

การศึกษาวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานไปสู่ภาคขนส่ง  
และการคำนวณเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล  
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 และบรรลุเป้าหมายการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้ในปี ค.ศ. 2065 การลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) เพื่อลดความเสี่ยงจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงอาจเป็นภาระที่ประเทศจะมีอาจปฏิเสธได้อีกต่อไป

ภาคพลังงานไทย โดยภาคการขนส่งเป็นอีกหนึ่งสาขาที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) สูงถึงร้อยละ 18.81 ของปริมาณการปลดปล่อยรวมในปี ค.ศ. 2016 เป็นรองเพียงสาขาการผลิตพลังงาน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563) ดังนั้น ภาครัฐจึงกำหนดมาตรการสำคัญต่างๆ เพื่อลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคการขนส่งไทยดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มาตรการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และมาตรการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยกำหนดเป้าหมายสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งหมายรวมถึงเชื้อเพลิงชีวภาพ ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2580 และกำหนดเป้าหมายให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578 ทั้งนี้ เนื่องจากทั้งมาตรการการส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ต่างเป็นเทคโนโลยีภาคการขนส่งทางถนนที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกภาคขนส่ง

อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงชีวภาพมีกระบวนการเพาะปลูกและการแปรรูป ขณะที่ยานยนต์ไฟฟ้าต้องการการผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมจากแหล่งพลังงานต่างๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมหรือน้อยก็แตกต่างกันกรณีเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ทั่วไป ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจากมาตรการเหล่านี้จึงมีความสำคัญ และสามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้ด้วยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ภายใต้การศึกษานี้ อยู่บนพื้นฐานแนวคิด “การวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel: WtW)” ซึ่งจำแนกการพิจารณาวัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิงภาคขนส่งออกเป็น 2 ส่วน คือ “การวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิดสู่ถังเชื้อเพลิง (Well-to-Tank: WtT)” และ “การวิเคราะห์จากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (Tank-to-Wheel: TtW)” ซึ่งสามารถวิเคราะห์การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่ง โดยไม่รวมวัฏจักรชีวิตของยานยนต์



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

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

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

กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel): เชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งไบโอเอทานอล (E100) และ ไบโอดีเซล (B100) มีศักยภาพในการช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล (เบนซิน และดีเซล) เมื่อผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10, E20 และ E85) และน้ำมันไบโอดีเซล (B7, B10 และ B20) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ช่วยลดการปลดปล่อยในช่วง TtW แม้จะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงกว่าเบนซิน (EO) และดีเซล (BO) ในช่วง WtT อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในภาพรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพผสมก็ดีกว่าเบนซิน (EO) และดีเซล (BO) ทั่วไป

กรณีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้า (xEV): การบูรณาการเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม ซึ่งเป็นเทคโนโลยียานยนต์ที่ผสมผสานระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้แก่ ยานยนต์ไฮบริด (HEV) และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ร่วมกับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85) และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ร่วมกับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85) มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ใกล้เคียงกันกับการปลดปล่อยของเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) บนเงื่อนไขส่วนผสมแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าที่พึ่งพิงพลังงานฟอสซิลของไทยในปัจจุบัน

ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษายังสังเกตเห็น ความลึกลับของนโยบายภาครัฐไทยในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและยานยนต์ไฟฟ้า (Biofuel vs ZEV) เนื่องจากนโยบายการสนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้าที่

ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะส่งผลกระทบต่อตรงต่อการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคขนส่งไทย จนอาจนำไปสู่การยกเลิกการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในที่สุด ซึ่งจะกระทบเกี่ยวพันเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระทบกับเกษตรกรมันสำปะหลัง อ้อย และปาล์ม ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันเอทานอลและไบโอดีเซล รวมถึงประเด็นอุปสรรคในแง่ความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความพร้อมด้านพลังงานไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งระบบ ซึ่งนับเป็นปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จในการขับเคลื่อนนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในหลากหลายอาณาารยประเทศในทวีปยุโรป ดังนั้นจึงนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายหลักสามประการ ดังนี้

1. ภาครัฐควรผลักดันแนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโศคยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) ในระยะแรก และควรทบทวนแนวทางการผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโศคยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในระยะถัดไป เนื่องจากแนวทางการผลักดันสู่ฐาน ZEV จะส่งผลกระทบต่อฐานการผลิตเดิมทั้งระบบเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระทบกับเกษตรกรมันสำปะหลัง อ้อย และปาล์มน้ำมัน ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันเอทานอลและไบโอดีเซล โดยการผลักดันสู่การเป็นฐาน xEV ในระยะแรกเป็นทางเลือกที่ช่วยจำกัดขอบเขตของผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างน้อยช่วยลดผลกระทบในช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนผ่านไปสู่การพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด

2. ภาครัฐควรกำหนดช่วงระยะเวลาเปลี่ยนผ่านที่ชัดเจน เพื่อพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด โดยเร่งปรับนโยบายการจัดการจัดหาพลังงานไฟฟ้าที่มุ่งเน้นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ซึ่งจะช่วยลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) รวมทั้งปรับนโยบายที่ไม่ยืดหยุ่นจากการมีสัญญาผูกพันระยะยาว และสนับสนุนการใช้กระแสไฟฟ้าพลังงานสะอาดในภาคขนส่งทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะเดียวกัน ภาครัฐควรเร่งลงทุนพัฒนาระบบสายส่งสายจำหน่ายที่เชื่อมโยงระบบสมาร์ตกริดและสร้างกลไกการแข่งขัน เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างกลไกตลาดและกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันที่โปร่งใสในการผลิต การบริโศค และการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด ผ่านเครือข่ายการมีส่วนร่วมของประชาชน ในบทบาทของผู้ผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองและซื้อจากระบบ (Prosumer) โดยไม่ควรพึ่งพิงเทคโนโลยีพลังงานสะอาดประเภทใดประเภทหนึ่งเป็นพิเศษ ทั้งนี้ แม้ควรเร่งปรับนโยบายเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างแหล่งพลังงานผลิตกระแสไฟฟ้า รวมทั้งเร่งลงทุนโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบสมาร์ตกริด ระบบสายส่งสายจำหน่าย ตลอดจนสถานประจุไฟฟ้า แต่การเปลี่ยนแปลงควรเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อจำกัดผลกระทบต่อภาระค่าไฟฟ้าที่จะตกแก่ประชาชนผู้บริโศคไฟฟ้าทั่วประเทศ

ควบคู่ไปกับการเตรียมความพร้อมด้านพลังงานไฟฟ้าและโครงสร้างพื้นฐานในช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านดังกล่าวนี้ ภาครัฐควรสร้างกลไกการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตยานยนต์แต่ละค่าย โดยให้กลไกตลาดเป็นตัว

ขับเคลื่อนและผลักดันผู้ผลิตยานยนต์นำเสนอยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช่ยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) 100% เข้ามาในตลาด เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันในตลาดทั้งทางด้านราคาและคุณภาพต่อไป

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

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเชิงนโยบายฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในทุกมิติจากผู้มีอุปการคุณดังต่อไปนี้

ในลำดับแรก ผู้วิจัยขอกล่าวขอบพระคุณ ดร.สุมิตรา จรสโรจน์กุล ผู้ริเริ่มโครงการศึกษาเชิงนโยบายชิ้นนี้ขึ้น พร้อมทั้งกรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนสละเวลาอันมีค่าทั้งในและนอกเวลาราชการ ทุ่มเทให้ข้อมูลความรู้ และคำปรึกษา ตั้งแต่พื้นฐานนับหนึ่งจนก่อร่างเป็นรายงานฉบับนี้

รวมถึง ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.นงศ์ ชลคุป และ ดร.พีรวัฒน์ สายสิริรัตน์ ผู้ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เทคนิควิธีการต่างๆ ทั้งหมด ตลอดจนให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ

นอกจากนี้ ผู้ร่วมเดินทางที่ขาดไม่ได้ตั้งแต่ต้นจนตลอดโครงการศึกษา อันได้แก่ คุณดารารัตน์ รัชตานุรักษ์ และคุณจันทนา สุกใส ผู้ร่วมสละเวลาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ทั้งหมดทั้งมวลนี้ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของผู้มีอุปการคุณทุกท่าน ทั้งเบื้องหน้าและเบื้องหลัง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงอีกครั้งไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ไม่มีงานวิจัยชิ้นใดที่จะไม่มีข้อจำกัด ปัญหาและอุปสรรค ไม่เว้นแม้กระทั่งรายงานวิจัยฉบับนี้ ฉะนั้นแล้วสำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้การศึกษาวิจัยชิ้นนี้นั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำและคำติชมจากผู้ที่สนใจทุกท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

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 แนวทางการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในบริบทของสาขาการขนส่งไทย .....	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 ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆในภาคการขนส่งไทย .....	26
6.3 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WTW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆในภาคการขนส่งไทย.....	31
7. ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา (Contributions of the Study) .....	39
7.1 ความลึกซึ้งของนโยบายภาครัฐไทยในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและยานยนต์ไฟฟ้า (BIOFUEL vs ZEV) อาจส่งผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง .....	39
7.2 การพัฒนาส่วนผสมแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (GRID ENERGY MIX) ไปสู่การพึ่งพาแหล่งพลังงานหมุนเวียน .....	42
7.3 การสนับสนุนการใช้พลังงานและเทคโนโลยีภาคขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงด้านสิ่งแวดล้อมในช่วงเปลี่ยนผ่านนี้.....	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) ของการใช้พลังงานไปสู่ภาคขนส่ง และการคำนวณเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

## 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากที่ประชุมคณะอนุกรรมการขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจ BCG Model สาขาพลังงาน วัสดุ และเคมีชีวภาพ ครั้งที่ 4/2564 เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2564 มีข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะให้ “ควรจัดทำโครงการศึกษาวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานไปสู่ภาคขนส่ง การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน และเปรียบเทียบการคำนวณรอยเท้าคาร์บอน ในการใช้เชื้อเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) กับเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ตลอด Value Chain”

มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล และน้ำมันไบโอดีเซล ถูกนำมาใช้ในภาคขนส่งไทยในฐานะหนึ่งในเครื่องมือการอนุรักษ์พลังงานและลดการปลดปล่อยคาร์บอนภาคการขนส่ง โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560) คาดว่า มาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจะสามารถช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขนส่งไทยได้ราว 10 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าภายในปี พ.ศ. 2573 นอกจากนี้ ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) เป็นเทคโนโลยีภาคการขนส่งทางถนนที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนพลังงานฟอสซิล ต้องผ่านกรรมวิธีและกระบวนการผลิตเฉพาะ เช่น การเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และแปรรูป ในขณะที่การสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ก็ต้องการการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ซึ่งได้มาจากแหล่งพลังงานต่างๆ ทั้งแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ หรือแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังน้ำ เป็นต้น เพื่อรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าทดแทนยานยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE based vehicles) ดังนั้น มาตรการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในภาคขนส่งไทยเหล่านี้ ล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ทั้งในแง่ของปริมาณและรูปแบบของผลกระทบ ขึ้นกับประเภทของแหล่งพลังงานนั้นๆ หรืออย่างน้อยก็แตกต่างจากกรณีเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้รถยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปเพียงอย่างเดียว เป็นผลอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้งานการขนส่งทางถนนที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไป

ดังนั้น การแลกเปลี่ยนผลประโยชน์ (Trade-off) ระหว่างการใช้งานยานยนต์ทางถนนที่เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรการสนับสนุนของรัฐ กับผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจาก

มาตรการเหล่านี้ สามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Assessment: LCA) ยิ่งไปกว่านั้น วิธีการประเมินดังกล่าวนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดสรรค้ประเภทพลังงานทางเลือกกับเทคโนโลยียานยนต์ทางถนนต่างๆที่เหมาะสม ให้เกิดประโยชน์กับการวางแผนการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และนำพาประเทศไปสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ระดับประเทศ ภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) และก้าวสู่การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) ระดับประเทศได้ภายในปี พ.ศ. 2608-2613 (ค.ศ. 2065-2070)

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อจัดการกับข้อกังวลว่าด้วยการพิจารณาผลลัพธ์การแลกเปลี่ยนผลประโยชน์ (Trade-off) ระหว่างการใช้งานเทคโนโลยียานยนต์ทางถนนร่วมกับแหล่งพลังงานประเภทต่างๆ กับผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากมาตรการของรัฐ การศึกษานี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์และคำนวณภาระด้านสิ่งแวดล้อมของสถานภาพการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสำหรับการขับเคลื่อนเทคโนโลยียานยนต์บนท้องถนนไทยในปัจจุบัน (พ.ศ.2564 หรือ ค.ศ.2021) โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบและคำนวณผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GhGs) จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ น้ำมันดีเซลและเบนซินในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (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 ยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) และยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) ตลอดจนพลังงานไฮโดรเจนสำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV) ภายใต้การผสมผสานแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน (Grid Energy Mix) ที่สอดคล้องกับการดำเนินงานตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า ปี ค.ศ.2018 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Rev.1)

ทั้งนี้ เพื่อบรรลุจุดมุ่งหมายดังกล่าว การศึกษานี้จะจำแนกวัตถุประสงค์ออกเป็นสามประการ ได้แก่

ประการแรก เพื่อศึกษาวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งไทยในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้า ในภาคการขนส่ง

ประการถัดมา เพื่อคำนวณเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ตลอดวัฏจักรชีวิตของพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งไทยในปัจจุบัน

ประการสุดท้าย เพื่อพัฒนาข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อนำเสนอผลการศึกษาคณะอนุกรรมการขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจ BCG Model สาขาพลังงาน วัสดุ และเคมีชีวภาพ

### 3. ขอบเขตการศึกษา

1. ประเภทพลังงานเชื้อเพลิง: การศึกษาจะพิจารณาเฉพาะประเภทพลังงานเชื้อเพลิงกรณีศึกษาที่มีการใช้ในภาคการขนส่งไทยบนถนน กล่าวคือ เชื้อเพลิงตัวพาพลังงาน (Energy Carriers) เชิงพาณิชย์ ประเภทต่างๆ โดยครอบคลุม น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (E0), เชื้อเพลิงชีวภาพผสม ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E10), 95 (E10), E20 และ E85, น้ำมันไบโอดีเซล B7, B20 และน้ำมันไบโอดีเซลธรรมดา (B10), แก๊สเชื้อเพลิงเฉพาะประเภทที่มีใช้ในภาคขนส่งไทย ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) และเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานกระแสไฟฟ้า และพลังงานไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) สำหรับกักเก็บกระแสไฟฟ้า
2. ประเภทเทคโนโลยียานยนต์: การศึกษาจะพิจารณาเฉพาะประเภทเทคโนโลยียานยนต์ที่มีการใช้ในภาคการขนส่งไทยบนถนน ได้แก่ เทคโนโลยียานยนต์สันดาปภายใน (ICE), ยานยนต์ไฮบริด (HEV), ยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV), ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) เฉพาะขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน เพื่อสามารถนำมาศึกษาเปรียบเทียบกันได้อย่างเหมาะสมในบริบทของภาคการขนส่งไทย
3. ผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม: การศึกษาจะพิจารณาผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่มุมของรอยเท้าคาร์บอนที่แสดงออกมาในรูปของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในหน่วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub>eq) ซึ่งในที่นี้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) แก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>)<sup>1</sup> และแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O)<sup>2</sup>
4. แนวคิดการศึกษาวงจรชีวิตพลังงาน: การศึกษาจะแสดงและพิจารณาวงจรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิงแต่ละประเภทบนพื้นฐานแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel: WtW)” ซึ่งถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์วงจรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากสามารถพิจารณาครอบคลุมตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการตั้งทรัพยากรไปใช้เพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิง ไปจนถึงจุดสิ้นสุดของพลังงานเชื้อเพลิงที่นำไปใช้เพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนน โดยมีได้หมายรวมถึงวงจรชีวิตของการผลิตยานพาหนะและโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ นอกจากนี้ แนวคิด WtW สามารถระบุถึง

<sup>1</sup> แก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) ปริมาณ 1 หน่วยต่อน้ำหนัก มีผลกระทบเชิงลบต่อสภาวะโลกร้อน มากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ในปริมาณเท่ากันถึง 25 เท่า (IPCC, 2019)

<sup>2</sup> แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ปริมาณ 1 หน่วยต่อน้ำหนัก มีผลกระทบเชิงลบต่อสภาวะโลกร้อน มากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ในปริมาณเท่ากันถึง 298 เท่า (IPCC, 2019)

ความแตกต่างในเชิงปริมาณของผลกระทบจากผลิตภัณฑ์พลังงานขั้นสุดท้ายชนิดเดียวกัน แต่ผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกัน และ/หรือผ่านกระบวนการผลิตพลังงานแตกต่างกัน และ/หรือถูกนำไปใช้กับเทคโนโลยียานยนต์ที่แตกต่างกัน เช่น สามารถระบุปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงกระแสไฟฟ้าชนิดเดียวกัน แต่ถูกแหล่งผลิตพลังงานที่ต่างกันระหว่างแหล่งผลิตพลังงานฟอสซิลและแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียน 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 ประเทศ 10 อันดับแรกที่เผชิญความเสี่ยงจากการได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วมากที่สุด 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)
1 (1)	Puerto Rico	7.17	149.85	4.12	4 149.98	3.66	24
2 (2)	Myanmar	10.00	7 056.45	14.35	1 512.11	0.80	57
3 (3)	Haiti	13.67	274.05	2.78	392.54	2.30	80
4 (4)	Philippines	18.17	859.35	0.93	3 179.12	0.54	317
5 (14)	Mozambique	25.83	125.40	0.52	303.03	1.33	57
6 (20)	The Bahamas	27.67	5.35	1.56	426.88	3.81	13
7 (7)	Bangladesh	28.33	572.50	0.38	1 860.04	0.41	185
8 (5)	Pakistan	29.00	502.45	0.30	3 771.91	0.52	173
9 (8)	Thailand	29.83	137.75	0.21	7 719.15	0.82	146
10 (9)	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 ล้านดอลลาร์อเมริกัน สูงเป็นอันดับ 3 ของโลกในประเด็นเฉพาะผลกระทบทางเศรษฐกิจ เป็นรองเพียงจีนและอินเดีย และนับเป็นปีที่หนักติดต่อกันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ที่ไทยอยู่ใน 10 อันดับแรกของโลกในการจัดอันดับดัชนีดังกล่าว (Eckstein et al., 2021)

เพื่อลดการเผชิญความเสี่ยงจากความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับระบบเศรษฐกิจไทยจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) ได้ศึกษาคาดการณ์ผลกระทบต่อเศรษฐกิจในระยะยาว ผ่านแบบจำลองดุลยภาพทั่วไป (Computable General Equilibrium: CGE) พบว่า กรณีรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส (°C) โดยที่การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิของไทยเป็นศูนย์ภายในปี 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 หากสามารถรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส (°C) หรือการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิของไทยเป็นศูนย์ภายในปี 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 (กรรณิการ์ ธรรมพานิชวงศ์, วิษณุ อรรถวานิช, บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย, & อัศมน ลิ้มสกุล, 2021)

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

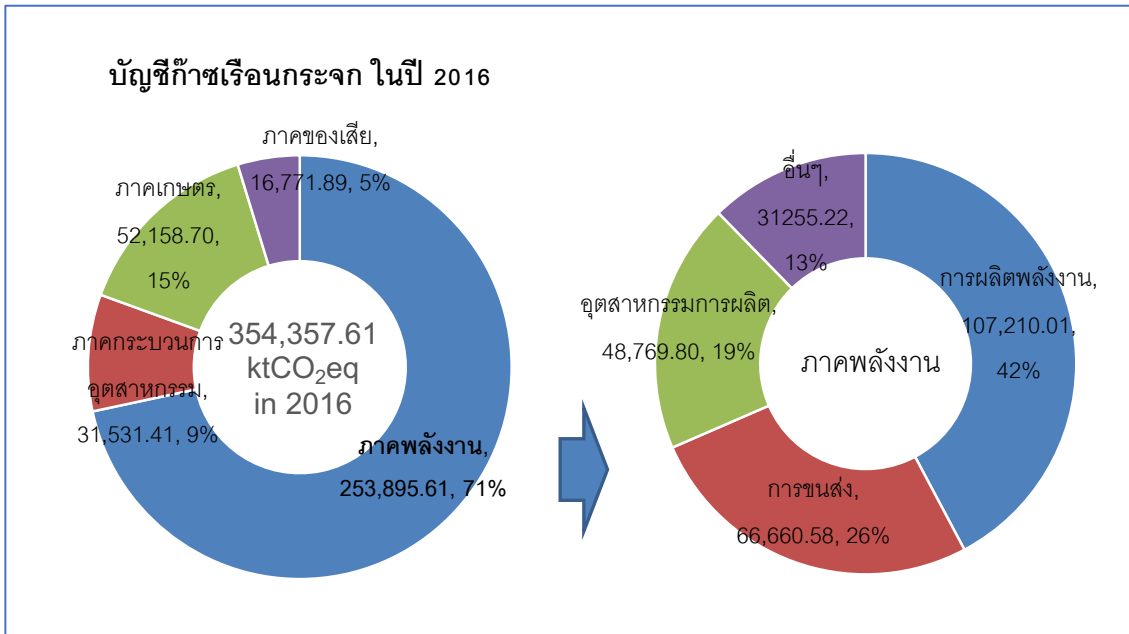
“... ประเทศไทยจะยกระดับการแก้ไขปัญหาภูมิอากาศอย่างเต็มที่และด้วยทุกวิถีทาง เพื่อให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี 2050 และบรรลุเป้าหมายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้ภายใน หรือก่อนหน้า ปี 2065 ด้วยการสนับสนุนทางการเงินและเทคโนโลยีอย่างเต็มที่และเท่าเทียม รวมถึงการเสริมสร้างขีดความสามารถจากความร่วมมือระหว่างประเทศและกลไกภายใต้กรอบอนุสัญญาฯ ผมมั่นใจว่าประเทศไทยก็จะสามารถยกระดับ NDC ของเราขึ้นเป็นร้อยละ 40 ได้ ซึ่งจะให้การปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิของไทยเป็นศูนย์ได้ภายในปี 2050”

ฉะนั้น เป้าหมายการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GhGs) ไปสู่ในระดับที่สามารถรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส (°C) หรือการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของไทยภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) จึงอาจเป็นทั้งข้อเสนอ ทางออก และคำมั่นที่ไทยมีอาจปฏิเสธได้ หากต้องการลดความเสี่ยงและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้ได้มากและรวดเร็วที่สุด

## 4.2 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GhGs) ในบริบทของประเทศไทย

ประเทศไทยปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GhGs) ซึ่งในที่นี้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) แก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) และแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) แต่ไม่รวมการใช้ที่ดินและป่าไม้ (Land Use, Land Use Change and Forestry: LULUCF) ในปี พ.ศ. 2559 รวมปลดปล่อย 354,357.61 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ktCO<sub>2</sub>e) ในขณะที่ปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่ถูกดูดซับ/กักเก็บสุทธิจากการใช้ที่ดินและป่าไม้ (LULUCF) มีปริมาณดูดซับ 91,134.15 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ktCO<sub>2</sub>e) กล่าวอีกนัยหนึ่ง ประเทศไทยปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิ (GhGs) ในปี พ.ศ. 2559 สุทธิ 263,223.4 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ktCO<sub>2</sub>e)

เมื่อพิจารณารายละเอียดในระดับสาขา ดังแสดงใน แผนภาพที่ 1 แล้วพบว่า ภาคพลังงานมีส่วนการปลดปล่อยสูงที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 71.65 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมดในปีดังกล่าว รองลงมา ได้แก่ ภาคเกษตร, ภาคอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ และภาคของเสีย ปลดปล่อยในสัดส่วน ร้อยละ 14.72, 8.89 และ 4.73 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด ตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563)



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

ยิ่งไปกว่านั้น หากพิจารณาองค์ประกอบสาขาการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคพลังงาน ซึ่งเป็นภาคการผลิตที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยสูงที่สุดดังกล่าวนี้ จะพบว่า ดังแสดงใน แผนภาพที่ 1 สาขาการขนส่งเป็นสาขาที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงถึง 26.26 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือคิดเป็นร้อยละ 18.81 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด เป็นรองเพียงสาขาการผลิตพลังงาน ซึ่งมีมีสัดส่วนร้อยละ 42.23 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือประมาณร้อยละ 30.25 ของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด ดังนั้น สาขาการขนส่งจึงนับเป็นสาขาหลักที่มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุดสาขาหนึ่งของไทย

### 4.3 แนวทางการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในบริบทของสาขาการขนส่งไทย

#### 4.3.1 มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ในภาคการขนส่ง

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) จัดทำแผนที่นำทางการลดแก๊สเรือนกระจกของประเทศ ในปี พ.ศ. 2564–2573 เพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อนให้บรรลุเป้าหมายการลดแก๊สเรือนกระจกภายใต้ข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดแก๊สเรือนกระจกและการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลังกปี พ.ศ. 2563 (Nationally Determined Contribution: NDC) ซึ่งต้องเสนอต่อกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations

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

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

สอดคล้องกับมาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคการขนส่งดังกล่าว คณะรัฐมนตรี (ครม.) ได้ให้ความเห็นชอบ เมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2563 ต่อแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (Alternative Energy Development Plan 2018 - 2037: AEDP 2018) โดยมีเป้าหมายของแผนที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งหมายรวมถึงเชื้อเพลิงชีวภาพ ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2580 (ค.ศ. 2037) กล่าวคือ กำหนดเป้าหมายการใช้เชื้อเพลิงไบโอเอทานอล 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 ต่อเชื้อเพลิงในภาคขนส่งทั่วประเทศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563)

#### 4.3.2 มาตรการสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EVs)

นอกจากมาตรการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคการขนส่งแล้ว การสนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) ก็เป็นอีกมาตรการสำคัญที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางทั่วโลกในฐานะเครื่องมือช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขนส่ง 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 หรืออีกนัยหนึ่ง พร้อมกับได้ตั้งเป้าหมายการส่งออก 0.8 และ 2.82 ล้านคัน ในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) และ พ.ศ. 2578 (ค.ศ. 2035) ตามลำดับ (อาชนัน เกาะไพบูลย์, 2021)

ทั้งนี้ คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติกำลังอยู่ระหว่างการจัดทำแผนที่นำทาง (Roadmap) ของการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า โดยจะมีการพิจารณากำหนดเป้าหมายและทิศทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาวที่ชัดเจน ทั้งด้านการผลิตและการใช้ยานยนต์ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) รวมถึงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และแบตเตอรี่ไฟฟ้า ภายในประเทศ ต่อไป

นอกจากนั้น ในร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ก็ระบุให้การผลักดัน อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าให้เป็นอุตสาหกรรมใหม่ เป็นอีกหนึ่งในหมุดหมายสำคัญของแผนฯ (กรุงเทพฯธุรกิจ, 2564b) โดยกำหนดให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนที่สำคัญของโลก และกำหนดแนวทางการดำเนินการ 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ การเพิ่มสัดส่วนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศร้อยละ 26 ภายในปี พ.ศ. 2570 สนับสนุนการลงทุนให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าอันดับหนึ่งของอาเซียน และสร้างความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานด้วยการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5,000 หัวจ่าย และพัฒนาแรงงานในอุตสาหกรรมฯ ไม่น้อยกว่า 30,000 คน (กรุงเทพฯธุรกิจ, 2564a)

อย่างไรก็ตาม มาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนพลังงานฟอสซิล ต้องผ่านกรรมวิธีและกระบวนการผลิตเฉพาะ 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 หรืออย่างน้อยก็แตกต่างจากกรณีเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปเพียงอย่างเดียว เป็นผลอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้งานการขนส่งทางถนนที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไป

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

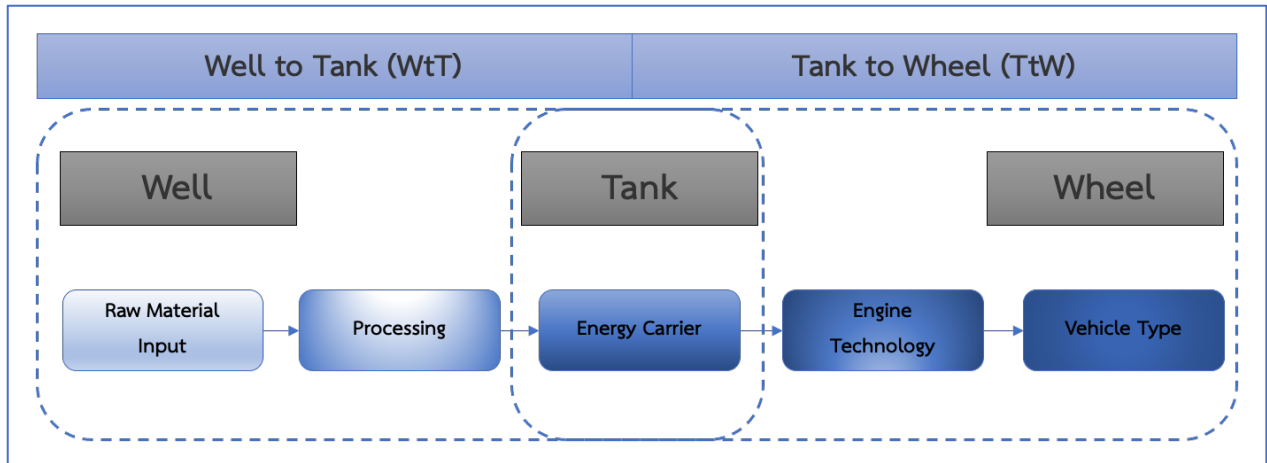
## 5. วิธีการศึกษา (Research Methodology)

### 5.1 กรอบแนวคิด (Theoretical Framework)

การศึกษานี้จะเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์ทางถนนด้วยการวิเคราะห์ตามแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well to Wheel: WtW)” ซึ่งเป็นการพิจารณาประเมินวัฏจักรชีวิตพลังงานอย่างครบวงจรตั้งแต่จุดกำเนิดของการผลิตเชื้อเพลิงจากแหล่งผลิตพลังงานไปจนถึงจุดสิ้นสุดของการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนน

แนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (WtW)” นี้ถูกออกแบบให้เหมาะสมอย่างยิ่งกับการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากสามารถระบุความแตกต่างเชิงปริมาณรอยเท้าคาร์บอนได้ แม้ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์พลังงานเชื้อเพลิงขั้นสุดท้ายเป็นชนิดเดียวกัน แต่ถูกผลิตมาจากวัตถุดิบและ/หรือกระบวนการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน เช่น สามารถระบุปริมาณความแตกต่างของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกระแสไฟฟ้าแบบเดียวกันทุกประการแต่ถูกผลิตจากแหล่งที่มาของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน รวมถึงแนวคิด WtW ดังกล่าวนี้ สามารถระบุความแตกต่างเชิงปริมาณได้ แม้ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์พลังงานขั้นสุดท้ายชนิดเดียวกัน แต่ถูกนำไปใช้กับใช้เทคโนโลยียานยนต์ขั้นสุดท้ายแตกต่างกัน เช่น สามารถระบุปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่แตกต่างกันของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดเดียวกันที่ถูกนำไปใช้ระหว่างยานยนต์สันดาปภายใน (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)” ดังแสดงใน แผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 2 แนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well to Wheel: WtW)”  
(Gustafsson, Svensson, Eklund, Dahl Öberg, & Vehabovic, 2021)

ยิ่งไปกว่านั้น แนวคิดจากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (WtW) นี้ ยังมีความเหมาะสมกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลังงานเชื้อเพลิงภาคการขนส่งโดยเฉพาะ ในแง่ของการครอบคลุมตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการดิ่งทรัพยากรไปใช้เพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิง ไปจนถึงจุดสิ้นสุดของการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์ แต่ไม่ได้หมายรวมถึงวัฏจักรชีวิตของการผลิตยานพาหนะและโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ (Gustafsson, Svensson, Eklund, Dahl Öberg, et al., 2021) กล่าวคือ การประเมินวัฏจักรชีวิตพลังงานในส่วนของการกระบวนการในช่วง “จากแหล่งกำเนิดสู่ถึงเชื้อเพลิง (WtT)” ภายใต้การศึกษานี้ จะพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub>eq) ที่เกิดจากกระบวนการผลิตพลังงานขั้นต้น เช่น การผลิตพลังงานเชื้อเพลิงในรูปพลังงานชีวภาพบริสุทธิ์ (Biofuel เช่น E100 และ B100 ) ไปสู่กระบวนการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงตัวพาพลังงาน (Energy Carriers) เชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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 น้ำมันไบโอดีเซลธรรมดา<sup>9</sup>

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

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

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

<sup>6</sup> น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 คือ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ที่ผสมกับเอทานอล ในอัตราส่วนร้อยละ 85 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีม่วง

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

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

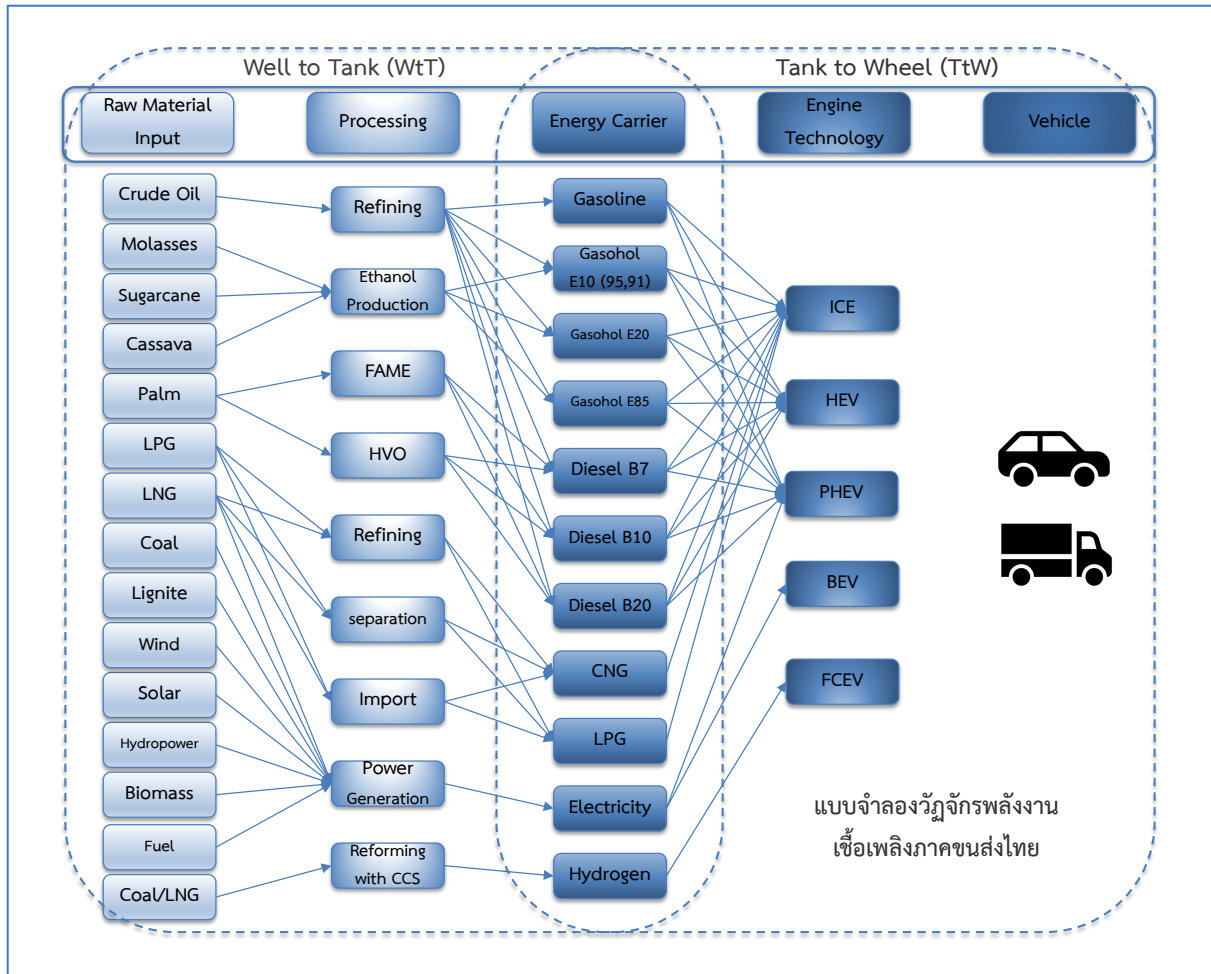
<sup>9</sup> น้ำมันไบโอดีเซลธรรมดา คือ น้ำมันดีเซล ที่ผสมกับไบโอดีเซล ในอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 7 - 20 และสีของน้ำมันชนิดนี้จะมีสีม่วง โดยในการศึกษาจะหมายถึงความเข้มข้นร้อยละ 10

เป็นต้น โดยจะพิจารณาความเข้มข้นของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในหน่วยของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเชื้อเพลิงหนึ่งลิตร (kgCO<sub>2</sub>eq/litre)

นอกจากนี้ การศึกษายังครอบคลุมถึงการพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จากกระบวนการผลิตตัวพาพลังงานทางเลือกชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนนในไทย ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG), แก๊สธรรมชาติอัด (CNG), พลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทางเลือกอื่นนอกเหนือจากพลังงานฟอสซิลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในเชิงปริมาณที่สามารถเปรียบเทียบกับผลกระทบของพลังงานฟอสซิล โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการในช่วง “จากแหล่งกำเนิดสู่ถังเชื้อเพลิง (WtT)” โดยความเข้มข้นของรอยเท้าคาร์บอนหรือปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง WtT จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จะพิจารณาในหน่วยของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพลังงานไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ชั่วโมง (kgCO<sub>2</sub>eq/kWh) และความเข้มข้นของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) จะพิจารณาในหน่วยของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อน้ำหนักแก๊สหนึ่งกิโลกรัม (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

ในขณะที่ การพิจารณาในส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการ “จากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW)” จะพิจารณาถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพื่อการขับเคลื่อนยานยนต์บนถนน โดยวิเคราะห์จากยานยนต์ที่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเหมาะสมในบริบทของภาคการขนส่งไทย กล่าวคือ การศึกษาจะเน้นวิเคราะห์ผลกระทบด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (conventional passenger car) และบรรทุกขนาดเล็ก (small pickup truck) ซึ่งยานพาหนะเหล่านี้มีสัดส่วนการใช้งานมากที่สุดบนท้องถนนในประเทศไทย หากแต่จะแตกต่างกันเฉพาะในประเด็นของประเภทตัวพาพลังงานที่ใช้ในยานยนต์เพื่อการขับเคลื่อน (ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง, แก๊สปิโตรเลียมเหลว, แก๊สธรรมชาติอัด แบตเตอรี่ไฟฟ้า และ/หรือ ไฮโดรเจน) ซึ่งย่อมาหมายถึงไปถึงเทคโนโลยีการขับเคลื่อนที่แตกต่างกัน (ได้แก่ เทคโนโลยียานยนต์สันดาปภายใน: ICE, ยานยนต์ไฮบริด: HEV, ยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด: PHEV, ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่: BEV หรือยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง: FCEV)

ดังกล่าวทั้งหมดข้างต้น ภาพรวมของกรอบการวิเคราะห์แสดงไว้ใน แผนภาพที่ 3 ซึ่งแสดงแผนผังเส้นทางจากการป้อนวัตถุดิบผ่านกระบวนการแปรรูปและส่งต่อไปยังตัวพาพลังงาน ก่อนจะถูกนำไปใช้กับเทคโนโลยียานยนต์ที่เกี่ยวข้องเพื่อการขับเคลื่อนบนถนนในการขนส่ง



แผนภาพที่ 3 แบบจำลองการวิเคราะห์ (Analysis Model) วัฏจักรชีวิตพลังงานเชื้อเพลิงภาคขนส่งไทย

## 5.2 กรอบการคำนวณผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

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

**เชื้อเพลิงฟอสซิล (Conventional fossil fuel)** ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน (Gasoline) และ ดีเซล (Diesel) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในส่วนของ WtT จะพิจารณาผลกระทบจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil petroleum refinery) เป็นสำคัญ ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ สำหรับเชื้อเพลิงเบนซิน และดีเซล มีค่าเท่ากับ 13.7265 และ 7.4395 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจีจูล (kgCO<sub>2</sub>eq/GJ) ตามลำดับ (สทสย., 2560)

**แก๊สเชื้อเพลิง (Gaseous fuels)** ที่สำคัญในภาคการขนส่งไทย ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วง WtT ในส่วนนี้จะคำนึงถึงข้อเท็จจริงที่ว่า แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งบนท้องถนนประเทศไทยมีที่มาจากหลากหลายแหล่ง โดยใน

กรณีของแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในประเทศไทยมีแหล่งที่มาสำคัญสามแหล่ง ได้แก่ จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบภายในประเทศ จากโรงแยกแก๊สภายในประเทศ และจากการนำเข้า ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในการผลิตแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบจากโรงแยกแก๊สภายในประเทศ และจากการนำเข้า มีค่าเท่ากับ 7.5851, 17.8301 และ 13.7365 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิกะจูล (kgCO<sub>2</sub>eq/GJ) ตามลำดับ (SimaPro, 2017; สทสย., 2560)

ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ในประเทศไทยมีแหล่งที่มาสำคัญสามแหล่ง ได้แก่ จากโรงแยกแก๊สธรรมชาติเหลวภายในประเทศ จากการนำเข้าจากประเทศเมียนมาร์ และจากการนำเข้าในรูปแบบแก๊สธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas: LNG) โดยระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในการผลิตแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) จากกระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติเหลว (LNG) ภายในประเทศ จากการนำเข้า และจากการนำเข้าในรูปแบบแก๊สธรรมชาติเหลว (LNG) มีค่าเท่ากับ 17.5576, 6.0985 และ 14.0872 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิกะจูล (kgCO<sub>2</sub>eq/GJ) ตามลำดับ (SimaPro, 2017; สทสย., 2560)

เนื่องจากมีที่มาจากหลากหลายแหล่งผลิตสำคัญ การบริโภคแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ในประเทศไทยในภาพรวมจึงจำเป็นต้องผสมผสานผลผลิตจากแหล่งที่มาต่างๆ เหล่านี้ในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการจัดการที่ระบุไว้ในแผนพลังงานชาติ (คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ: กพข., 2563)

**เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)** ที่สำคัญที่มีการผลิตและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวางในภาคการขนส่งไทย ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (Bioethanol) และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Biodiesel)

*การผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (Bioethanol) ในไทย มาจากวัตถุดิบสำคัญ ได้แก่ กากน้ำตาล (Molasses) อ้อย (Sugarcane) และมันสำปะหลัง (Cassava)*

ทั้งนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (Bioethanol) บริสุทธิ์ (E100) จากกากน้ำตาล อ้อย และมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 18.1920, 64.6300 และ 65.3046 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิกะจูล (kgCO<sub>2</sub>eq/GJ) ตามลำดับ (García et al., 2015; Papong et al., 2010; Papong & Malakul, 2010; Silalertruksa et al., 2015)

ทั้งนี้ กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (E100) จากกากน้ำตาล นับรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว หีบอ้อย ตลอดจนการเตรียมยีสต์ การหมัก การกลั่นและการคายนํ้า จนกระทั่งกระบวนการขนส่ง (Silalertruksa et al., 2015) ในขณะที่กรณีของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (E100) จากน้ำอ้อย ภายใต้การศึกษานี้ เริ่มจากกระบวนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อย การหีบเพื่อสกัดน้ำอ้อย กระบวนการหมัก การกลั่นและการคายนํ้า และขั้นตอนการขนส่ง (García et al., 2015; Silalertruksa et al., 2015) ท้ายที่สุดในกรณีของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล

(E100) จากมันสำปะหลังนั้น กระบวนการผลิตจะหมายรวมถึงตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง การทำให้เป็นของเหลว ตลอดจนการหมัก การกลั่นและการคายนํ้า รวมทั้งขั้นตอนการขนส่ง (Papong & Malakul, 2010)

ทั้งนี้ สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย ได้กำหนดให้สัดส่วนการผสมไบโอเอทานอลจากวัตถุดิบจากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลัง ในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลบริสุทธิ์ (E100) มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 67.46, 5.09 และ 27.45 ตามลำดับ (สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย, 2564) ดังนั้น ด้วยการคำนวณโดยเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักอ้างอิงจากสัดส่วนดังกล่าว ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (Bioethanol) บริสุทธิ์ (E100) จึงมีค่าเป็น 31.7315 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิกะจูล (kgCO<sub>2</sub>eq/GJ)

*การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Biodiesel) ในไทย มาจากวัตถุดิบสำคัญ คือ น้ำมันปาล์มสกัด (Palm Oil) ผ่านกรรมวิธีที่สำคัญ ได้แก่ การทำให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (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 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจิกะจูล (kgCO<sub>2</sub>eq/GJ) ตามลำดับ โดยนับรวมตั้งแต่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยวผลปาล์ม สกัดน้ำมันปาล์ม กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพดังกล่าว ตลอดจนการขนส่งน้ำมันปาล์มดิบและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (IEA-AMF, 2017; SimaPro, 2017; สทสย., 2560)

การประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ในภาคการขนส่งไทยในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ การผสมน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (Bioethanol) กับน้ำมันเบนซินตามสัดส่วนต่างๆ ในรูปของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) และการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Biodiesel) กับน้ำมันดีเซลตามสัดส่วนต่างๆ ในรูปของน้ำมันไบโอดีเซลผสม

ในกรณีของการผสมไบโอเอทานอล (E100) ร่วมกับน้ำมันเบนซิน (E0) ได้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91, 95, E20 และ E85 ในสัดส่วนต่อไปนี้

- น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน ออกเทน 91 (E0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลบริสุทธิ์ (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 90 ต่อ 10
- น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน ออกเทน 95 (E0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลบริสุทธิ์ (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 90 ต่อ 10

- น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 80 ต่อ 20
- น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85: ผสมเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (E100) ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 15 ต่อ 85

ในขณะที่ ในส่วนของการผสมไบโอดีเซล (B100) ร่วมกับน้ำมันดีเซล (B0) ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลธรรมดา (B10), น้ำมันไบโอดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B20 ในสัดส่วนดังต่อไปนี้

- น้ำมันไบโอดีเซล B7: ผสมเชื้อเพลิงดีเซล (B0) ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) ที่บำบัดด้วยกระบวนการ FAME ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 93 ต่อ 7
- น้ำมันไบโอดีเซลธรรมดา (B10): ผสมเชื้อเพลิงดีเซล ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) ที่บำบัดด้วยกระบวนการ FAME ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 90 ต่อ 10
- น้ำมันไบโอดีเซล B20: ผสมเชื้อเพลิงดีเซล ร่วมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) ที่บำบัดด้วยกระบวนการ FAME และ B100 ที่บำบัดด้วยกระบวนการ HVO ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ 80 ต่อ 10 ต่อ 10

## พลังงานไฟฟ้า (Electricity)

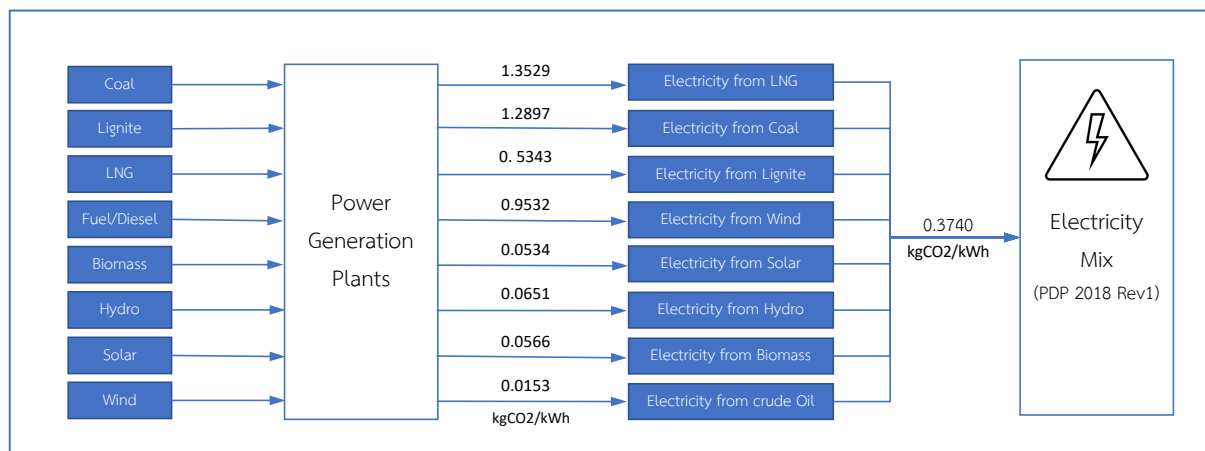
กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยมีแหล่งที่มาและแหล่งพลังงานผสมผสานหลากหลายช่องทาง ทั้งจากการผลิตภายในประเทศและการนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน จากพลังงานฟอสซิลและพลังงานทางเลือกประเภทต่างๆ ซึ่งช่องทางทั้งหมดนี้จะถูกนำมาพิจารณาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วน of WtT นี้ ตามสัดส่วนแหล่งผลิตไฟฟ้า (Grid Energy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

กระบวนการต่างๆในการแปรรูปพลังงานจากแหล่งกำเนิดหลากหลายเหล่านี้ให้เป็นกระแสไฟฟ้าจะถูกนำมาพิจารณา ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมแหล่งพลังงาน การใช้สารประกอบเคมีและวัสดุในกระบวนการสาธารณูปโภค การขนส่งเชื้อเพลิงไปสู่โรงไฟฟ้า ตลอดจนสารที่ถูกปล่อยออกมาในทุกกระบวนการพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม การศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่การพิจารณากระบวนการผลิตไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในกระบวนการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าจะไม่ถูกนับรวมอยู่ในการศึกษานี้

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



กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2563, p.๗7-1) (แผนภาพที่ 4)

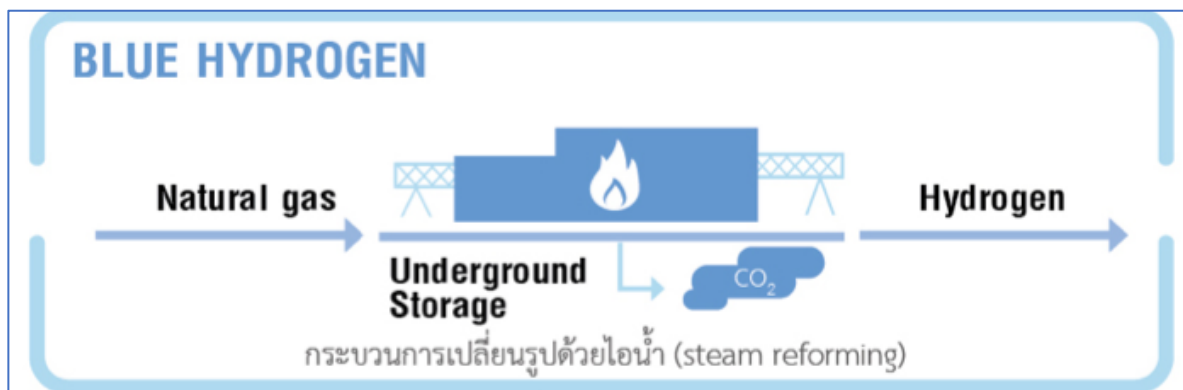


แผนภาพที่ 4 เส้นทางแหล่งพลังงานสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทย (Saisirirat et al., 2017)

## พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen)

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

โดยการพิจารณาจะครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการสกัดวัตถุดิบจนถึงการส่งมอบที่โรงงานไฮโดรเจน อย่างไรก็ตาม การศึกษาไม่ได้หมายรวมปัจจัยทางอ้อมในกระบวนการผลิตบางประการ เช่น ขนส่งหรือผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตที่สามารถนำมาใช้เคล็ดได้ ปริมาณอากาศที่ใช้รวมถึงแก๊สไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) และออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) การปลดปล่อยของเสีย เช่น สาร CFC/HCFC, โลหะ และปรอท 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)



แผนภาพที่ 5 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนสีฟ้า (Blue Hydrogen)

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

การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วง TtW ตามหลักการ WtW นี้ จะพิจารณาจากปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จากการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพื่อการเคลื่อนที่ยานยนต์บนถนน โดยการศึกษาจะครอบคลุมถึงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงหลากหลายประเภท ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน (Gasoline 95), น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ (Gasohol 91, 95, E20 และ E85), น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Diesel B7, B10 และ B20), แก๊สปิโตรเลียมเหลว (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 จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงเบนซินเป็นดังนี้ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 68.56 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเทระจูล (tCO<sub>2</sub>/TJ) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) และไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) จำนวน 6 และ 3 กิโลกรัมต่อเทระจูล (kg/TJ) ตามลำดับ (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์** 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 จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงไบโอเอทานอล (E100) มีค่าเท่ากับ 0.0095 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตร (kgCO<sub>2</sub>/litre) (IPCC, 2019)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงดีเซล** การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 4.98 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) และสำหรับรถบรรทุกขนาดเล็กเท่ากับ 7.25 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงดีเซลเป็นดังนี้ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 73.28 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อทะเลจูล (tCO<sub>2</sub>/TJ) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) และไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) จำนวน 1 และ 4 กิโลกรัมต่อทะเลจูล (kg/TJ) ตามลำดับ (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล** การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 5.01, 5.03 และ 5.08 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร (Litre/100km) สำหรับการใช้น้ำมัน B7, B10 และ B20 ตามลำดับ (Green Car Congress, 2006; US Environmental Protection Agency, n.d.) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100) มีค่าเท่ากับ 0.1150 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตร (kgCO<sub>2</sub>/litre) (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)** การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 11.07 กิโลกรัมต่อ 100 กิโลเมตร (kg/100km) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาผลาญแก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นดังนี้ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 62.71 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อทะเลจูล (tCO<sub>2</sub>/TJ) และปลดปล่อยแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) จำนวน 30 กิโลกรัมมีเทนต่อทะเลจูล (kg/TJ) (Stockholm Environmental Institute, n.d.)

**เครื่องยนต์สำหรับเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติอัด (CNG)** การศึกษาใช้สมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 6.25 กิโลกรัมต่อ 100 กิโลเมตร (kg/100km) (Pacific Northwest National Laboratory, n.d.; US Environmental Protection Agency, 2017) นอกจากนี้ ระดับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHG emission factors) ในช่วง TtW จากการเผาผลาญแก๊สธรรมชาติอัด ได้แก่ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 55.50 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อทะเลจูล (tCO<sub>2</sub>/TJ) และปลดปล่อยแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) จำนวน 630 กิโลกรัมมีเทนต่อทะเลจูล (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)

ทั้งนี้ ในการศึกษานี้ เทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ของยานยนต์ไฮบริด (HEV) และยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) จะถือว่าคล้ายกับเทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ทั่วไป ดังนั้น ปัจจัยการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของยานยนต์ไฮบริด (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 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ที่ใช้ในภาคขนส่งไทย

#### 6.1.1 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT เปรียบเทียบ (Comparing of WtT GHG Results)

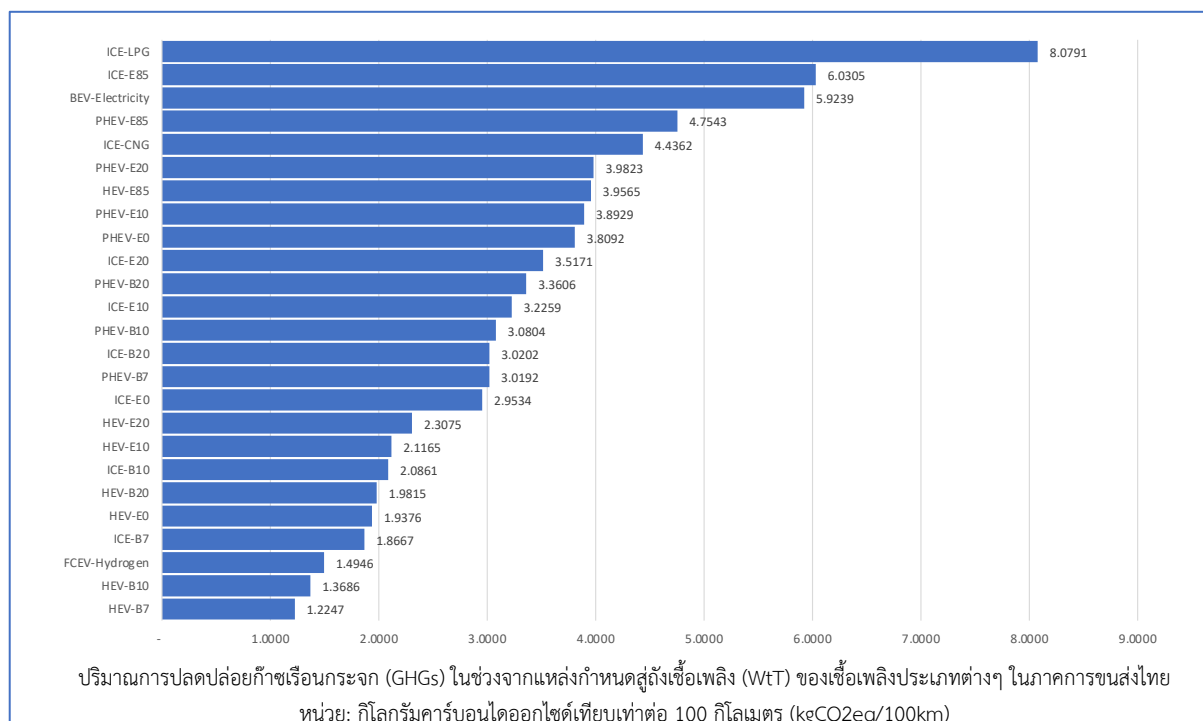
ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูล (gCO<sub>2</sub>eq/MJ) ดังแสดงใน ตารางที่ 2 ดังนี้ พลังงานไฟฟ้า: 103.8889, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85: 28.0274, แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG): 27.4220, น้ำมันไบโอดีเซล B20: 16.7431, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20: 16.3459, แก๊สธรรมชาติอัด (CNG): 15.0573, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 14.9929, พลังงานไฮโดรเจน 14.1373, น้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0): 13.7262, น้ำมันไบโอดีเซล B10: 11.5325 และ น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม: 10.2939 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูล ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในช่วงจากแหล่งกำหนดสู่ถังเชื้อเพลิง (WtT) ในหน่วยกรัมต่อเมกะจูล

Energy Carriers in Tanks	Materials	Energy Carrier Pathways			WTT		Heating value	WTT	
					kgCO <sub>2</sub> /litre, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg	kgCO <sub>2</sub> /litre, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg	MJ/litre, MJ/kWh, MJ/kg	gCO <sub>2</sub> /MJ	Compared with Gasoline 95 (E0)
Gasoline 95 (E0)	Crude Oil	E0 (Refining)			0.4321	0.4321	31.4800	13.7262	100%
Gasohol 91,95 (E10)	Molasses	E100	0.3900	E100 (Mix)	0.6803	0.4569	30.4758	14.9929	109%
Gasohol E20 (E20)	Sugarcane		0.6463			0.4817	29.4716	16.3459	119%
Gasohol E85 (E85)	Cassava		1.4000			0.6431	22.9443	28.0274	204%
Diesel B7, B7 premium (B7)	Palm	B100 (FAME)	1.7096	B100 (Mix)	1.7601	0.3717	36.1044	10.2939	75%
Diesel (B10)		B100 (HVO)	2.1451			0.4148	35.9691	11.5325	84%
Diesel B20 (B20)						0.6022	35.9691	16.7431	122%
LPG (Mix-Gas Plan 2016)	LPG	LPG (Refining)			0.3739	0.7300	26.6200	27.4220	200%
		LPG (Separating)			0.8790				

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

ในขณะที่ ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง WtT ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร (kgCO<sub>2</sub>eq/100km) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 6 และ [Error! Reference source not found.](#) ดังนี้



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

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

ตารางที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในช่วงจากแหล่งกำหนดสู่ถังเชื้อเพลิง (WtT) ในหน่วยกิโลกรัมต่อ 100 กิโลเมตร

Energy Carriers in Tanks	WTT	Technology	Energy needed	Fuel Consumption	Electricity Consumption	WTT	
	kgCO <sub>2</sub> /liter, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg		MJ/100km	Litre/100km, kg/100km	kWh/100km	kgCO <sub>2</sub> /100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
Gasoline 95 (E0)	0.4321	ICE-E0	215	6.8350	0.0000	2.9534	100%
		HEV-E0	141	4.4843	0.0000	1.9376	66%
		PHEV-E0	94	2.0992	7.7596	3.8092	129%
Gasohol 91,95 (E10)	0.4569	ICE-E10	215	7.0602	0.0000	3.2259	109%
		HEV-E10	141	4.6320	0.0000	2.1165	72%
		PHEV-E10	94	2.1684	7.7596	3.8929	132%
Gasohol E20 (E20)	0.4817	ICE-E20	215	7.3008	0.0000	3.5171	119%
		HEV-E20	141	4.7898	0.0000	2.3075	78%
		PHEV-E20	94	2.2423	7.7596	3.9823	135%
	0.6431	ICE-E85	215	9.3777	0.0000	6.0305	204%

Energy Carriers in Tanks	WTT	Technology	Energy needed	Fuel Consumption	Electricity Consumption	WTT	
	kgCO <sub>2</sub> /liter, kgCO <sub>2</sub> /kWh, kgCO <sub>2</sub> /kg		MJ/100km	Litre/100km, kg/100km	kWh/100km	kgCO <sub>2</sub> /100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
Gasohol E85 (E85)		HEV-E85	141	6.1525	0.0000	3.9565	134%
		PHEV-E85	94	2.8802	7.7596	4.7543	161%
Diesel B7, B7 premium (B7)	0.3717	ICE-B7	181	5.0227	0.0000	1.8667	63%
		HEV-B7	119	3.2952	0.0000	1.2247	41%
		PHEV-B7	79	1.5426	6.5398	3.0192	102%
Diesel (B10)	0.4148	ICE-B10	181	5.0289	0.0000	2.0861	71%
		HEV-B10	119	3.2993	0.0000	1.3686	46%
		PHEV-B10	79	1.5445	6.5234	3.0804	104%
Diesel B20 (B20)	0.6022	ICE-B20	181	5.0150	0.0000	3.0202	102%
		HEV-B20	119	3.2902	0.0000	1.9815	67%
		PHEV-B20	79	1.5403	6.5054	3.3606	114%
LPG (Mix -Gas Plan 2016)	0.7300	ICE-LPG	295	11.0676	0.0000	8.0791	274%
CNG (Mix -Gas Plan 2016)	0.7097	ICE-CNG	295	6.2512	0.0000	4.4362	150%
Electricity (Mix PDP 2018 Rev1)	0.3740	BEV	57	0.0000	15.8393	5.9239	201%
Hydrogen	1.6959	FCEV	106	0.0000	0.8813	1.4946	51%

### 6.1.2 กรณีพลังงานไฟฟ้า

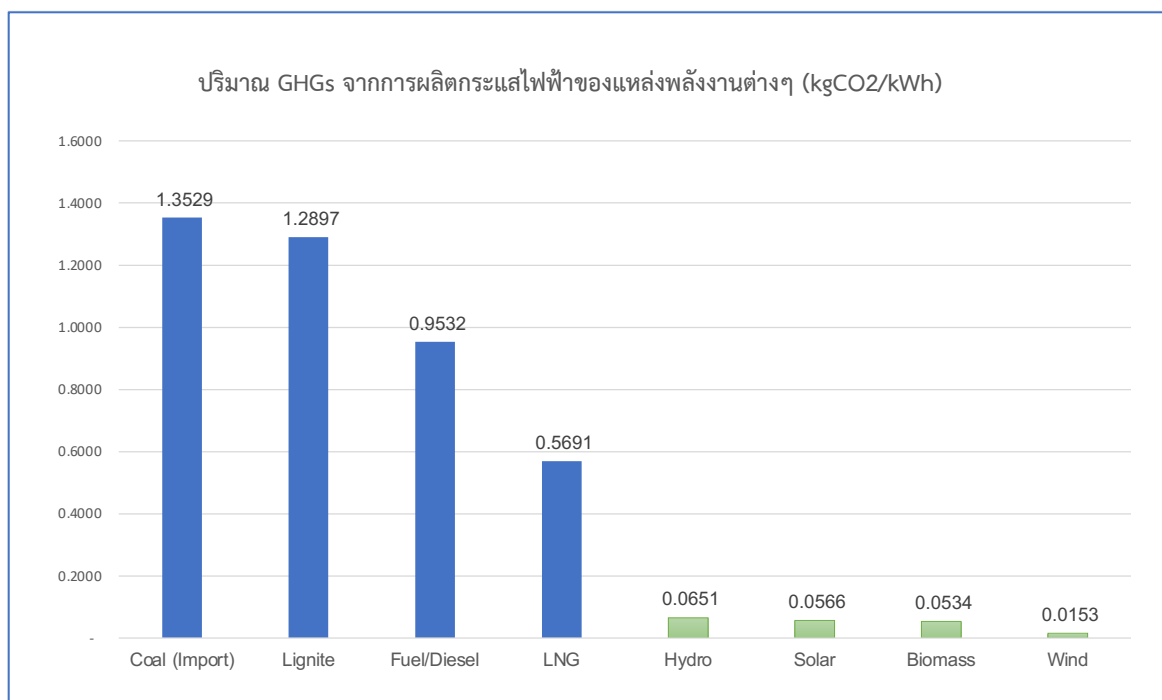
การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในช่วง WtT มักไม่ค่อยได้รับความสนใจเท่าการปลดปล่อยในช่วงการเผาผลาญเชื้อเพลิงจากการขับเคลื่อนยานยนต์หรือในช่วงการใช้งาน (Use Phase) ทั้งที่การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วงการผลิตเชื้อเพลิงก็มีความสำคัญมากพอที่อาจจะส่งกระทบถึงภาพรวมการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงานได้ (Andersson & Börjesson, 2021) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีที่มาของแหล่งพลังงานหลากหลาย ทั้งจากแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และแหล่งพลังงานหมุนเวียน

ดังเช่นจากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาเฉพาะในช่วง WtT พบว่า ต่อการให้พลังงานหนึ่งกิโลจูลเท่ากัน การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นประเภทการผลิตพลังงานเพื่อการขนส่งที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุดถึง 103.89 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือสูงกว่าในกรณีของการผลิตน้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0) ถึงกว่า 7 เท่า (ตารางที่ 2) และมันจะเปรียบเทียบกันหน่วยต่อระยะทางการขับเคลื่อน 100 กิโลเมตร การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ของยานยนต์แบตเตอรี่ไฟฟ้า (BEV) ก็สูงถึง 5.92 กิโลกรัม



คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือสูงกว่าของเคลื่อนยนต์สันดาปภายในที่ใช้น้ำมันเบนซินนอกเทน 95 (ICE-E0) ถึงกว่าสองเท่า (Error! Reference source not found.)

ทั้งนี้ สาเหตุสำคัญสืบเนื่องจากศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของพลังงานไฟฟ้านั้นขึ้นกับแหล่งที่มาของการผลิตกระแสไฟฟ้า (Gustafsson, Svensson, Eklund, & Fredriksson Möller, 2021) โดยในกรณีของแหล่งที่มาของการผลิตไฟฟ้าในไทยนั้น พลังงานแหล่งวัตถุดิบพลังงานจากผลิตภัณฑ์ฟอสซิลเป็นหลัก ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบพลังงานหมุนเวียน จากผลการศึกษาพบว่า แหล่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในไทย เรียงลำดับจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากมากไปน้อย ได้แก่ แหล่งพลังงานฟอสซิล ดังนี้ ถ่านหิน/ลิกไนท์, น้ำมันดีเซล/น้ำมันเตา และแก๊สธรรมชาติ ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตไฟฟ้าปริมาณ 1.3529 – 1.2897, 0.9532 และ 0.5691 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ รองลงมาเป็นกลุ่มพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานชีวมวล และพลังงานลม ซึ่งปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกปริมาณ 0.0651, 0.0566 0.0534 และ 0.0153 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ (แผนภาพที่ 7) เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้กระทั่งแก๊สธรรมชาติ ซึ่งหลายประเทศในปัจจุบันใช้เป็นแหล่งพลังงานในช่วงเปลี่ยนผ่าน (Transition Fuel) จากถ่านหินไปสู่พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ก็ยังปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงกว่าการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนทุกตัวในกรณีศึกษานี้มากกว่า 8.7 เท่า



แผนภาพที่ 7 ปริมาณการปลดปล่อย GHGs จากการผลิตกระแสไฟฟ้าของแหล่งพลังงานต่างๆ (kgCO<sub>2</sub>/kWh)

อย่างมีพิกัดต้องสงสัย แหล่งวัตถุดิบเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับประจุพลังงานยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่อภาพรวมศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งด้วยยานยนต์ไฟฟ้า (EVs)

ในไทย ดังนั้น ประเทศไทยควรเร่งลงทุนเพื่อเพิ่มสัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน เพื่อลดความเสี่ยงทั้งด้านอุปทานและด้านราคา ทั้งนี้ควรให้ความสำคัญกับการลงทุนในกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่ไม่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ควบคู่ไปกับการลงทุนในระบบส่งจำหน่ายและจัดการไฟฟ้าและสนับสนุนมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน

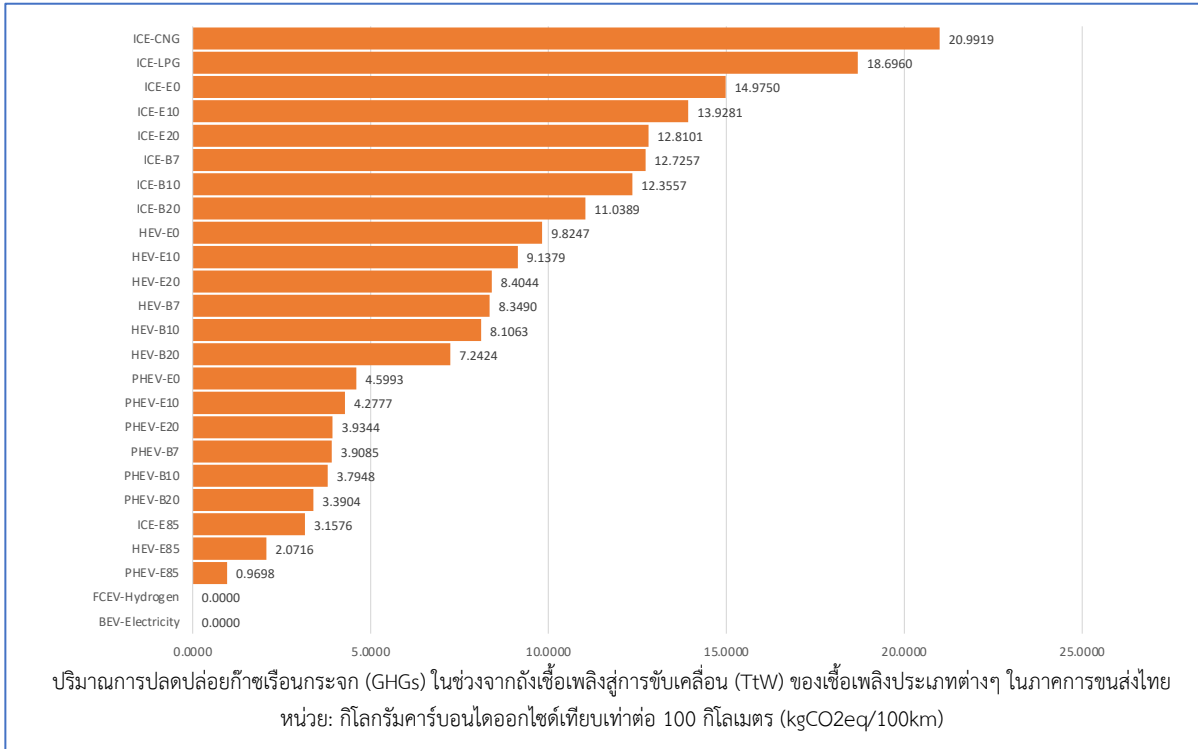
### 6.1.2 กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ

ระดับความเข้มข้นของเชื้อเพลิงชีวภาพ (E100 และ B100) มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวภาพผสม เช่น E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT มากกว่า E20, E10 และ E0 ตามลำดับ กล่าวคือ สัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพเอทานอล (E100) ในการผสมกับน้ำมันเบนซิน (E0) เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ความเข้มข้นระดับต่างๆ แปรผันตามกับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT กล่าวคือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ซึ่งมีความเข้มข้นของเอทานอล (E100) มากกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20, E10 และน้ำมันเบนซิน (E0) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ( $0.6431 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) มากกว่าการปลดปล่อยของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 ( $0.4817 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ), E10 ( $0.4569 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) และน้ำมันเบนซิน (E0) ( $0.4321 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT มากกว่า B10, B7 และ B0 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

## 6.2 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย

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

ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) ในช่วง TtW ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในภาคการขนส่งไทย เรียงลำดับจากมากไปน้อย ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 8 และ ตารางที่ 4 ดังนี้



แผนภาพที่ 8 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในช่วงจากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW) หน่วย: กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับ 100 กิโลเมตร

แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG): 20.9919, แก๊สปิโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG): 18.6960, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) 14.9750, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E10): 13.9281, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E20) 12.8101, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม 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, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E10): 9.1379, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E20): 8.4044, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม 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, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E10): 4.2777, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E20): 3.9344, น้ำมันไบโอดีเซล B7 และ B7 พรีเมียม สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B7): 3.9085, น้ำมันไบโอดีเซล B10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B10): 3.7948, น้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20): 3.3904, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-E85): 3.1576, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85): 2.0716, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับยานยนต์

ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85): 0.9698, และพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และพลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV): 0.0000 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในช่วงจากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW)

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					litre/100km, kg/100km	kWh/100km	kgCO <sub>2</sub> /100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
Gasoline 95 (E0)	2.1909		ICE-E0	6.8350	0.0000	14.9750	100%		
			HEV-E0	4.4843	0.0000	9.8247	66%		
			PHEV-E0	2.0992	7.7596	4.5993	31%		
Gasohol 91,95 (E10)	1.9728		ICE-E10	7.0602	0.0000	13.9281	93%		
			HEV-E10	4.6320	0.0000	9.1379	61%		
			PHEV-E10	2.1684	7.7596	4.2777	29%		
Gasohol E20 (E20)	1.7546		ICE-E20	7.3008	0.0000	12.8101	86%		
			HEV-E20	4.7898	0.0000	8.4044	56%		
			PHEV-E20	2.2423	7.7596	3.9344	26%		
Gasohol E85 (E85)	0.3367		ICE-E85	9.3777	0.0000	3.1576	21%		
			HEV-E85	6.1525	0.0000	2.0716	14%		
			PHEV-E85	2.8802	7.7596	0.9698	6%		
Diesel B7, B7 premium (B7)	2.5337		ICE-B7	5.0227	0.0000	12.7257	85%		
			HEV-B7	3.2952	0.0000	8.3490	56%		
			PHEV-B7	1.5426	6.5398	3.9085	26%		
Diesel (B10)	2.4569		ICE-B10	5.0289	0.0000	12.3557	83%		
			HEV-B10	3.2993	0.0000	8.1063	54%		
			PHEV-B10	1.5445	6.5234	3.7948	25%		
Diesel B20 (B20)	2.2012		ICE-B20	5.0150	0.0000	11.0389	74%		
			HEV-B20	3.2902	0.0000	7.2424	48%		
			PHEV-B20	1.5403	6.5054	3.3904	23%		
LPG (Mix -Gas Plan 2016)	1.6893		ICE-LPG	11.0676	0.0000	18.6960	125%		
CNG (Mix -Gas Plan 2016)	3.3580		ICE-CNG	6.2512	0.0000	20.9919	140%		
Electricity (Mix PDP 2018 Rev1)	0.0000		BEV	0.0000	15.8393	0.0000	0%		

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		litre/100km, kg/100km	kWh/100km	kgCO <sub>2</sub> /100 km	Compared with ICE (Gasoline 95)
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 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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 การเพิ่มสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพไบโอเอทานอล E100 และไบโอดีเซล B100 ลงในเนื่อน้ำมันฟอสซิลเบนซิน E0 และดีเซล B0 มีผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงในกลุ่มที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ประมาณ 9.82, 9.14, 8.40 และ 2.07 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

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

อย่างไรก็ตาม แม้ผลการศึกษานี้จะพบว่า ยานยนต์ดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ในช่วง TtW ต่ำกว่ายานยนต์เบนซิน ในกรณีเฉพาะที่ขนาดและเทคโนโลยียานยนต์เดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติในกรณีของภาคการขนส่งไทยแล้ว ยานยนต์ดีเซลมักเป็นกลุ่มยานยนต์ขนาดใหญ่กว่ายานยนต์เบนซิน เช่น รถกระบะ เป็นต้น ดังนั้น การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ของยานยนต์ดีเซลทั่วไปในประเทศไทยจึงมักสูงกว่ายานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน

เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงชีวภาพในส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ และไบโอดีเซลจะแปรผันตามอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ดังกล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผกผันกับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW กล่าวคือ แม้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 จะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่า E20, E10 และ E0 ตามลำดับแล้ว แต่ในด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แก๊สโซฮอล์ E85 กลับปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ( $0.3367 \text{ kgCO}_2/\text{litre}$ ) ต่ำกว่าการปลดปล่อยของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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 ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) ไม่ปล่อยไอเสีย ดังนั้น จึงมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW เป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของยานยนต์ไฮบริดและยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด แม้การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้าในช่วง TtW จะเป็นศูนย์ แต่ยังมี การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวภาพในส่วนของการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในในช่วง TtW ซึ่งได้กล่าวแล้วข้างต้น

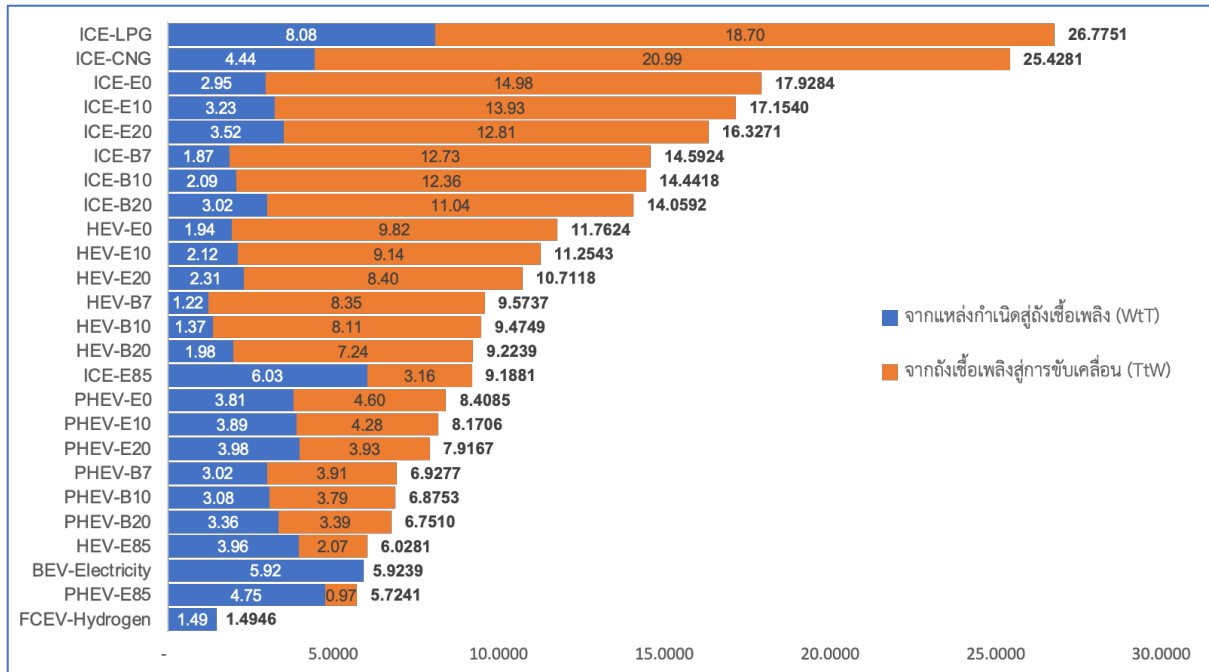
## 6.2.4 แก๊สเชื้อเพลิง CNG และ LPG

จากผลการศึกษาพบว่า ยานยนต์ที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิง CNG และ LPG เป็นกลุ่มที่มีอัตราการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW สูงกว่ายานยนต์กลุ่มอื่นๆ โดยเฉพาะ โดยแก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) และแก๊สปิโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ปริมาณ 20.9919 และ 18.6960 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการขับเคลื่อน 100 กิโลเมตร ตามลำดับ กล่าวคือสูงกว่าการปลดปล่อยของน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0) ร้อยละ 40 และ 25 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง ในขณะที่การใช้งานแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ในภาคการขนส่ง หรือเครื่องยนต์ CNG ปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ออกมาสูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในประเภทอื่นๆ กอปรกับแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า ดังนั้นจึงส่งผลให้แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง TtW ดังเช่นในผลการศึกษา

## 6.3 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆในภาคการขนส่งไทย

### 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 (kgCO<sub>2</sub>eq/100km) ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆในภาคการขนส่งไทย

Energy Carriers	Materials	Energy Carrier Pathways		WTT	WTT	TTW	WTW	Technology	WTT	TTW	WTW				
				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			Compared with ICE (E0)
Gasoline 95 (E0)	Crude Oil	E0 (Refining)		0.4321	0.4321	2.1909	2.6230	ICE-E0	2.9534	14.9750	17.9284	100%			
									HEV-E0	1.9376	9.8247	11.7624	66%		
									PHEV-E0	3.8092	4.5993	8.4085	47%		
Gasohol 91,95 (E10)	Molasses	0.3900		0.4569	1.9728	2.4297	ICE-E10	3.2259	13.9281	17.1540	96%				
								HEV-E10	2.1165	9.1379	11.2543	63%			
								PHEV-E10	3.8929	4.2777	8.1706	46%			
Gasohol E20 (E20)	Sugarcane	E100		0.6463	E100 (Mix)	0.6803	0.4817	1.7546	2.2364	ICE-E20	3.5171	12.8101	16.3271	91%	
											HEV-E20	2.3075	8.4044	10.7118	60%
											PHEV-E20	3.9823	3.9344	7.9167	44%
Gasohol E85 (E85)	Cassava	1.4000		0.6431	0.3367	0.9798	ICE-E85	6.0305	3.1576	9.1881	51%				
								HEV-E85	3.9565	2.0716	6.0281	34%			
								PHEV-E85	4.7543	0.9698	5.7241	32%			
Diesel B7, premium (B7)	Palm	B100 (FAME)		1.7096	0.3717	2.5337	2.9053	ICE-B7	1.8667	12.7257	14.5924	81%			
									HEV-B7	1.2247	8.3490	9.5737	53%		
									PHEV-B7	3.0192	3.9085	6.9277	39%		
Diesel (B10)	Palm	B100 (HVO)		2.1451	0.4148	2.4569	2.8717	ICE-B10	2.0861	12.3557	14.4418	81%			
									HEV-B10	1.3686	8.1063	9.4749	53%		
									PHEV-B10	3.0804	3.7948	6.8753	38%		
Diesel B20 (B20)	Palm	B100 (HVO)		2.1451	0.6022	2.2012	2.8034	ICE-B20	3.0202	11.0389	14.0592	78%			
									HEV-B20	1.9815	7.2424	9.2239	51%		
									PHEV-B20	3.3606	3.3904	6.7510	38%		
LPG (Mix -Gas Plan 2016)	LPG	LPG (Refining)		0.3739	0.7300	1.6893	2.4192	ICE-LPG	8.0791	18.6960	26.7751	149%			
		LPG (Separating)		0.8790											
		LPG (Import)		0.6772											
CNG (Mix -Gas Plan 2016)	LNG	CNG (Separating)		0.8275	0.7097	3.3580	4.0677	ICE-CNG	4.4362	20.9919	25.4281	142%			
		CNG (Myanmar)		0.2874											

Energy Carriers	Materials	Energy Carrier Pathways	WTT	WTT	TTW	WTW	Technology	WTT	TTW	WTW	
			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		Compared with ICE (E0)	
		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 ทั้งเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (E100)<sup>10</sup> และไบโอดีเซล (B100)<sup>11</sup> แล้ว การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาในช่วง WtT กล่าวคือ การปลดปล่อยในช่วง WtT โดยเฉลี่ยต่อลิตร จะน้อยกว่าการปลดปล่อยในช่วง TtW หรือการปลดปล่อยในช่วง WtT เป็นส่วนใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพรวมการปลดปล่อยตลอดวงจรชีวิตเชื้อเพลิง (WtW) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ในทางกลับกัน เชื้อเพลิงฟอสซิลจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมทั่วไป (E0<sup>12</sup>, B0<sup>13</sup>, LPG<sup>14</sup> และ CNG<sup>15</sup>) การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาในช่วง TtW กล่าวคือ การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT โดยเฉลี่ยต่อลิตรหรือกิโลกรัม น้อยกว่าในช่วง TtW หรือเป็นส่วนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับภาพรวมการปลดปล่อยตลอดวงจรชีวิตเชื้อเพลิง (WtW) ฟอสซิล

อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมตลอดวงจรชีวิตเชื้อเพลิง (WtW) เชื้อเพลิงชีวภาพปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือเชื้อเพลิงชีวภาพมีศักยภาพในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

<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 E0 = 0.4321, TtW of E0 = 2.1909, WtW of E0 = 2.6230 kgCo2eq/litre

<sup>13</sup> WtT of B0 = 0.2709, TtW of B0 = 2.7127, WtW of B0 = 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 CNG = 3.3580, WtW of CNG = 4.0677 kgCo2eq/kg

### 6.3.3 เชื้อเพลิงชีวภาพผสม

ในกรณียานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 14.5924, 14.4418 และ 14.0592 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0), น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 17.9284, 17.1540, 16.3271 และ 9.1881 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับต่อ 100 กิโลเมตร (ตารางที่ 5)

ในกรณียานยนต์ไฮบริด (HEV) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 9.5737, 9.4749 และ 9.2239 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0), น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10, E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 11.7624, 11.2543, 10.7118 และ 6.0281 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ในยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) ขนาดเดียวกัน เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ดีเซล ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล B7 & B7 พรีเมียม, B10 และ B20 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 6.9277, 6.8753 และ 6.7510 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน ได้แก่ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 (E0), น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 E20 และ E85 ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) 8.4085, 8.1706, 7.9167 และ 5.7241 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับต่อ 100 กิโลเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ทั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า นอกเหนือจากการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคขนส่งแล้ว เทคโนโลยียานยนต์ทางเลือกก็สามารถมีส่วนในการสร้างอนิสงค์ในด้านการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้อีกทางหนึ่ง กล่าวคือสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ไบโอดีเซล B100 และไบโอเอทานอล E100) ที่ผสมในเชื้อเพลิงฟอสซิล (ดีเซล B0 และเบนซิน E0) แปรผกผันกับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ดังผลการศึกษาค้างต้นพบว่า การปลดปล่อยฯ ของ B20 ต่ำกว่า B10 และ B7 ตามลำดับ ในขณะที่ การปลดปล่อยฯ ของ E85 ต่ำกว่า E20, E10 และ E0ตามลำดับ นอกจากนี้ เทคโนโลยียานยนต์ทางเลือก ได้แก่ ยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) มีศักยภาพในการช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) พลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีการขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า ยานยนต์ไฮบริด (HEV) และยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ขนาดเดียวกันตามลำดับ

#### 6.3.4 แก๊สเชื้อเพลิง (CNG และ LPG)

การใช้งานแก๊สเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งบนถนนนั้น ทั้งแก๊สปิโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) และแก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG) ผลิตปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) สูงกว่าเชื้อเพลิงทุกประเภทโดยเปรียบเทียบภายใต้การศึกษานี้

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

ทั้งนี้ สาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งมาจากการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงนั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (295 MJ/100km) สูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวทั่วไป (215 MJ/100km) นอกจากนี้ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ผลิตปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT (0.73  $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{kg}$ ) สูงกว่าน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (0.4321  $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{litre}$ ), มีอัตราการให้พลังงานต่อหน่วย (26.62 เมกะจูลต่อกิโลกรัม: MJ/kg) ต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 (31.48 เมกะจูลต่อลิตร: MJ/litre) และผลิตปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง 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) ผลิตปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT (0.7097  $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{kg}$ ) และในช่วง TtW (0.4321  $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{litre}$  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) เนื่องจากการปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

#### 6.3.5 พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆกับยานยนต์ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (Zero Emission Vehicle: ZEV)

ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ซึ่งภายใต้การศึกษานี้ หมายรวมถึง ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงจากพลังงานไฮโดรเจน (FCEV) ในการเป็นช่องทางการขนส่งที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุดในภาคขนส่งไทยภายใต้การศึกษานี้

อย่างไรก็ตาม การที่ถูกลูกขนานนามว่าเป็นยานยนต์ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) เหตุเพราะยานยนต์เหล่านี้ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเป็นศูนย์เฉพาะในช่วง TtW ดังแสดงในผลการศึกษา หากแต่ขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฮโดรเจนในช่วง WtT ยังคงมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก

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

ในขณะที่พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) ปลดปล่อยในช่วง WtT และหมายรวมถึงตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ปริมาณ 1.4946 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) โดยปริมาณดังกล่าวทำให้พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) เป็นช่องทางการขนส่งที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุดอย่างโดดเด่นภายใต้การศึกษานี้ (ตารางที่ 5) ทั้งนี้เพราะพลังงานไฮโดรเจนมีประสิทธิภาพการให้พลังงานสูง (119.96 MJ/kg) กอปรกับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิงบริโภคพลังงานต่ำ (105.72 MJ/100 km) ในเวลาเดียวกัน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bicer & Dincer (2018) อย่างไรก็ตาม พลังงานไฮโดรเจนสำหรับภาคยานยนต์ยังคงอยู่ในช่วงของการพัฒนา และยังคงมีข้อจำกัดอยู่อย่างน้อย 3 ประการ ได้แก่ พลังงานไฮโดรเจนจัดเก็บและขนส่งได้ยาก การผลิตไฮโดรเจนใช้ต้นทุนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีพลังงานไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตด้วยเชื้อเพลิงสะอาด (Green Hydrogen) และกระบวนการปรับเปลี่ยนจากการใช้แหล่งพลังงานเดิมไปสู่การใช้พลังงานไฮโดรเจนต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและความปลอดภัยเท่าเดิม (Sarah Golden, 2020)

### 6.3.6 เชื้อเพลิงชีวภาพกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม

นอกเหนือจากประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริดเป็นศูนย์ (ZEV) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งไทย ผลการศึกษาเปิดเผยถึงโอกาสในการบูรณาการนวัตกรรมพลังงานเชื้อเพลิงเข้ากับเทคโนโลยีการขนส่ง ที่มีศักยภาพในการถูกนำเสนอเป็นทางเลือกในการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งไทยได้อย่างน่าสนใจ ในระดับใกล้เคียงกับการปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจุกะแสไฟฟ้าด้วยสัดส่วนผสมแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า (Grid Energy Mix) ในปัจจุบันของไทย นั่นคือ การบูรณาการการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (E85 และ B20) เข้ากับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV)

ดังแสดงในผลการศึกษา ขณะที่พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) 5.9239 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร (kgCO<sub>2</sub>eq/100km) พลังงานประเภทอื่นๆที่ปล่อยใกล้เคียง ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85) ปล่อย 5.7241 kgCO<sub>2</sub>eq/100km (ตารางที่ 5) หรือต่ำกว่าการปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ร้อยละ 3 รองลงมา ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85; ปล่อย 6.0281 kgCO<sub>2</sub>eq/100km) และน้ำมันไบโอดีเซล B20 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-B20; ปล่อย 6.7510 kgCO<sub>2</sub>eq/100km) ซึ่งปล่อยสูงกว่าการปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ร้อยละ 2 และ 14 ตามลำดับ

## 7. ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา (Contributions of the Study)

จากผลการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อสังเคราะห์เป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนพลังงานฟอสซิล และการสนับสนุนการใช้นยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ในภาคขนส่งไทยได้ ดังนี้

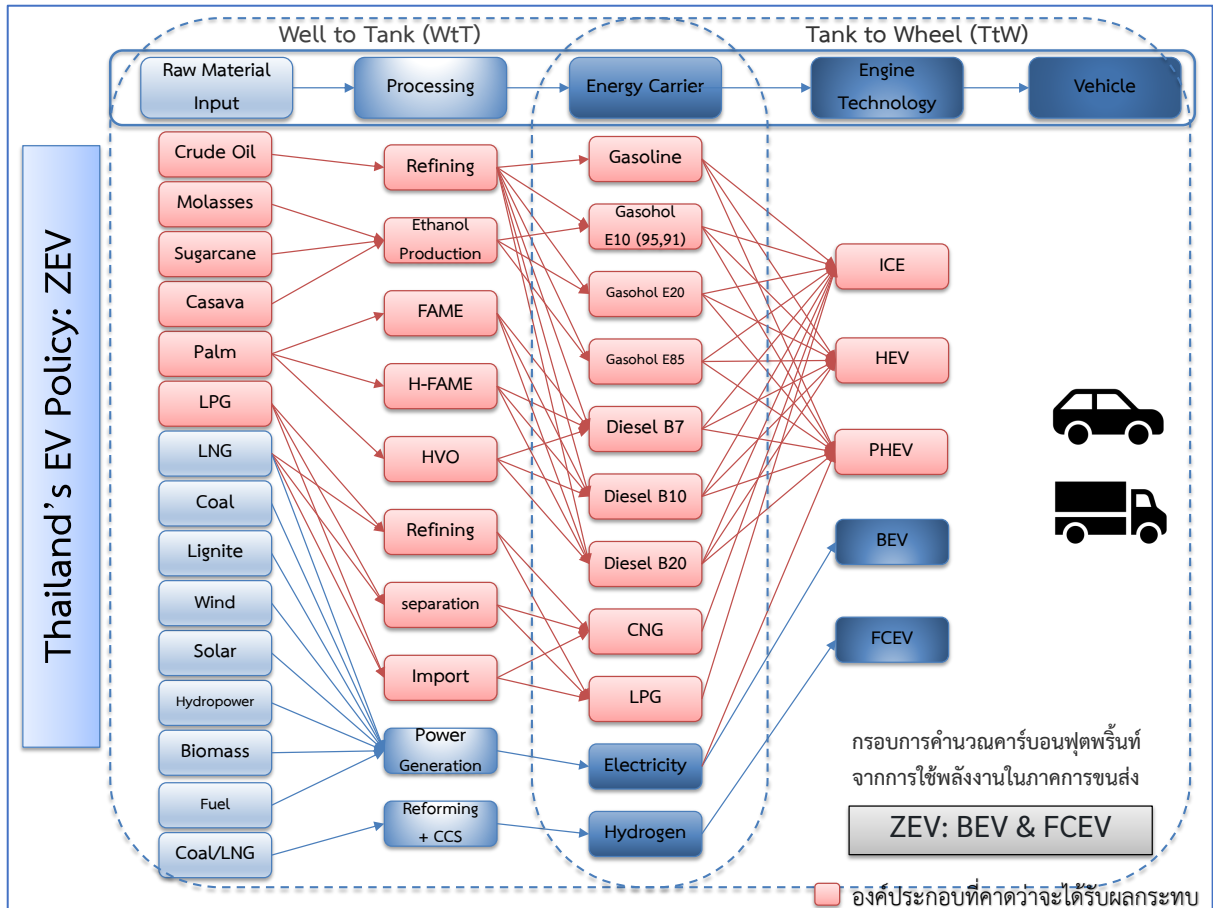
### 7.1 ความลัถนของนโยบายภาครัฐไทยในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและยานยนต์ไฟฟ้า (Biofuel vs ZEV) อาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง

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

นโยบายการสนับสนุนยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ดังกล่าวนี้อาจเกิดความลัถนกับมาตรการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในภาคการขนส่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความสับสนและขาดความเชื่อมั่นในนโยบายของรัฐบาลที่ไม่ชัดเจนและปรับเปลี่ยนรวดเร็ว

การเปลี่ยนผ่านอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและการบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะส่งผลกระทบต่อฐานการผลิตเดิม ตั้งแต่แรงงานที่เกี่ยวข้องไปจนถึงห่วงโซ่อุปทานทั้งระบบ กระทบเกี่ยวพันเป็นวงกว้าง ทั้งผู้ประกอบการและการจ้างแรงงานจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลกระทบกับเกษตรกรมันสำปะหลัง อ้อย และปาล์ม ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลและไบโอดีเซล (แผนภาพที่ 10)

ดังแสดงใน แผนภาพที่ 10 การผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคนยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะส่งผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตพลังงานในภาคขนส่งไทย เริ่มจากการยกเลิกผลิตและลดการใช้นยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) และยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการลดการบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิล แก๊สเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงชีวภาพ จนอาจนำไปสู่การยกเลิกการผลิตเชื้อเพลิงเหล่านี้ในระยะยาวในที่สุด ซึ่งย่อมกระทบต่ออุตสาหกรรมกระบวนการผลิตพลังงาน ได้แก่ กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ กระบวนการกลั่นและแยกแก๊สเชื้อเพลิง และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวภาพ จนในท้ายที่สุดจะกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องในการจัดหาวัตถุดิบ ได้แก่ ผู้จัดหาและนำเข้าน้ำมันดิบ แก๊สปิโตรเลียมเหลว และแก๊สธรรมชาติเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระทบต่อเกษตรกรชาวไร่มันสำปะหลัง อ้อย และปาล์ม ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

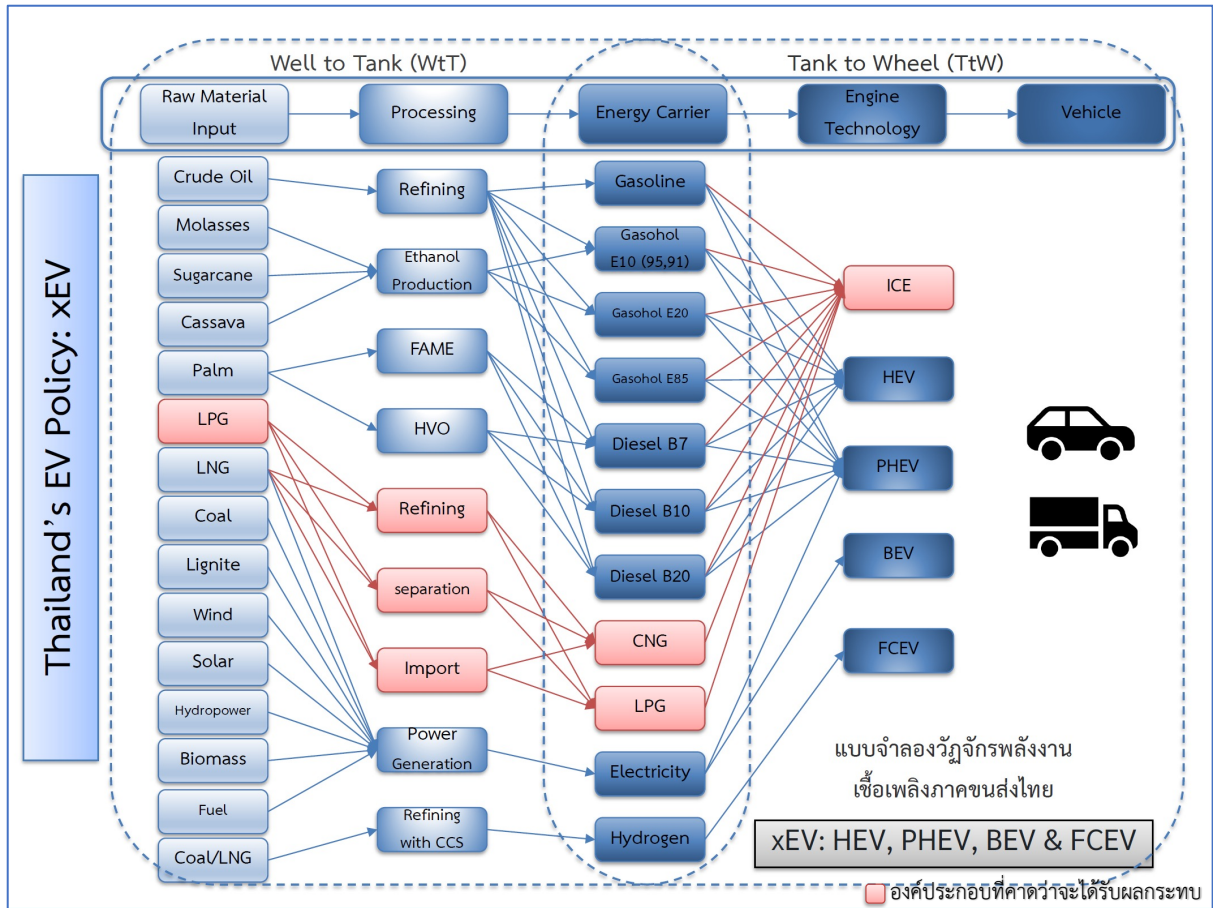


แผนภาพที่ 10 องค์ประกอบภายในวัฏจักรชีวิตพลังงานภาคขนส่งไทยที่จะได้รับผลกระทบจากนโยบายการผลักดันไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคนยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV)

แนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโภคนยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) ดังแสดงใน แผนภาพที่ 11 อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยจำกัดขอบเขตของผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างน้อยช่วยลดผลกระทบในช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนผ่านไปสู่การพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาดซึ่งจะกล่าวในประเด็นถัดไป

ดังแสดงใน แผนภาพที่ 11 ยานยนต์ไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) จะยังคงได้รับการสนับสนุนภายใต้แผนงานนี้ พร้อมด้วยการผลิตและบริโภคนยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม ได้แก่ ยานยนต์ไฮบริด (HEV) และปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) โดยจะยังสามารถส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพควบคู่ไปด้วย ทั้งนี้ผลกระทบส่วนใหญ่จะตกแก่เพียงยานยนต์สันดาปภายใน 100% รวมถึงแก๊สเชื้อเพลิง ทั้งปิโตรเลียมเหลว (LPG) และแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ต่างมีประสิทธิภาพด้านการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับยานยนต์และเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ ภายใต้การศึกษานี้

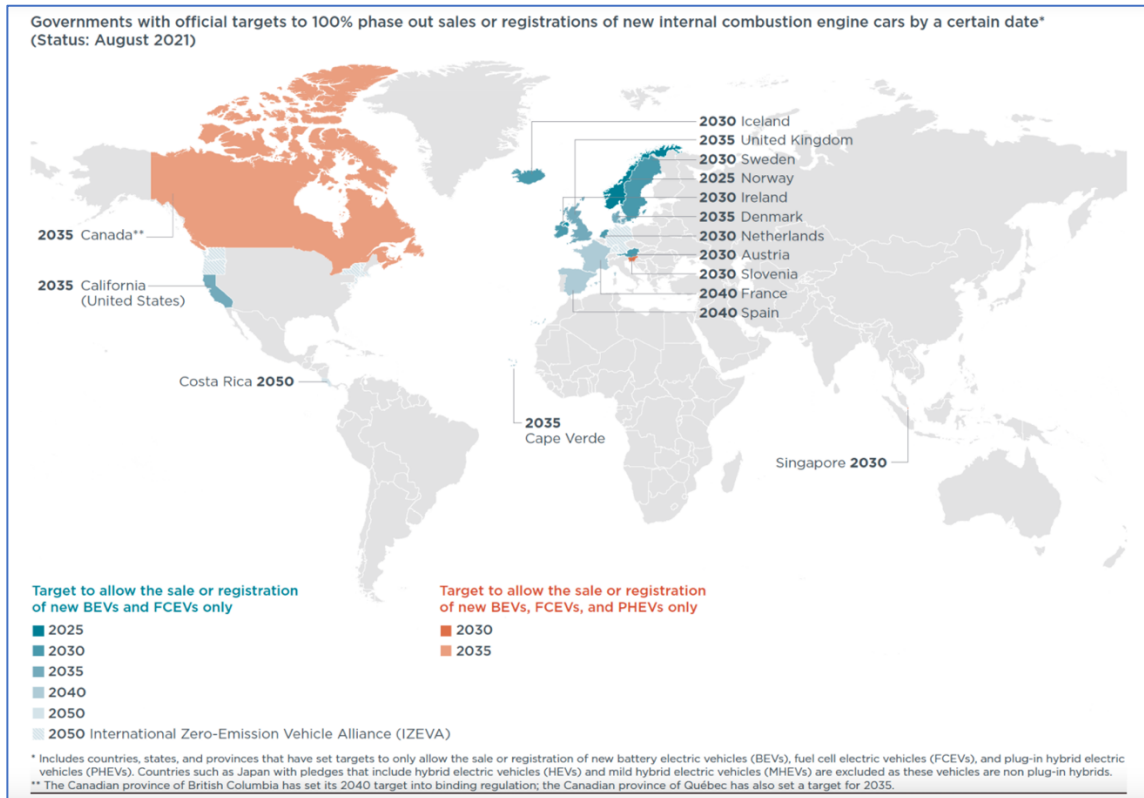




แผนภาพที่ 11 องค์ประกอบภายในวัฏจักรชีวิตพลังงานภาคขนส่งไทยที่จะได้รับผลกระทบจากนโยบายการผลักดันไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโภคยานยนต์ที่ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV)

## 7.2 การพัฒนาส่วนผสมแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (Grid Energy Mix) ไปสู่การพึ่งพาแหล่งพลังงานหมุนเวียน

การผลักดันให้ยานยนต์ที่ใช้ในประเทศเป็นยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าขับเคลื่อน 100% หรือยานยนต์ที่ไม่ปลดปล่อยมลพิษ (ZEV) ภายในปี พ.ศ. 2578 (ค.ศ. 2035) นั้น จำเป็นต้องเตรียมความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยในกรณีด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานเพื่อการขนส่งบนถนนนั้น ผลการศึกษาพบว่า แหล่งวัตถุดิบเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภาพรวมศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งด้วยยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยในปัจจุบัน กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทย ยังคงพึ่งพาแหล่งวัตถุดิบพลังงานผลิตถ่านหินฟอสซิลเป็นหลัก ดังนั้น ประเทศไทยควรลงทุนเพื่อเพิ่มสัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ทั้งนี้ ควรให้ความสำคัญกับการลงทุนในกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำ เพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Grid Emission Factor) ควบคู่ไปกับการลงทุนในระบบส่งจำหน่ายและจัดการไฟฟ้าสมาร์ตกริดและสนับสนุนมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน รวมถึงการเตรียมการรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยหน่วยงานเกี่ยวข้อง ทาอี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง ควรวางแผนรองรับการใช้ไฟฟ้าด้วยการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี จัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้เพียงพอทั่วประเทศ โดยประเทศไทยยังคงมีปัญหาความไม่พร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน ทั้งสถานีประจุไฟฟ้าและระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันไทยมีสถานีประจุไฟฟ้าเพียงทั้งสิ้น 817 สถานีทั่วประเทศ (Praiwan, 2021)



แผนภาพที่ 12 ประเทศที่มีการกำหนดเป้าหมายยกเลิกการจำหน่ายหรือการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ที่เป็นยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) (UN Climate Change, 2021)

หลายประเทศในทวีปยุโรปได้กำหนดเป้าหมายยกเลิกการจำหน่ายหรือการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ที่เป็นยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) เช่น นอร์เวย์กำหนดเป้าหมายลักษณะในปี ค.ศ. 2025, ไอร์แลนด์ สวีเดน ไอร์แลนด์ เนเธอร์แลนด์ และออสเตรีย กำหนดเป้าหมายในปี ค.ศ. 2030, เดนมาร์ก สหราชอาณาจักร 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) นอกจากนี้ ประเทศส่วนใหญ่เหล่านี้มีความพร้อมสูงด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ดังนั้น การขับเคลื่อนเป้าหมายที่จะทำในระยะสั้นจึงสามารถทำได้ไม่ยาก เช่น กรณีประเทศนอร์เวย์ เป็นประเทศพัฒนาแล้วที่มีประชากร 5.3 ล้านคน มีการใช้งานยานยนต์บนถนนภายในประเทศน้อยกว่า 90,000 คัน และไม่มีอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ภายในประเทศ (อาชนัน เกาะไพบูลย์, 2021) ยิ่งไปกว่านั้น นอร์เวย์มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเกินกว่าความต้องการภายในประเทศจนสามารถจำหน่ายและส่งออกไปยังประเทศต่างๆใกล้เคียงได้ด้วยปัจจัยความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานต่างๆทั้งหมดนี้ จึงไม่น่าแปลกใจที่นอร์เวย์สามารถประกาศ

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

ในขณะที่ หลายประเทศในสหภาพยุโรป นำโดยนอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์ และเดนมาร์ก เรียกร้องให้สหภาพยุโรป (the European Commission) กำหนดเป้าหมายในลักษณะดังกล่าวในระดับพหุภาคี (Posaner, 2021) ทว่าเยอรมนีซึ่งเป็นประเทศผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของอุตสาหกรรมยานยนต์โลก และอุตสาหกรรมรถยนต์คิดเป็นสัดส่วนรายได้สูงถึงร้อยละ 20 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (GDP) แสดงท่าทีคัดค้านอย่างชัดเจน แม้ยานยนต์ไฟฟ้าในเยอรมนีจะมีสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของรถยนต์จดทะเบียนใหม่ ซึ่งมากกว่าปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าของทั้งนอร์เวย์และเดนมาร์กด้วยก็ตาม (อาชนัน เกาะไพบูลย์, 2021)

พิจารณากรณีความพร้อมของไทย ปัจจุบันไทยเป็นประเทศมีรายได้ปานกลางขั้นสูง มีจำนวนประชากรประมาณ 69.8 ล้านคน มีจำนวนยานยนต์จดทะเบียนสะสมทั่วประเทศ ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2563 ทั้งสิ้นกว่า 41 ล้านคัน และอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศ โดยไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก มีกำลังการผลิตยานยนต์มากกว่า 2 ล้านคันต่อปี นอกจากนี้ การผลิตกระแสไฟฟ้ายังคงพึ่งพิงพลังงานจากแก๊สธรรมชาติและถ่านหินมากกว่าร้อยละ 65

การเตรียมความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานอาจเป็นเงื่อนไขไปสู่ความสำเร็จในการเป็นฐานการผลิตและบริโภคนยานยนต์ไฟฟ้าของภูมิภาคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตาม การดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้องทำอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และไม่ให้เป็นการเพิ่มภาระค่าไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เร็วเกินไป เช่นการมุ่งเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในปัจจุบัน ซึ่งกำลังอยู่ในภาวะอุปทานไฟฟ้าล้นเกิน อาจยังเป็นการซ้ำเติมภาระค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศ มิใช่เพียงผู้ใช้นยนต์ขนส่งบนถนน เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าได้แบกรับต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ล้นเกินอยู่เดิมแล้ว อีกทั้งการติดสัญญาผูกพันระยะยาวที่ไม่ยืดหยุ่นกับโรงไฟฟ้า การปรับเปลี่ยนให้ตอบรับกับความต้องการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดจึงทำได้อย่างจำกัด (อภิญา อักษรกิจ & พิมใจ ฮุนตระกูล, 2564)

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่สนับสนุนให้ภาครัฐควรเร่งลงทุนสายส่งสายจำหน่ายที่เชื่อมโยงระบบสมาร์ทกริด เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างกลไกตลาดและกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันที่โปร่งใสในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด โดยไม่ควรพึ่งพิงเทคโนโลยีพลังงานสะอาดประเภทใดประเภทหนึ่งเป็นพิเศษ ปรับนโยบายที่ไม่ยืดหยุ่นจากการมีสัญญาผูกพันระยะยาว และเร่งปรับนโยบายการจัดการไฟฟ้าเพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) และการสนับสนุนการใช้กระแสไฟฟ้าพลังงานสะอาดในภาคขนส่งทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันภาครัฐควรเร่งสร้างกลไกการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตรถยนต์แต่ละค่าย ให้กลไกตลาดเป็นตัวขับเคลื่อนและผลักดันผู้ผลิตรถยนต์ให้นำเสนอยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช่นยนต์สันดาปภายใน (ICE) เข้ามาในตลาด เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันในตลาดทั้งทางด้านราคาและคุณภาพต่อไป

### 7.3 การสนับสนุนการใช้พลังงานและเทคโนโลยีภาคขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงด้านสิ่งแวดล้อมในช่วงเปลี่ยนผ่านนี้

ตามที่กล่าวข้างต้นนั้น กระบวนการเปลี่ยนผ่านไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้พลังงานที่สะอาดทดแทนแหล่งพลังงานจากฟอสซิลนั้น ควรเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยในช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านนี้ ควรสนับสนุนการใช้พลังงานควบคู่เทคโนโลยียานยนต์ที่สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้สูงสุดในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของยานยนต์ไฟฟ้าปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในช่วงเวลาของการเปลี่ยนผ่านนี้หรืออย่างน้อยไปจนกว่าที่จะสามารถจัดหากระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ต่ำ เช่น จากแหล่งพลังงานสะอาด และเพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคส่วนของประเทศ

ดังผลการศึกษาพบว่า การบูรณาการนวัตกรรมพลังงานเชื้อเพลิงเข้ากับเทคโนโลยียานยนต์เพื่อการขนส่ง กล่าวคือการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (E85 และ B20) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจูดัวยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) สูงของไทยในปัจจุบัน

นอกจากนี้ ภาครัฐสามารถออกมาตรการเสริมเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม เช่น การยกระดับมาตรฐานไอเสียอย่างต่อเนื่อง หรือสิทธิพิเศษทางภาษีต่างๆ เพื่อจูงใจให้ผู้บริโภคเปลี่ยนพฤติกรรมมาบริโภคนยานยนต์ไฟฟ้าควบคู่ไปกับการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มมากขึ้น เพื่อบรรลุเป้าหมายการรักษาสิ่งแวดล้อมขั้นสูงอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต

## 8. บทสรุปและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย (Conclusion and Policy Recommendation)

### 8.1 บทสรุป

ประเทศไทยนับเป็นหนึ่งในประเทศที่มีความเสี่ยงสูงจากผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งรัฐบาลไทยโดยนายกรัฐมนตรีได้ให้คำมั่นต่อประชาคมโลกในการก้าวสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี ค.ศ.2050 และบรรลุเป้าหมายการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้ในปี ค.ศ. 2065 การเร่งลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) จึงนับเป็นอีกหนึ่งภารกิจระดับชาติ

ภาคการขนส่งเป็นสาขาที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (GHGs) สูงถึงร้อยละ 18.81 ของปริมาณการปลดปล่อยรวมทั้งประเทศในปี ค.ศ. 2016 เป็นรองเพียงสาขาการผลิตพลังงาน (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 ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมหรืออย่างน้อยก็แตกต่างจากกรณีเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของยานยนต์สันดาปภายในทั่วไป ดังนั้น การเปรียบเทียบผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นใหม่หรือที่อาจเพิ่มขึ้นจากมาตรการเหล่านี้ จึงมีความจำเป็นและสามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

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

โดยจากผลการศึกษา สามารถเรียงลำดับพลังงานเชื้อเพลิงที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงานจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ แก๊สปิโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-LPG) ปลดปล่อย 26.7751, แก๊สธรรมชาติอัดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-CNG): 25.4281, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E0): 17.9284, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 สำหรับยานยนต์สันดาปภายใน (ICE-E10): 17.1540, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E10): 11.2543, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE-E85): 9.188, น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E0): 8.4085, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E10): 8.1706, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 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, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85): 6.0281, พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity): 5.9239, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85): 5.7241 และพลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen): 1.4946 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 100 กิโลเมตร (kgCO<sub>2</sub>eq/100km) ตามลำดับ

จากผลการศึกษานี้ พบข้อสังเกตที่น่าสนใจบางประการ ได้แก่

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

กรณีเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้า: แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้ามีอิทธิพลอย่างมากต่อศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของยานยนต์ไฟฟ้า (xEV) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) กล่าวคือ แม้ยานยนต์ไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบอย่างมากจากประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยไม่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกหรือปลดปล่อยเป็นศูนย์ในช่วง TtW อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยยังคงพึ่งพาพลังงานฟอสซิลจากแก๊สธรรมชาติและถ่านหินเป็นหลัก ทำให้การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในช่วง WtT ของการผลิตเชื้อเพลิงไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) สูงกว่าการปลดปล่อยในช่วง WtT ของการผลิตเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) สำหรับยานยนต์สันดาปภายในทั่วไป (ในหน่วย gCO<sub>2</sub>eq/MJ หรือ kgCO<sub>2</sub>eq/100 km) อย่างไรก็ตาม พลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) มีศักยภาพที่จะสามารถเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกเชิงพาณิชย์ที่ดีที่สุดหรือจะสามารถแสดงศักยภาพด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ ในแง่ของการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ก็ต่อเมื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล

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

กรณีแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับภาคการขนส่ง (LPG และ CNG): แก๊สเชื้อเพลิง (LPG และ CNG) มีปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ภายใต้การศึกษานี้ (ในหน่วย  $\text{kgCO}_2\text{eq}/100\text{km}$ ) เนื่องจากยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่ใช้แก๊ส มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมันเบนซิน (E0) ทั่วไป อีกทั้งการเผาไหม้แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ปลดปล่อยแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

กรณีเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel): เชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งไบโอเอทานอล (E100) และ ไบโอดีเซล (B100) มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล (เบนซิน และดีเซล) เมื่อผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล (E10, E20 และ E85) และน้ำมันไบโอดีเซล (B7, B10 และ B20) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วง TtW แม้จะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงกว่าเบนซิน (E0) และดีเซล (B0) ในช่วง WtT อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในภาพรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ก็ดีกว่าเบนซิน (E0) และดีเซล (B0) ทั่วไป

กรณีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้า (xEV): การบูรณาการการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับเทคโนโลยียานยนต์ไฮบริด (HEV และ PHEV) ซึ่งเป็นยานยนต์ผสมระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์สันดาปภายใน มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ไฮบริด (HEV-E85) และน้ำมันแก๊สโซฮอล E85 สำหรับยานยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV-E85) มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) ใกล้เคียงกันกับการปลดปล่อยของเชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ในส่วนผสมแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน



## 8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากผลการศึกษานำมาสังเคราะห์ที่ได้เป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ดังนี้

(1) ภาครัฐควรผลักดันแนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโคมยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) ในระยะแรก และควรทบทวนแนวทางการผลักดันอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยไปสู่การเป็นฐานการผลิตและบริโคมยานยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ZEV) ในระยะถัดไป เนื่องจากแนวทางการผลักดันสู่ฐาน ZEV จะส่งผลกระทบต่อฐานการผลิตเดิมทั้งระบบเป็นวงกว้าง ทั้งผู้ประกอบการและการจ้างแรงงานจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลกระทบกับเกษตรกรมันสำปะหลัง อ้อย และปาล์มน้ำมัน ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันเอทานอลและไบโอดีเซล โดยแนวทางการสนับสนุนการเป็นฐานการผลิตและบริโคมยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (xEV) อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยจำกัดขอบเขตของผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างน้อยช่วยลดผลกระทบในช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนผ่านไปสู่การพัฒนาความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด

(2) ภาครัฐควรกำหนดช่วงเวลาเปลี่ยนผ่าน เพื่อเร่งปรับนโยบายการจัดการไฟฟ้าเพื่อลดค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) และการสนับสนุนการใช้กระแสไฟฟ้าพลังงานสะอาดในภาคขนส่งทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งควรเร่งลงทุนระบบสายส่งสายจำหน่ายที่เชื่อมโยงระบบสมาร์ตกริด เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างกลไกตลาดและกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันที่โปร่งใส ในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด โดยไม่ควรพึ่งพิงเทคโนโลยีพลังงานสะอาดประเภทใดประเภทหนึ่งเป็นพิเศษ ปรับนโยบายที่ไม่ยืดหยุ่นจากการมีสัญญาผูกพันระยะยาว

ในขณะเดียวกัน ภาครัฐควรเร่งสร้างกลไกการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตยานยนต์แต่ละค่าย ให้กลไกตลาดเป็นตัวขับเคลื่อนและผลักดันผู้ผลิตยานยนต์ให้นำเสนอยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช่ยานยนต์สันดาปภายใน (ICE) เข้ามาในตลาด เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันในตลาดทั้งทางด้านราคาและคุณภาพต่อไป

(3) ภาครัฐควรสนับสนุนการบูรณาการการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพผสม (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง E85) ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงผสม (HEV และ PHEV) ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการปลดปล่อยฯของพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV-Electricity) ที่ประจูดัวยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) สูงของไทยในปัจจุบัน ในช่วงของการเปลี่ยนผ่านนี้ อย่างน้อยไปจนกว่าที่จะสามารถจัดการกระแสไฟฟ้าที่มีค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (grid emission factor) ต่ำ เช่น จากแหล่งพลังงานสะอาด และเพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคส่วนของประเทศ

(4) ข้อเสนอแนะอื่นๆ

(4.1) เทคโนโลยีพลังงานไฮโดรเจนและเทคโนโลยียานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานของกรณียานยนต์ไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (FCEV-Hydrogen) ภายใต้การศึกษานี้ จากผลการศึกษาบ่งชี้ถึงศักยภาพขั้นสูงด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในฐานะเชื้อเพลิงภาคการขนส่ง จากการ

ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตพลังงาน (WtW) ต่ำที่สุดเชิงเปรียบเทียบับเชื้อเพลิงภาคขนส่งประเภทอื่นๆ ทว่าปัจจุบันยังคงสถานะเป็นเทคโนโลยีพลังงานภาคขนส่งแห่งอนาคต ดังนั้น ควรเสนอให้มีการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาให้สามารถนำเทคโนโลยีพลังงานไฮโดรเจนและยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง มาประยุกต์ใช้ได้เชิงพาณิชย์

(4.2) ภาครัฐควรทบทวนมาตรการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) ไปสู่การลดหรือยกเลิกมาตรการสนับสนุนเชื้อเพลิงดังกล่าว เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิง LPG และ CNG มีศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุด จากการที่มีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (WtW) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงภาคขนส่งประเภทอื่นๆภายใต้การศึกษานี้

### 8.3 ความสอดคล้องของข้อเสนอแนะกับร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13

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

สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 4 การยกระดับขีดความสามารถของผู้ประกอบการไทยในการลงทุนผลิตยานยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ และชิ้นส่วนสำคัญ ภายใต้หมายเหตุที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก เนื่องจากข้อเสนอแนะนี้จะเป็นการช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถยกระดับขีดความสามารถในระยะเปลี่ยนผ่านได้เป็นลำดับ รวมทั้งสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 5 มาตรการสำหรับกลุ่มผู้ได้รับผลกระทบ ภายใต้หมายเหตุที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก เนื่องจากข้อเสนอแนะนี้จะช่วยจำกัดผลกระทบจากการดำเนินนโยบาย ซึ่งย่อมจะช่วยลดภาระภาครัฐในการเยียวยาผู้ได้รับผลกระทบ

อย่างไรก็ตาม การศึกษาข้อเสนอแก้ไขตัวชี้วัดที่ 1.1 และ 1.2 ภายใต้หมายเหตุที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก หน้า 57 ดังปรากฏความว่า

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

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

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

(2) ข้อเสนอให้มีการกำหนดช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านที่ชัดเจน เพื่อพัฒนาแหล่งพลังงานการผลิตไฟฟ้าที่พึ่งพาพลังงานสะอาด เชื่อมโยงระบบสมาร์ตกริด และเร่งลงทุนโครงสร้างพื้นฐานพลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทั้งระบบ โดยให้มีผลกระทบต่อภาคครัวเรือนผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด

สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 7 โครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานที่มีความพร้อมรองรับปริมาณการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ ภายใต้หมุดหมายที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนให้เพียงพอและสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานทั้งระบบ นับเป็นโครงสร้างพื้นฐานจำเป็นต่อการรองรับการขยายตัวของการบริโภคยานยนต์ไฟฟ้าในระดับประเทศ

อย่างไรก็ตาม การศึกษาข้อเสนอเพิ่มเติม “กลยุทธ์ย่อย 7.4 ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าที่พึ่งพาแหล่งพลังงานสะอาด” ภายใต้กลยุทธ์ที่ 7 โครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานที่มีความพร้อมรองรับปริมาณการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ หมุดหมายที่ 3 ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญของโลก

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

สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 2 การส่งเสริมการผลิตและการขยายตัวของตลาด ของสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูปที่มีมูลค่าเพิ่มสูง ภายใต้หมุดหมายที่ 1 ไทยเป็นประเทศชั้นนำด้านสินค้าเกษตรและเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง เนื่องจากการช่วยเพิ่มมูลค่าและส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากมันสำปะหลัง อ้อย และปาล์มน้ำมัน รวมทั้งสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ 5 การปรับพฤติกรรมทางเศรษฐกิจและการดำรงชีพเข้าสู่วิถีชีวิตใหม่อย่างยั่งยืน ภายใต้หมุดหมายที่ 10 ไทยมีเศรษฐกิจหมุนเวียนและสังคมคาร์บอนต่ำ เนื่องจากการส่งเสริมการใช้ยานพาหนะที่ใช้พลังงานสะอาดและประหยัดพลังงาน

## 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.BIORTECH.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.

กรรณิการ์ ธรรมพานิชวงศ์, วิษณุ อรรถวานิช, บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย, & อัศมน ลิ้มสกุล. (2021, September 30). การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของ ไทย | PIER. Retrieved November 5, 2021, from <https://www.pier.or.th/abridged/2021/15/>

กรุงเทพธุรกิจ. (2564a, September 25). เปิดแผนพัฒนาฉบับ 13 หมายความว่าดันไทยผู้นำ “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). *แผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ 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). บัญชีก๊าซเรือนกระจก. 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, & พิมพ์ สุนทรระกุล. (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 เกาะไพบูลย์. (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/>