลิตยานยนต์มากกว่า 2 ล้านคันต่อปี) นอกจากนั้น ประเทศส่วนใหญ่เหล่านี้มีความพร้อมสูงด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ดังนั้น การขับเคลื่อนเป้าหมายที่จะทำในระยะสั้นจึงสามารถทำได้มาก เช่น กรณีประเทศนอร์เวย์ เป็นประเทศพัฒนาแล้วที่มีประชากร 5.3 ล้านคน มีการใช้งานยานยนต์บนถนนภายในประเทศน้อยกว่า 90,000 คัน และไม่มีอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ภายในประเทศ (อาชันน์ เกาะไฟนแลนด์, 2021) ยิ่งไปกว่านั้น นอร์เวย์มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเกินกว่าความต้องการภายในประเทศจนสามารถจำหน่ายและส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ใกล้เคียงได้ด้วยปัจจัยความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ทั้งหมดนี้ จึงไม่น่าแปลกใจที่นอร์เวย์สามารถประกาศ

เป้าหมายการยกร่างกฎหมาย ICE นี้ ให้สำเร็จภายในปี ค.ศ. 2025 ไว้ตั้งแต่เมื่อปี ค.ศ. 2017 หรือวางแผนดำเนินการให้สำเร็จตามเป้าหมายภายในระยะเวลาเพียง 8 ปี

ในขณะที่ หลายประเทศในสหภาพยุโรป นำโดยนอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์ และเดนมาร์ก เรียกร้องให้ สหภาพยุโรป (the European Commission) กำหนดเป้าหมายในลักษณะดังกล่าวในระดับพหุภาคี (Posaner, 2021) ทว่าเยอรมันนีซึ่งเป็นประเทศผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของอุตสาหกรรมยานยนต์โลก และ อุตสาหกรรมรถยนต์คิดเป็นสัดส่วนรายได้สูงถึงร้อยละ 20 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (GDP) แสดง ท่าทีคัดค้านอย่างชัดเจน แม้ยานยนต์ไฟฟ้าในเยอรมันนีจะมีสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของรถยนต์จดทะเบียน ใหม่ ซึ่งมากกว่าปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าของทั้งนอร์เวย์และเดนมาร์กด้วยกีตาม (อาชันน์ เกาะไฟบูล์ย์, 2021)

พิจารณากรณีความพร้อมของไทย ปัจจุบันไทยเป็นประเทศมีรายได้ปานกลางขั้นสูง มีจำนวน ประชากรประมาณ 69.8 ล้านคน มีจำนวนยานยนต์จดทะเบียนสะสมทั่วประเทศ ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2563 ทั้งสิ้นกว่า 41 ล้านคัน และอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย โดยไทยเป็น ฐานการผลิตยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก มีกำลังการผลิตยานยนต์มากกว่า 2 ล้าน คันต่อปี นอกจากนั้น การผลิตกระแสไฟฟ้ายังคงพึ่งพิงพลังงานจากแก๊สธรรมชาติและถ่านหินมากกว่าร้อยละ 65

การเตรียมความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานอาจเป็นเงื่อนไขไปสู่ความสำเร็จในการเป็นฐานการผลิต และบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าของภูมิภาคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตาม การดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้อง ทำอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และไม่ให้เป็นการเพิ่มภาระค่าไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เร็วเกินไป เช่นการมุ่งเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในปัจจุบัน ซึ่งกำลังอยู่ ในภาวะอุปทานไฟฟ้าล้นเกิน อาจยิ่งเป็นการซ้ำเติมภาระค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศ ไม่ใช่เพียงผู้ใช้ยานยนต์ขนส่งบนถนน เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าได้แบกรับต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ล้นเกินอยู่เดิมแล้ว อีกทั้งการติดสัญญาผูกพัน ระยะยาวที่ไม่มีด้วยหุ่นกับโรงไฟฟ้า การปรับเปลี่ยนให้ตอบรับกับความต้องการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดจึง ทำได้อย่างจำกัด (อภิญญา อักษรกิจ & พิมใจ อุนตรภูล, 2564)

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่สนับสนุนให้ภาครัฐควรเร่งลงทุนสายส่งสายจำหน่าย ที่เชื่อมโยงระบบสมาร์ทกริด เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างกลไกตลาดและกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันที่โปร่งใส ในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด โดยไม่ควรพึ่งพิงเทคโนโลยีพลังงานสะอาดประเภทใด ประเภทหนึ่งเป็นพิเศษ ปรับนโยบายที่ไม่มีด้วยหุ่นจากภาระมีสัญญาผูกพันระยะยาว และเร่งปรับนโยบายการ จัดหาไฟฟ้าเพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) และ การสนับสนุนการใช้กระแสไฟฟ้าพลังงานสะอาดในภาคชนบททางตอนอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกัน ภาครัฐควรเร่งสร้างกลไกการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตยานยนต์แต่ละค่าย ให้กลไกตลาดเป็นตัวขับเคลื่อนและ ผลักดันผู้ผลิตยานยนต์ให้นำเสนอ yanynet ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช่ยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) เข้ามาใน ตลาด เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันในตลาดทั้งทางด้านราคาและคุณภาพต่อไป

## 7.3 การสนับสนุนการใช้พลังงานและเทคโนโลยีภาคชนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงด้านสิ่งแวดล้อมในช่วงเปลี่ยนผ่านนี้

ตามที่กล่าวข้างต้นนั้น กระบวนการเปลี่ยนผ่านไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้พลังงานที่สะอาด ทดแทนแหล่งพลังงานจากฟอสซิลนั้น ควรเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยในช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านนี้ ควรสนับสนุนการใช้พลังงานควบคู่เทคโนโลยียานยนต์ที่สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจกได้สูงสุดในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของยานยนต์ไฟฟ้าปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในช่วงเวลาของการเปลี่ยนผ่านนี้หรืออย่างน้อยไปจนกว่าที่จะสามารถจัดหากระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ต่ำ เช่น จากแหล่งพลังงานสะอาด และเพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคส่วนของประเทศไทย

ดังผลการศึกษาพบว่า การบูรณาการนวัตกรรมพลังงานเชื้อเพลิงเข้ากับเทคโนโลยียานยนต์เพื่อการขับส่ง กล่าวคือการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (E85 และ B20) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจกให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจุด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สร้อนระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) สูงของไทยในปัจจุบัน

นอกจากนี้ ภาครัฐสามารถออกมาตรการเสริมเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม เช่น การยกระดับมาตรฐานไอเสียอย่างต่อเนื่อง หรือสิทธิพิเศษทางภาษีต่างๆ เพื่อจูงใจให้ผู้บริโภคเปลี่ยนพฤติกรรมมาบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าควบคู่ไปกับการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มมากขึ้น เพื่อบรรลุเป้าหมายการรักษาสิ่งแวดล้อมขั้นสูงอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต

## 8. บทสรุปและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย (Conclusion and Policy Recommendation)

### 8.1 บทสรุป

ประเทศไทยนับเป็นหนึ่งในประเทศที่มีความเสี่ยงสูงจากผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งรัฐบาลไทยโดยนายกรัฐมนตรีได้ให้คำมั่นต่อประชาคมโลกในการก้าวสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี ค.ศ. 2050 และบรรลุเป้าหมายการลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูตรชูนี้เป็นศูนย์ได้ในปี ค.ศ. 2065 การเร่งลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จึงนับเป็นอีกหนึ่งภารกิจระดับชาติ

ภาคการขนส่งเป็นสาขาวิชามีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) สูงถึงร้อยละ 18.81 ของปริมาณการปลดปล่อยรวมทั้งประเทศในปี ค.ศ. 2016 เป็นรองเพียงสาขาวิชาการผลิตพลังงาน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563) ดังนี้ ภาครัฐจึงกำหนดมาตรการเพื่อลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคการขนส่งไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และมาตรการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยกำหนดเป้าหมายสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งหมายรวมถึงเชื้อเพลิงชีวภาพ ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ในปี 2580 และกำหนดเป้าหมายให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578

อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ และยานยนต์ไฟฟ้า มีกระบวนการผลิตที่ต่างไปจากการผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ทั่วไป ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมหรืออย่างน้อยก็แตกต่างจากการณ์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของยานยนต์สันดาปภายในทั่วไป ดังนั้น การเปรียบเทียบผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจากการเหล่านี้ จึงมีความจำเป็นและสามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ภายใต้การศึกษานี้ อยู่บนพื้นฐานแนวคิด “การวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (WtW)” ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ “การวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิดสู่ตั้งเชื้อเพลิง (WtT)” และ “การวิเคราะห์จากตั้งเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW)” ซึ่งสามารถวิเคราะห์การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งในไทย

โดยจากการศึกษา สามารถเรียงลำดับพลังงานเชื้อเพลิงที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจนลดลงวัฏจักรชีวิตพลังงานจำนวนมากไปน้อยได้ ดังนี้ แก๊สปีโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) ปลดปล่อย 26.7751, แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG): 25.4281, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0): 17.9284, น้ำมันแก๊สโซฮอล E10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E10): 17.1540, น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E20): 16.3271, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B7): 14.5924, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B10): 14.4418, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-B20): 14.0592, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E0):

11.7624, น้ำมันแก๊สโซชอล E10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E10): 11.2543, น้ำมันแก๊สโซชอล E20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E20): 10.7118, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B7): 9.5737, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B10): 9.4749, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-B20): 9.2239, น้ำมันแก๊สโซชอล E85 สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-E85): 9.188, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E0): 8.4085, น้ำมันแก๊สโซชอล E10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E10): 8.1706, น้ำมันแก๊สโซชอล E20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E20): 7.9167, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมี่ยม สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B7): 6.9277, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B10): 6.8753, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20): 6.7510, น้ำมันแก๊สโซชอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85): 6.0281, พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity): 5.9239, น้ำมันแก๊สโซชอล E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85): 5.7241 และพลังงานไฮโดรเจน สำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen): 1.4946 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ตามลำดับ

จากผลการศึกษานี้ พบข้อสังเกตที่น่าสนใจบางประการ ได้แก่

**กรณีเชื้อเพลิงฟอสซิล:** การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของหั้งน้ำมันเบนซิน (E0) และดีเซล (B0) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง TtW นอกจากนี้ ในกรณีที่ยานยนต์ที่ขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน เครื่องยนต์ดีเซลจะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยกว่าเครื่องยนต์เบนซิน

**กรณีเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้า:** แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้ามีอิทธิพลอย่างมากต่อศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อม ของยานยนต์ไฟฟ้า (xEV) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) กล่าวคือ แม้ยานยนต์ไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบอย่างมากจากประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยไม่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกหรือปลดปล่อยเป็นศูนย์ในช่วง TtW อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยยังคงพึ่งพาพลังงานฟอสซิลจากแก๊สธรรมชาติและถ่านหินเป็นหลัก ทำให้การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ของการผลิตเชื้อเพลิงไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) สูงกว่าการปลดปล่อยในช่วง WtT ของการผลิตเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) สำหรับยานยนต์สันดาปภายในทั่วไป (ในหน่วย  $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$  หรือ  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{ km}$ ) อย่างไรก็ต้องพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) มีศักยภาพที่จะสามารถเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกเชิงพาณิชย์ที่ดีที่สุดหรือจะสามารถแสดงศักยภาพด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ ในแห่งของการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ก็ต้องเนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล

**กรณีเชื้อเพลิงไฮโดรเจน:** ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่อตัววัสดุจักรชีวิตพลังงาน (WtW) ของพลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) ต่ำที่สุดภายใต้การศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับภาคการขนส่งยังไม่แพร่หลายในเชิงพาณิชย์

กรณีแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับภาคการขนส่ง (LPG และ CNG): แก๊สเชื้อเพลิง (LPG และ CNG) มี ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ภายใต้การศึกษานี้ (ในหน่วย  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) เนื่องจากมีการเผาไหม้แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) สูงกว่า เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel): เชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งไปโอดีเซล (E100) และ ไบโอดีเซล (B100) มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล (เบนซิน และดีเซล) เมื่อผสมเป็น น้ำมันแก๊สโซฮอล (E10, E20 และ E85) และน้ำมันไบโอดีเซล (B7, B10 และ B20) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วง TTW แม้จะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงกว่าเบนซิน (E0) และดีเซล (B0) ในช่วง WtT อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในภาพรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ก็ถือว่าเบนซิน (E0) และดีเซล (B0) ทั้งสอง

กรณีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้า (xEV): การบูรณาการการใช้เชื้อเพลิง ชีวภาพร่วมกับเทคโนโลยียานยนต์ไฮบริด (HEV และ PHEV) ซึ่งเป็นยานยนต์สมรรถห่วงมอเตอร์ไฟฟ้าและ เครื่องยนต์สันดาปภายใน มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขนส่ง โดยเฉพาะอย่าง ยิ่ง น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85) และน้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85) มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ใกล้เคียงกัน กับการปลดปล่อยของเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ใน ส่วนผสมเหลืองผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน

## 8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากผลการศึกษาสามารถนำมาสังเคราะห์ได้เป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ดังนี้

(1) ภาครัฐควรผลักดันแนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) ในระยะแรก และควรทบทวนแนวทางการผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในระยะถัดไป เนื่องจากแนวทางการผลักดันฐาน ZEV จะส่งผลกระทบต่อฐานการผลิตเดิมทั้งระบบเป็นวงกว้าง ทั้งผู้ประกอบการและการจ้างแรงงานจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลกระทบกับเกษตรกรรมมีขนาดใหญ่ อ้อย และปาล์มน้ำมัน ที่เป็นวัตถุคงทนสำคัญในการผลิตน้ำมันอethanol และไบโอดีเซล โดยแนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยจำกัดขอบเขตของผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างน้อยช่วยลดผลกระทบในช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนผ่านไปสู่การพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด

(2) ภาครัฐควรกำหนดช่วงเวลาเปลี่ยนผ่าน เพื่อเร่งปรับนโยบายการจัดหาไฟฟ้าเพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) และการสนับสนุนการใช้กระแสไฟฟ้าพลังงานสะอาดในภาคชนบททางตอนอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งควรเร่งลงทุนระบบสายส่งสายจำหน่ายที่เชื่อมโยงระบบสมาร์ทกริด เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างกลไกตลาดและกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันที่โปร่งใส ในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด โดยไม่ควรพึ่งพึ่งเทคโนโลยีพลังงานสะอาดประเภทใดประเภทหนึ่งเป็นพิเศษ ปรับนโยบายที่ไม่มีดียุ่นจากการมีสัญญาณระยะยาว

ในขณะเดียวกัน ภาครัฐควรเร่งสร้างกลไกการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตยานยนต์แต่ละค่าย ให้กลไกตลาดเป็นตัวขับเคลื่อนและผลักดันผู้ผลิตยานยนต์ให้นำเสนอ yanynต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช้ yanynต์สันดาปภายใน (ICE) เข้ามายังตลาด เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันในตลาดทั้งทางด้านราคาและคุณภาพต่อไป

(3) ภาครัฐควรสนับสนุนการบูรณาการการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง E85) ร่วมกับ yanynต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับ yanynต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจุด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) สูงของไทยในปัจจุบัน ในช่วงของการเปลี่ยนผ่านนี้ อย่างน้อยไปจนกว่าที่จะสามารถจัดหาระดับไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ต่ำ เช่น จากแหล่งพลังงานสะอาด และเพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคส่วนของประเทศไทย

(4) ข้อเสนอแนะอื่นๆ

(4.1) เทคโนโลยีพลังงานไฮโดรเจนและเทคโนโลยีyanynต์เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานของกรณีพลังงานไฮโดรเจนสำหรับ yanynต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) ภายใต้การศึกษานี้ จากการศึกษาปัจจัยภาพขั้นสูงด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในฐานะเชื้อเพลิงภาคการขนส่ง จากการ

ผลดีปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่อคัววูจักรชีวิตพลังงาน (WtW) ต่ำที่สุดเชิงเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงภาคชนส่ง ประเภทอื่นๆ ทว่าปัจจุบันยังคงสถานะเป็นเทคโนโลยีพลังงานภาคชนส่งแห่งอนาคต ดังนั้น ควรเสนอให้มีการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาให้สามารถนำเทคโนโลยีพลังงานไฮโดรเจนและยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง มาประยุกต์ใช้ได้ในเชิงพาณิชย์

(4.2) ภาครัฐควรทบทวนมาตรการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงบีโตรเลียมเหลว (LPG) และเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) ไปสู่การลดหรือยกเลิกมาตรการสนับสนุนเชื้อเพลิงดังกล่าว เนื่องจากผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิง LPG และ CNG มีศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุด จากการที่มีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่อคัววูจักรชีวิต (WtW) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงภาคชนส่งประเภทอื่นๆ ภายใต้การศึกษานี้

### 8.3 ความสอดคล้องของข้อเสนอแนะกับร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13

(1) ข้อเสนอให้สนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสม (xEV) ในระยะแรก ก่อนเปลี่ยนผ่านสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในอนาคต

สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 4 การยกระดับขีดความสามารถของผู้ประกอบการไทยในการลงทุนผลิตยานยนต์ไฟฟ้า แบบเตอร์ แล้วขึ้นส่วนสำคัญ ภายใต้หมวดหมู่ที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก เนื่องจากข้อเสนอแนะนี้จะเป็นการช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถยกระดับขีดความสามารถในระยะเปลี่ยนผ่านได้เป็นลำดับ รวมทั้งสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 5 มาตรการสاحรับกลุ่มผู้ได้รับผลกระทบ ภายใต้หมวดหมู่ที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก เนื่องจากข้อเสนอแนะนี้จะช่วยจำกัดผลกระทบจากการดำเนินนโยบาย ซึ่งย่อมจะช่วยลดภาระภาครัฐในการเยียวยาผู้ได้รับผลกระทบ

อย่างไรก็ตาม การศึกษาขอเสนอแก้ไขตัวชี้วัดที่ 1.1 และ 1.2 ภายใต้หมวดหมู่ที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก หน้า 57 ดังปรากฏความว่า

“ตัวชี้วัดที่ 1.1 ปริมาณการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (ยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์) จำนวน 282,240 คัน คิดเป็นร้อยละ 26 ของยานยนต์ทั้งหมด ภายในปี 2570

ตัวชี้วัดที่ 1.2 ปริมาณการผลิตยานยนต์ไฟฟ้า (ยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์) จำนวน 380,250 คัน คิดเป็นร้อยละ 17 ของยานยนต์ทั้งหมด ภายในปี 2570”

ทั้งนี้ การศึกษาขอแก้ไขข้อความดังกล่าว โดยตัดคำว่า “(ยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์)” เพื่อขยายนิยามของคำว่ายานยนต์ไฟฟ้าเป็นความหมายกว้างตามคำจำกัดความของ xEV ซึ่งครอบคลุมทั้ง ยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) และยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสม (HEV และ PHEV)

(2) ข้อเสนอให้มีการกำหนดช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านที่ชัดเจน เพื่อพัฒนาแหล่งพลังงานการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่งพาลังงานสะอาด เชื่อมโยงระบบสมาร์ทกริด และเร่งลงทุนโครงสร้างพื้นฐานพลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทั้งระบบ โดยให้มีผลกระทบต่อภาคครัวเรือนผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด

สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 7 โครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานที่มีความพร้อมรองรับปริมาณการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ ภายใต้หมวดหมู่ที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนให้เพียงพอและสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานทั้งระบบ นับเป็นโครงสร้างพื้นฐานจำเป็นต่อการรองรับการขยายตัวของการบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าในระดับประเทศ

อย่างไรก็ตาม การศึกษาขอเสนอเพิ่มเติม “กลยุทธ์อย 7.4 ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่งพาแหล่งพลังงานสะอาด” ภายใต้กลยุทธ์ที่ 7 โครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานที่มีความพร้อมรองรับปริมาณการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ หมวดหมู่ที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก

(3) ข้อเสนอให้สนับสนุนการบูรณาการการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (E85 และ B20) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสม (HEV และ PHEV)

สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 2 การส่งเสริมการผลิตและการขยายตัวของตลาด ของสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูปที่มีมูลค่าเพิ่มสูง ภายใต้หมวดหมู่ที่ 1 ไทยเป็นประเทศชั้นนำด้านสินค้าเกษตรและเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง เนื่องจากเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าและส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากมันสำปะหลัง กาแฟ น้ำตาล อ้อย และปาล์มน้ำมัน รวมทั้งสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 5 การปรับพฤติกรรมทางเศรษฐกิจและการดำเนินชีพเข้าสู่วิถีใหม่อย่างยั่งยืน ภายใต้หมวดหมู่ที่ 10 ไทยมีเศรษฐกิจหมุนเวียนและสังคมคาร์บอนต่ำ เนื่องจากเป็นการส่งเสริมการใช้ยานพาหนะที่ใช้พลังงานสะอาดและประหยัดพลังงาน

## บรรณานุกรม

- Andersson, Ö., & Börjesson, P. (2021). The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. *Applied Energy*, 289, 116621. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.116621>
- Bicer, Y., & Dincer, I. (2018). Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 141–157. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.01.036>
- Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). *Global Climate Risk Index 2021*. Bonn.
- García, C. A., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F., & Masera, O. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 545–552.
- Green Car Congress. (2006, November). Comparing the Effect of Palm and Jatropha Biodiesel in a Diesel Engine - Green Car Congress. Retrieved December 12, 2021, from [https://www.greencarcongress.com/2006/11/comparing\\_the\\_e.html](https://www.greencarcongress.com/2006/11/comparing_the_e.html)
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Dahl Öberg, J., & Vehabovic, A. (2021). Well-to-wheel greenhouse gas emissions of heavy-duty transports: Influence of electricity carbon intensity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93, 102757. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102757>
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., & Fredriksson Möller, B. (2021). Well-to-wheel climate performance of gas and electric vehicles in Europe. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 97, 102911. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102911>
- Howarth, R. W., & Jacobson, M. Z. (2021). How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering*, 9(10), 1676–1687. <https://doi.org/10.1002/ESE3.956>
- IEA-AMF. (2017). Advanced Motor Fuels: Properties. Retrieved December 12, 2021, from [https://www.iea-amf.org/content/fuel\\_information/paraffins/properties](https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/paraffins/properties)
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 2). Switzerland: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>
- Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, A. M., Ljunggren Söderman, M., & Van Mierlo, J. (2014).

- Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), 1866–1890. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0788-0>
- Numjuncharoen, T., Papong, S., Malakul, P., & Mungcharoen, T. (2015). Life-Cycle GHG Emissions of Cassava-Based Bioethanol Production. *Energy Procedia*, 79, 265–271.
- Pacific Northwest National Laboratory. (n.d.). About H2 Tools: HyARC Calculator Tools. Retrieved December 12, 2021, from <https://h2tools.org/hyarc/calculators>
- Papong, S., Chom-In, T., Noksa-nga, S., & Malakul, P. (2010). Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand. *Energy Policy*, 38(1), 226–233.
- Papong, S., & Malakul, P. (2010). Life-cycle energy and environmental analysis of bioethanol production from cassava in Thailand. *Bioresource Technology*, 101(1 SUPPL.). <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECH.2009.09.006>
- Posaner, J. (2021, March 10). Death rattle of the internal combustion engine sparks a political battle – POLITICO. Retrieved December 7, 2021, from <https://www.politico.eu/article/germany-slams-push-for-eu-car-ban-plan/>
- Praiwan, Y. (2021, February 13). EA aims to bump up EV charging outlets to 1,000. Retrieved December 7, 2021, from <https://www.bangkokpost.com/business/2067471/ea-aims-to-bump-up-ev-charging-outlets-to-1-000>
- Saisirirat, P., Thanungkano, W., Thanomnim, B., Chollacoop, N., & Mungkalasiri, J. (2017). *Life Cycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions for Alternative Energy Technology in Thai Road Transport*. Pathum-thani.
- Sarah Golden. (2020, April 10). Has green hydrogen's time finally come? | Greenbiz. Retrieved December 14, 2021, from <https://www.greenbiz.com/article/has-green-hydrogens-time-finally-come>
- Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., & Pongpat, P. (2015). Sustainability assessment of sugarcane biorefinery and molasses ethanol production in Thailand using eco-efficiency indicator. *Applied Energy*, 160, 603–609. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2015.08.087>
- SimaPro. (2017). SimaPro LCA Software UK. Retrieved December 12, 2021, from <https://www.simapro.co.uk/>

Stockholm Environmental Institute. (n.d.). Long range Energy Alternatives Planning System (LEAP): Global Climate Change. Retrieved December 12, 2021, from <https://www.climatelinks.org/resources/long-range-energy-alternatives-planning-system-leap>

UN Climate Change. (2021, August). Transport - UN Climate Change Conference (COP26) at the SEC – Glasgow 2021. Retrieved December 7, 2021, from <https://ukcop26.org/transport/>

US Environmental Protection Agency. (n.d.). Biodiesel. Retrieved December 12, 2021, from <https://www.fueleconomy.gov/feg/biodiesel.shtml>

US Environmental Protection Agency. (2017). Download Fuel Economy Data. Retrieved December 12, 2021, from <https://www.fueleconomy.gov/feg/download.shtml>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP 2018). กรุงเทพฯ.

กรณิการ์ ธรรมพานิชวงศ์, วิษณุ อรรถawanich, บัณฑิต ลีมมีโชคชัย, & อัศมน ลิ่มสกุล. (2021, September 30). การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของไทย | PIER. Retrieved November 5, 2021, from <https://www.pier.or.th/abridged/2021/15/>

กรุงเทพธุรกิจ. (2564a, September 25). เปิดแผนพัฒนาฉบับ 13 หมุดหมายดันไทยผู้นำ “อีวี.” Retrieved November 3, 2021, from <https://www.bangkokbiznews.com/business/961831>

กรุงเทพธุรกิจ. (2564b, October 22). แผนดันไทยศูนย์กลางอีวี โดยไม่ทิ้งใครไว้ข้างหลัง. Bangkokbiznews. Retrieved from <https://www.bangkokbiznews.com/business/967365>

ไทยคู่ฟ้า ทำเนียบรัฐบาล. (2564, November 2). นายกรัฐมนตรีกล่าวถ้อยแถลงต่อที่ประชุมผู้นำ COP26 - YouTube. youtube.com. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=QXttLQEbhIM>

สทสย. (2560). ฐานข้อมูล National Life Cycle Inventory. Retrieved December 12, 2021, from [https://nstda-tiis.gdcatalog.go.th/tl/dataset/dataset-13\\_06](https://nstda-tiis.gdcatalog.go.th/tl/dataset/dataset-13_06)

สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย. (2564). ข้อมูลเอทานอล ปี 2564. Retrieved December 12, 2021, from <http://www.thai-ethanol.com/en/statistical-data/ethanol.html>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). แผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564-2573. กรุงเทพฯ. Retrieved from <https://climate.onep.go.th/wp-content/uploads/2019/07/NDC-Roadmap-for-Printing.pdf>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). บัญชีกําชเรือนกระจก. Retrieved November 24, 2021, from <https://climate.onep.go.th/th/topic/database/ghg-inventory/#1629282849954-e56da5bf-c04e>

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2563). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ.

อภิญญา อักษรกิจ, & พิมใจ อุณترากุล. (2564). ความจำเป็นและแนวทางการเปลี่ยนผ่านของอุตสาหกรรมไฟฟ้าไทยสู่เป้าหมาย NET ZERO | Economic Intelligence Center (EIC). กรุงเทพฯ. Retrieved from [https://www.scbeic.com/th/detail/product/7968?utm\\_source=email](https://www.scbeic.com/th/detail/product/7968?utm_source=email)

อาชนัน เกาะไฟบูลร์. (2021, May 4). ยานยนต์ไฟฟ้าไทย ZEV 100% ในปี 2035 เป้าหมายยังคลุมเครือ - waymagazine.org | นิตยสาร WAY. Retrieved November 25, 2021, from <https://waymagazine.org/zero-emission-vehicle-2035/>