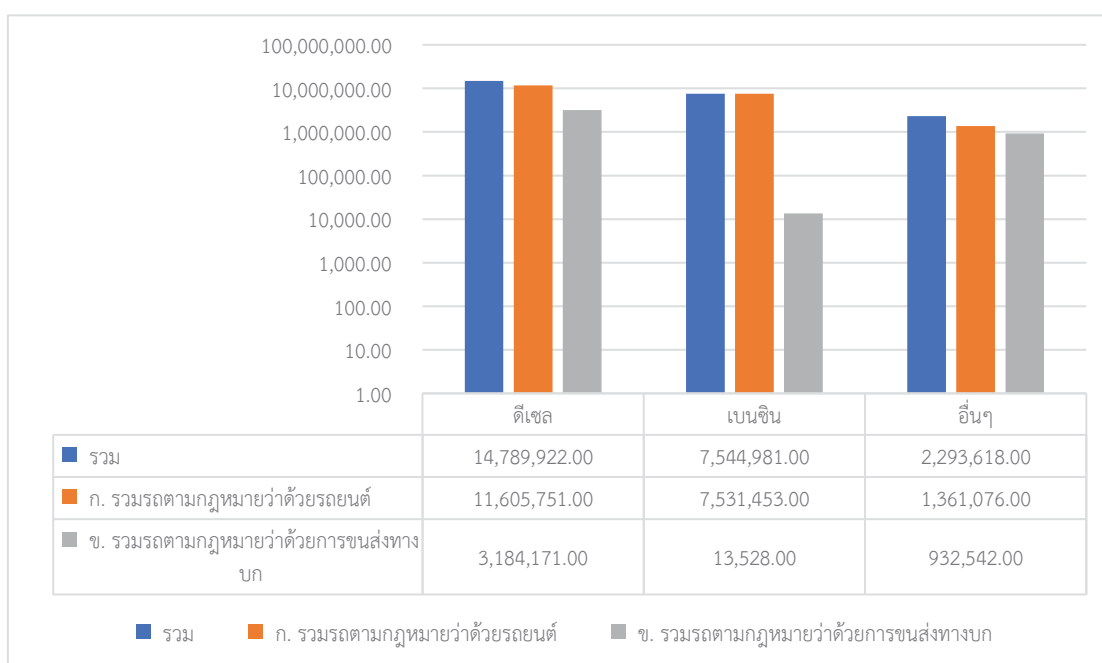


บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. จำนวนยานพาหนะที่ลงทะเบียนในประเทศไทย

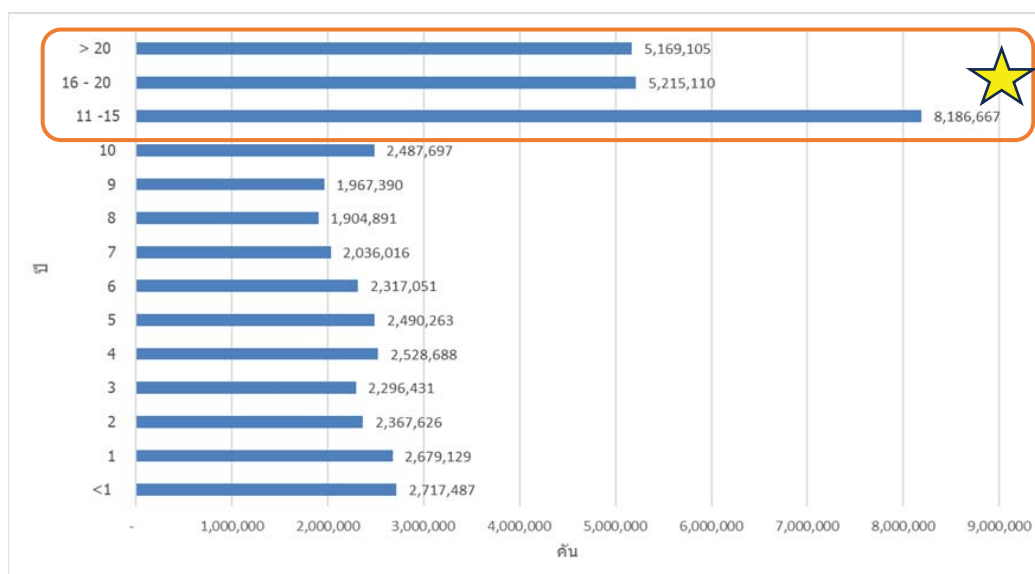
ในประเทศไทยมีจำนวนยานพาหนะที่ลงทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบก รวมทุกประเภท 24,628,521 คัน (ไม่รวมรถจักรยานยนต์) โดยแบ่งตามประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซินจำนวน 7,544,981 คัน (60%), เครื่องยนต์ดีเซลจำนวน 14,789,922 คัน (31%) และอื่น ๆ ที่เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกคิดเป็น จำนวน 2,293,618 (9%) เช่น เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง Natural Gas for Vehicles (NGV), Liquefied Petroleum Gas (LPG),ระบบไฮบริด และ ไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สถิติจำนวนรถจำแนกตามประเภทและชนิดเชื้อเพลิง
ที่มา Department of Land Transport, (2023b)

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นที่นิยมเนื่องจาก เครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราส่วนการบีบอัดในกระบอกสูบที่สูงกว่าเครื่องยนต์เบนซิน มีความทนทาน เหมาะสำหรับการบรรทุก การโดยสาร รถดถนน รวมถึงภาคการเกษตร หากแบ่งตามประเภทของยานพาหนะที่ต้องใช้งานหนัก พบว่า รถยนต์ที่ใช้สำหรับบรรทุกส่วนบุคคลที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินมีจำนวน 0.19 ล้านคัน แต่ในส่วนที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลมีจำนวน 6.7 ล้านคันซึ่งมีจำนวนมากกว่า ดังรูปที่ 2.1 (Department of Land Transport, 2023b)

ตามข้อมูลสถิติของคนไทยในการใช้รถ พบว่าการใช้รถเฉลี่ยต่อคันอยู่ที่ 11 ปี ขึ้นไปของการใช้งาน รถยนต์ที่มีการดูแลรักษาดีสามารถใช้งานได้ยาวนาน อายุการใช้งานของรถยนต์แนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเทคโนโลยีและวัสดุที่ใช้ในการผลิตดีขึ้น ช่วงเวลาที่มีการซื้อและใช้งานรถยนต์ดีเซลในประเทศไทยมากที่สุดอยู่ในระหว่างปี 2009 ถึง 2013 แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงอายุรถที่มีการต่อทะเบียน
ที่มา Department of Land Transport, (2023a)

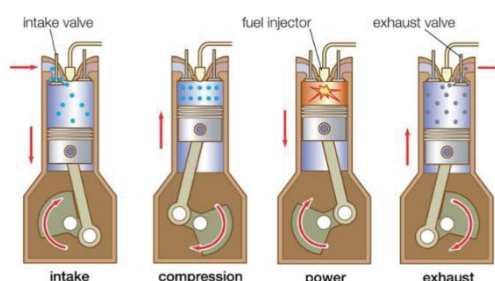
เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น โครงการรถยนต์คันแรกของรัฐบาลไทย ที่เริ่มต้นโครงการในปี 2011 ถึงปี 2012 เป็นการคืนภาษีให้กับผู้ที่ซื้อรถยนต์คันแรกสูงสุด 100,000 บาท การขยายตัวของเศรษฐกิจ ค่าแรงขั้นต่ำเพิ่มขึ้นเป็น 300 บาท กระทรวงแรงงาน, (2554) และมีมาตรการชะลอการเรียกเก็บเงินเข้ากองทุนน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลเพื่อลดภาระของผู้บริโภค ทำให้ราคาน้ำมันในช่วงนั้นราคาถูกลงโดยเฉพาะน้ำมันดีเซล ลดลงมากถึง 3.00 บาทต่อลิตร จึงทำให้รถยนต์ประเภทดีเซลมีจำนวนเพิ่มขึ้น (Energy Policy and Planning office, 2011)

2.2. เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซล เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ความร้อนจากการอัดเพื่อเริ่มกระบวนการเผาไหม้ ถ้าในการใช้งานต้องการกำลังที่มาก เช่น ขับรถออกจากจุดหยุดนิ่ง อัตราส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผสมจะสูงกว่าอัตราส่วนอากาศ

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล มี 4 จังหวะ คือ

1. จังหวะการดูด คือ เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลง อากาศจะถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบผ่าน วาล์วไอดี
2. จังหวะการอัด คือ วาล์วไอดีปิด และลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดอากาศในกระบอกสูบ
3. จังหวะการทำงาน หรือจังหวะระเบิด คือ เชื้อเพลิงจะระเบิดเนื่องจากอุณหภูมิสูงจาก กระบวนการอัด ทำให้เกิดการขยายตัวของก๊าซ ทำให้มีแรงดันไปดันลูกสูบลง และเป็นการถ่ายเท พลังงาน หรือเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงพลังงาน
4. จังหวะการคายไอเสีย วาล์วไอดีเปิด ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นอีกครั้งเพื่อดันก๊าซที่เผาไหม้ เรียบร้อยแล้วออกจากกระบอกสูบ (Woodford, 2022)



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล
ที่มา Motorival, (2019)

2.3 น้ำมันเชื้อเพลิง ประเภทไบโอดีเซล (Biodiesel)

เชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ รวมถึงสาหร่าย ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก โดยผ่านกระบวนการที่แตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2567) แต่กระบวนการที่สำคัญประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อเปลี่ยนให้น้ำมันหรือไขมันเป็นกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Ester: FAME) เรียกว่า ไบโอดีเซล (Biodiesel : B100) ซึ่งสามารถนำไปผสมกับ ดีเซลปิโตรเลียม (Petroleum diesel) ในอัตราส่วนตามการใช้งาน (ชุดิมา จารุศิริพจ, 2548)

น้ำมันที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบัน มีการคิดค้นอัตราส่วนผสมของน้ำมันเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานของผู้ใช้มากขึ้น มีสารตั้งต้นสำหรับการผลิตคือ B0 กับน้ำมัน B100 โดยเมื่อผสมพร้อมกันและไปใช้งาน เครื่องยนต์ต้องสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ประหยัดน้ำมัน และมีการปลดปล่อยมลพิษที่ลดลงมากกว่า B0 เพียงอย่างเดียว Brahma et al., (2022) ทั้งแก๊สต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยรองรับที่มากขึ้น การใช้ B100 เพียงอย่างเดียวสามารถลดการปล่อยอนุภาคได้ 87.7% เมื่อเทียบกับ B0 ที่ยังไม่ผ่านการผสม แต่การที่เติม B100 เพียงอย่างเดียวนั้นแม้ว่าจะลดการปลดปล่อยอนุภาคได้จริงแต่ส่งผลเสีย

ต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง 70.4% ด้วยเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาในเรื่องของส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดและการเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ เช่น การผสมน้ำมันในอัตราส่วนไบโอดีเซลที่ 20% และ B0 ที่อัตราส่วน 80% ทำให้การปล่อยอนุภาค 28.96% (Xue et al., 2011)

2.3.1 มาตรฐานน้ำมัน

มาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM), USA เป็นสมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีที่กำหนดและจัดทำมาตรฐาน จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ.1898 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุน หน่วยงานของรัฐ ทางด้านวิชาการ และ อุตสาหกรรม โดยการพัฒนามาตรฐานให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีปัจจุบัน (ASTM standards, 2024)

มาตรฐานน้ำมันของประเทศไทยถูกกำหนดโดยอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2567 จะมีเพียงน้ำมันดีเซลหมุนช้า และน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (B7 และ B20) ที่อนุญาตให้จำหน่ายรวมถึงวิธีการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันด้วยเช่นเดียวกัน ตารางที่ 2.1 กรมธุรกิจพลังงาน, (2567) ในประเทศไทยยังไม่มีการใช้งาน B30 ในทวีปเอเชียมีประเทศที่ใช้น้ำมัน B30 คือ เป็นประเทศแรกในเอเชียที่เริ่มใช้ B30 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020 คือ ประเทศอินโดนีเซีย เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศ และลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ The Ministry of Energy and Mineral Resources, (2019) ประเทศมาเลเซีย มีนโยบายการใช้เชื้อเพลิง B30 ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศ เช่นเดียวกับอินโดนีเซียตั้งเป้า นำ B30 มาใช้ในปี ค.ศ. 2030 ปัจจุบันมาเลเซียใช้ 2 ตัวคือ B10 และ B20 (Argus Media Group Copyright, 2023; Biofuels International magazine, 2023) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2567

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ
			หมุนเร็ว		
			ธรรมดา (B7)	B20	
1	Specific gravity at 15.6/15.6 °C	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	0.81-0.87	0.81-0.87	ASTM D 1298
2	Cetane number or Calculates cetane index	ไม่ต่ำกว่า	50	50	ASTM D 613 ASTM D 976
3	Viscosity : cST at 40 °C	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.8-4.1	1.8-4.1	ASTM D 445
	at 50 °C	ไม่สูงกว่า			
4	Flash point : °C	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D 93

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, (2567)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล	วิธีทดสอบ
			B30 CN48	
1	Specific gravity at 15.6/15.6 °C	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	0.815-0.880	ASTM D 1298
2	Cetane number or Calculates cetane index	ไม่ต่ำกว่า	48	ASTM D 613 ASTM D 976
3	Viscosity : cST at 40 °C at 50 °C	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า ไม่สูงกว่า	2.0-5.0	ASTM D 445
4	Flash point : °C	ไม่ต่ำกว่า	52	ASTM D 93

ที่มา: KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI, (2020)

2.4 มาตรฐานการปล่อยไอเสีย (Emission Standards)

มาตรฐานการปล่อยไอเสีย (Emission Standards) กำหนดโดยหน่วยงานของรัฐและองค์กรระหว่างประเทศ เพื่อควบคุมและลดปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกมาจากยานพาหนะและเครื่องยนต์สันดาปภายใน ไม่ให้ส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มาตรฐานการปล่อยไอเสียที่สำคัญในปัจจุบัน

1) มาตรฐานการควบคุมการปล่อยไอเสีย

มาตรฐาน European Emission Standards (Euro) กำหนดโดยสหภาพยุโรปเพื่อควบคุมการปล่อยไอเสียจากยานพาหนะ โดยมีระดับตั้งแต่ Euro 1 ถึง Euro 6 ซึ่งมาตรฐาน Euro 6 เป็นมาตรฐานล่าสุดที่กำหนดการปล่อยไอเสีย SZYMANSKI et al., (2021) เครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ประสิทธิภาพการกรองไม่ดีเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์รุ่นใหม่ตามมาตรฐาน EURO 5 ซึ่งได้ติดตั้งตัวกรองอนุภาคชนิด Diesel Particulate Filter (DPF) ร่วมกับ Diesel Oxidation Catalyst (DOC) ที่สามารถกรองอนุภาคขนาดเล็ก (PM) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ European Commission, (2006)

รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลรุ่นที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี Department of Land Transport, (2023a) จะปล่อยมลพิษมากกว่ารุ่นใหม่ เพราะประสิทธิภาพการกรองไม่ดีและไม่เป็นไปตามมาตรฐาน EURO 5 เช่น การติดตั้งอุปกรณ์กรองอนุภาคดีเซล Diesel Particulate Filter (DPF) ที่สามารถกรองอนุภาคขนาดเล็ก (PM) และ Diesel Oxidation Catalyst (DOC) ที่จะช่วยลด HC และ CO แต่หากใช้ร่วมกันสามารถกรองอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนระบบของ EURO 6 ในต่างประเทศจะเพิ่ม Catalytic Reduction (SCR) เพื่อลดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) โดยการแปลง NO_x ให้เป็นไนโตรเจนและน้ำที่ไม่เป็นอันตราย ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลรุ่นใหม่มีผลกระทบต่อคนและสภาพแวดล้อม น้อยกว่าเครื่องยนต์รุ่นเก่า (Kozina et al., 2020)

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการปล่อยไอเสีย

(ภิเชก ทศณะนาคะจิตต์, 2562)

มาตรฐานการปล่อยไอเสีย (ประเทศไทย)	การปล่อยไม่เกิน CO (กรัม/กม.)	ค่าขีดจำกัดการปล่อย HC+ NO _x (กรัม/กม.)	การปล่อยไม่เกิน NO _x (กรัม/กม.)	การปล่อยไม่เกิน PM (กรัม/กม.)
Euro 4	0.5	0.3	0.25	0.025
Euro 5	0.5	0.23	0.18	0.005
Euro 6	0.5	0.17	0.08	0.005

2) New European Driving Cycle (NEDC)

เป็นหน่วยงานของยุโรปที่ทำหน้าที่ตรวจสอบอัตราการปล่อยไอเสียและการใช้พลังงานของรถ มาตรฐานนี้มีการทดสอบยานพาหนะในสภาวะการขับขี่ในเมืองและนอกเมือง Bisetto et al., (2024) โดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยและระยะเวลาการทดสอบ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการขับขี่ในชีวิตประจำวันทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ควบคุมอุณหภูมิของห้องทดสอบระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส ไม่มีลม และประเมินการปล่อยไอเสียและการใช้พลังงานของยานพาหนะ (Mon Phyo et al., 2024)

3) มาตรฐานการทดสอบการปล่อยไอเสียตาม United Nations Regulation 83 (UN R83)

UN R83 เป็นมาตรฐานการทดสอบและการรับรองการปล่อยไอเสียที่กำหนดโดยสหประชาชาติ Ayetor et al., (2021) รวมถึงการทดสอบการปล่อยไอเสียในสภาวะการขับขี่ที่แตกต่างกัน โดยสตาร์ทรถและหยุดนิ่งเป็นเวลา 20 วินาที และเริ่มกดคันเร่งจนไปถึง 50 km/h ภายใน 30 วินาที มีจุดมุ่งหมายเพื่อจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษที่ยานพาหนะจะประสบบนทางหลวง

2.5 ผลกระทบจากการสัมผัสอนุภาค

ปัจจุบันยานพาหนะได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อการคมนาคม และมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกปี ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของพาหนะเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหามลพิษทางอากาศ และได้ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัย เนื่องมาจากการทำงานของเครื่องยนต์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดสารพิษปล่อยออกมาจากท่อไอเสียอันเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ถือว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และเป็นระบบที่ปรับปรุงได้ยาก เนื่องจากการเผาไหม้จะเกิดอนุภาคที่ประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of Nitrogen) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) และเขม่าควันดำ (Particulate Matter/Smoke) M. Wang et al., (2019) ซึ่งมลพิษเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาในรูปแบบของอนุภาคและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งระบบประสาทส่วนกลาง ระบบการมองเห็น ระบบเม็ดเลือด ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด และไต Reis et al., (2018) องค์การอนามัยโลก (WHO) จัดให้อิเสียดีเซลเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ จากการปลดปล่อยมลพิษออกมาในรูปแบบของอนุภาคและมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอน แม้จะมีความเข้มข้นต่ำและจากการสัมผัสในระยะสั้น Di et al., (2017) อนุภาคส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล ประกอบไปด้วย ไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น โดยองค์ประกอบของอนุภาคทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วยคาร์บอน 41% เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด 7% น้ำมันที่เผาไหม้ไม่หมด 25% ซัลเฟตและน้ำ 14% เถ้าและส่วนประกอบอื่น ๆ 13% Kittelson, (1998) อนุภาคดีเซลโดยทั่วไปเป็นทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 15–40 nm และอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร กระบวนการก่อตัวของการปล่อย PM ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น กระบวนการเผาไหม้และการขยายตัว คุณสมบัติของเชื้อเพลิง (ปริมาณกำมะถันและเถ้า) คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและการบริโภคน้ำมัน การระเหยความร้อนของก๊าซไอเสีย Bartscher, (2005) โดยอนุภาคที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ได้ ดังนี้

1) ผลกระทบแบบเฉียบพลัน

ภายใต้สภาวะปกติของเชื้อเพลิงดีเซลจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ แต่หากมีการสัมผัสมากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตราย Taxell & Santonen, (2017) ได้แก่ อาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ การอักเสบของทางเดินหายใจ ความเหนื่อยล้า อาการสำลักจากการสูดดมละออง (Inhalation) อาการผิวหนังแดง เมื่อสัมผัสผ่านทางผิวหนัง (Skin absorption) และการสำลักอาเจียนที่เกิดจากการกลืนกิน (Ingestion) Mehus et al., (2015) รวมถึงผลกระทบต่อระบบอื่น ๆ เช่น ภาวะไตวายเฉียบพลันเป็นภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ภายหลังการสัมผัสอนุภาคดีเซลอย่างเฉียบพลัน อาการต่าง ๆ ได้แก่ ภาวะปัสสาวะน้อย (ลูกถามจนกลายเป็นไม่มีปัสสาวะ) คลื่นไส้ ปวดท้อง และท้องเสีย (Al Suleimani et al., 2016)

2) ผลกระทบแบบเรื้อรัง

การรับสัมผัสอนุภาคดีเซลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร มีส่วนทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ในทุก ๆ ระบบภายในร่างกาย เนื่องมาจากอนุภาคดีเซลมีขนาดเล็กพอสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทางระบบทางเดินหายใจและแพร่กระจายไปยังระบบต่าง ๆ ของร่างกายได้ เมื่อได้รับสัมผัสเข้าไปสามารถแทรกซึมไปยังระบบอวัยวะ เนื้อเยื่อ หรือระบบหลอดเลือดได้ รวมถึงเข้าสู่สมองผ่านทางกำแพงเลือดสมอง (blood-brain barrier) อนุภาคส่วนใหญ่ที่เข้าไปจากการหายใจจะถูกหายใจออกในภายหลัง แต่บางส่วนจะเกาะอยู่บนพื้นผิวเนื้อเยื่อ ระบบเลือด หรือเนื้อเยื่อปอดได้ และทำให้เกิดผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพได้ (Dai et al., 2016)

2.1) ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

การสัมผัสกับสารมลพิษคืออนุภาคดีเซลทางอากาศที่ปล่อยออกมาจากรถยนต์ ก่อให้เกิดจำนวนอนุภาคในปอดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณเสมหะที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแทรกซึมของถุงลมในแมโครฟาจ การรวมตัวของแมโครฟาจ เกิดการตอบสนองของการอักเสบเรื้อรังของปอด มีการขยายตัวและการเพิ่มจำนวนของเยื่อถุงลมและเซลล์ภายในปอด และทำให้ปอดมีการหนาตัวของผนังถุงลมและการเกิดพังผืดที่ผนังมากขึ้น Sydbom et al., (2001) ส่งผลให้การทำงานของปอดลดลง ก่อให้เกิดอาการภูมิแพ้ทางการหายใจ โรคหอบหืดกำเริบ โรคเกี่ยวกับทรวงอก โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคปอดอักเสบ หรือหากสัมผัสอนุภาคเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและปอดจนสะสมเป็นระยะยาวสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้ (Wooding et al., 2019)

2.2) ผลกระทบต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด

การสัมผัสกับอนุภาคดีเซลเป็นระยะเวลานานพบว่า การทำงานของไฮเปอร์เมีย (Hyperemia Index) มีการตอบสนองที่ลดลง คือ สภาวะที่มีการลดลงของปริมาณเลือดมายังเนื้อเยื่อในร่างกายเนื่องจากผลการหดตัวของหลอดเลือดแดง (arteriole) และมีการทำงานของเปปไทด์นาตรียูเรติกชนิดบีเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่บ่งบอกถึงภาวะหัวใจล้มเหลว อีกทั้งอนุภาคดีเซลสามารถเกิดการตะกอนภายในหลอดเลือด จนทำให้เกิดหัวใจวาย หรือหลอดเลือดสมองตีบได้ ทั้งนี้การสัมผัสอนุภาคดีเซลยังมีผลต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ทำให้เต้นผิดจังหวะ และอาจรุนแรงจนส่งผลให้หัวใจวายเฉียบพลัน (Reşitoğlu et al., 2015)

2.3) ผลกระทบต่อระบบประสาท

การสัมผัสกับอนุภาคดีเซลส่งผลให้ระดับของสารสื่อประสาทกลูตาเมตที่กระตุ้นในไฮโปทาลามัสเพิ่มขึ้น รวมถึงการพัฒนาระบบประสาทที่ล่าช้าและการทำงานของสารรับรู้ลดลง ความวิตกกังวลและความเครียดเพิ่มขึ้น อนุภาคดีเซลที่มีขนาดเล็กสามารถผ่านเข้าสู่กระแสเลือดและเกิดการสะสมขึ้น ส่งผลกระทบให้เกิดความดันโลหิตสูง และเลือดมีความหนืด ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงให้เกิดลิ่มเลือดในสมอง รวมถึงหลอดเลือดแดงในสมองแข็งตัว ทำให้เส้นเลือดในสมองตีบหรือเส้นเลือดในสมองแตก เป็นสาเหตุของโรคอัมพฤกษ์ อัมพาตและเสียชีวิตได้ในที่สุด Win-Shwe et al., (2016)

การสูญเสียเซลล์ประสาทพบในคอร์เทกซ์ฮิปโปแคมปัส (Hippocampal) และคอร์เทกซ์ (Somatosensory Cortex) ส่งผลต่อความจำระยะสั้นลดลงและมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Gunawan et al., 2024)

2.4) ผลกระทบโรคมะเร็ง

ดีเซลจัดเป็นสารก่อมะเร็งประเภทที่ 1 หรือสารก่อมะเร็งต่อมนุษย์ ตามระบุของหน่วยงานขององค์การอนามัยโลก (International Agency for Research on Cancer : IARC) Taxell & Santonen, (2017) มลพิษในอนุภาคดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน รวมถึงโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) ซึ่งมีส่วนประกอบนั้นอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงของโรคมะเร็ง ไอเสียดีเซล (ในรูปของเขม่าหรือสารสกัดทางเคมี) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใน DNA ของเซลล์ การเปลี่ยนแปลงประเภทนี้มักจำเป็นต่อการพัฒนาการก่อให้เกิดมะเร็ง การศึกษาวิจัยที่พบว่าการสัมผัสอนุภาคดีเซลเป็นระยะเวลานานและมากเกินไปอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอด Moolgavkar et al., (2015) ; Kim et al., (2018) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการสัมผัสกับมลพิษจากอนุภาคเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อมะเร็งกระเพาะปัสสาวะในผู้ชายที่สัมผัสกับอนุภาคดีเซลเนื่องจากอนุภาคดีเซลมีส่วนประกอบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ได้แก่ สารอะโรมาติกเอมีน (β -naphthylamine, 4-aminobiphenyl, 4-chloro-o-toluidine และ benzidine และ 4,4'-methylenebis(2-chloroaniline)) ซึ่งพบได้ในอุตสาหกรรมเคมี สีย้อม และยาง ตลอดจนในสีย้อมผม สีทาบ้าน สารป้องกันเชื้อรา ควันบุหรี่ พลาสติก โลหะ และไอเสียรถยนต์จากเครื่องยนต์ ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงมะเร็งกระเพาะปัสสาวะสูง แต่ทั้งนี้อาจจำเป็นต้องพิจารณาผู้ที่มีความเสี่ยงจะมีการสัมผัสในปริมาณสูงอนุภาคดีเซลในช่วงระยะเวลา 10 ปีขึ้นไป และอาจจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยส่วนบุคคลในการสูบบุหรี่ที่อาจเป็นปัจจัยร่วมในการก่อให้เกิดมะเร็งกระเพาะปัสสาวะ (Latifovic et al., 2015)

2.6 การตรวจวัดอนุภาคในอากาศ

2.6.1 เครื่องมือตรวจวัดอนุภาค

เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS™) da Silva Fleck et al., (2020) ; TSI Incorporated, (2024) ออกแบบมาเพื่อวัดขนาดและความเข้มข้นของอนุภาคที่ปล่อยออกมาจากไอเสียของรถยนต์และเครื่องยนต์อื่น ๆ มีการใช้เทคนิคการวัดแบบ electrical mobility เป็นการวัดการเคลื่อนที่ไฟฟ้าของอนุภาค มีความละเอียดด้านเวลา อยู่ที่ 10 ค่าต่อวินาที ในช่วง 5.6 - 560 nm วัดแบบเรียลไทม์ ช่วยให้สามารถตรวจจับและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอนุภาคไอเสียได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการวัดของเครื่องมือ

No.	Instrument Name	Measurement Function	Size Range	Referenced
1	EEPS 3090 (TSI Inc.)	Measures Particle size distribution of engine exhaust particles	5.6-560 nm	Bächler et al., (2022)
2	OPC (Palas Promo 2000)	Measures Particle size distribution in the optical range	200-10,000 nm	
3	UCPC 3776 (TSI Inc.)	Measures ultrafine particle concentration	>2.5 nm	
4	PSM A10 & CPC A20 (Airmodus Oy)	Measures particles larger than 1.3 nm	>1.3 nm	
5	ELPI (Dekati Oy)	Measures low pressure impactor particle distribution	7 nm-10 µm	
6	Horiba Mexa-600s opacimeter	Measures black smoke opacity	Opacity measurement	
8	DUST-TRAK 8520 (TSI)	Mass concentration of particles	0.1-10 µm	Jankowska, (2010)
9	P-TRAK 8525 (TSI)	Number concentration of ultrafine particles	0.02-1 µm	
10	GRIMM 1.108	Number concentration of particles	0.4-10 µm	

2.7 วิธีการลดปริมาณมลพิษจากเครื่องยนต์

2.7.1 สารทำความสะอาดหัวฉีด (Injector Cleaners)

ช่วยทำความสะอาดหัวฉีดเชื้อเพลิงและระบบจ่ายเชื้อเพลิง สามารถรักษาและฟื้นฟูประสิทธิภาพการฉีดเชื้อเพลิง ของหัวฉีดที่ใช้มาเป็นระยะเวลานานได้ สารเคมีในสารทำความสะอาดหัวฉีด

1) Polyetheramine (PEA)

เป็นสารทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำความสะอาดหัวฉีดและระบบเชื้อเพลิง มีความสามารถสลายคราบคาร์บอน (Pielecha et al., (2023)

2) Polyisobutylene Amine (PIBA)

ใช้ในสารทำความสะอาดหัวฉีดช่วยลดการสะสมของคราบสกปรกในหัวฉีดและระบบเชื้อเพลิง (Pielecha et al., 2023)

3) Detergents and Dispersants (Shabanov et al., 2020)

สารกลุ่มนี้ช่วยทำความสะอาดและป้องกันการสะสมของคราบสกปรกในระบบเชื้อเพลิง จะถูกผสมในสารทำความสะอาดหัวฉีดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ประโยชน์ของการใช้สารทำความสะอาดหัวฉีด

- ปรับปรุงการฉีดเชื้อเพลิง ทำให้การฉีดเชื้อเพลิงมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- ลดการสะสมของคราบสกปรก ป้องกันการสะสมของคราบคาร์บอนและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ทำให้การทำงานของเครื่องยนต์ลดลง
- เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ลดการสิ้นเปลืองและเสียงรบกวน
- ยืดอายุการใช้งานของหัวฉีด ช่วยยืดอายุการใช้งานของหัวฉีดและระบบเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.4 การทำความสะอาดหัวฉีดแบบถอดและไม่ถอด
(Full-Repair.com, 2012 ; AUTOPROFI, 2024 ; Delphi Technologies, 2024)

วิธีการ	อุปกรณ์ที่ต้องใช้	ขั้นตอน	ข้อดี	ข้อเสีย
ไม่ถอดหัวฉีด (ล้างในระบบ)	น้ำยาทำความสะอาด สะอาดหัวฉีด (Liqui Moly Diesel Purge, STP Diesel Injector Cleaner)	เติมน้ำยาในถังน้ำมัน, สตาร์ทเครื่อง, ปลด ให้ทำงาน 15-20 นาที	ง่ายและ สะดวก, ไม่ ต้องถอด ชิ้นส่วน	ทำความสะอาด ไม่ทั่วถึง, ตรวจสอบสภาพ ไม่ได้
ถอดหัวฉีด (ล้างโดยตรง)	น้ำยาทำความสะอาด สะอาดหัวฉีด (Liqui Moly Pro-Line Diesel System Cleaner, Bluechem Diesel System Cleaner), อ่างอัลตราโซนิก	สตาร์ทเครื่อง, ปิด เครื่อง, ถอดหัวฉีด, แช่ในน้ำยา, ใช้อัลตรา โซนิก, ประกอบกลับ	ทำความสะอาด ทั่วถึง, ตรวจสอบ สภาพได้	ใช้เวลาและความ พยายาม, เสี่ยง เกิดความเสียหาย จากการถอด ประกอบ

2.7.2 ตัวกรองไอเสีย (Catalytic Converter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดมลพิษจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อแปลงสารมลพิษในไอเสียให้เป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย หลักการทำงานของตัวกรองไอเสียประกอบด้วย

1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการลด (Oxidation and Reduction Reactions) ตัวกรองไอเสียจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแพลตินัม (Pt) และพัลลาเดียม (Pd) เพื่อเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) Lu et al., (2020) ปฏิกิริยาการลดตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโรเดียม (Rh) จะใช้ในการลดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ให้เป็นไนโตรเจน (N₂) และออกซิเจน (O₂)

การควบคุมอุณหภูมิ ตัวกรองไอเสียทำงานได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิคงที่เพื่อรักษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Hou et al., (2021) โครงสร้างเซรามิกแบบรังผึ้ง (Honeycomb Ceramic Structure) มีหน้าที่ทำให้พื้นที่ผิวขนาดใหญ่เพื่อให้ไอเสียผ่านไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกเคลือบลงบนพื้นผิวเซรามิก ระบบการตรวจสอบออกซิเจน (Oxygen Sensors) จะตรวจจับและไปสั่งงาน ECU ต่อไป

2) Exhaust Gas Recirculation (EGR)

ระบบหมุนเวียนไอเสีย EGR เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อลดการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และปรับปรุงประสิทธิภาพเชื้อเพลิง หลักการทำงานของระบบ EGR

จะนำไอเสียบางส่วนจากท่อไอเสียกลับเข้าสู่ท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ ไอเสียที่ถูกหมุนเวียนนี้จะผสมกับอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบ Goyal et al., (2020) ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในห้องเผาไหม้ลดลง ช่วยลดอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดและลดการสร้าง NOx การควบคุมการหมุนเวียน Dahham et al., (2014) ปริมาณไอเสียที่ถูกหมุนกลับเข้าสู่ท่อร่วมไอดีถูกควบคุมโดยวาล์ว EGR วาล์วนี้จะเปิดและปิดตามเซ็นเซอร์ (Prakash et al., 2022)

2.7.3 The common rail system

ระบบคอมมอนเรล (Common Rail System) เป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดการปล่อยไอเสีย ระบบคอมมอนเรลช่วยให้เชื้อเพลิงถูกฉีดด้วยความแม่นยำและละเอียด ทำให้เกิดแรงดันเชื้อเพลิงที่สูง ซึ่งถูกควบคุมการฉีดด้วยระบบ ECU ทำให้สามารถปรับการฉีดให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลและเชื้อเพลิงทางเลือก หลักการทำงานของระบบคอมมอนเรล ปั๊มแรงดันสูงจะสร้างแรงดันเชื้อเพลิงและส่งเชื้อเพลิงไปยังรางร่วม (common rail) เซ็นเซอร์แรงดันจะตรวจจับแรงดันในรางร่วมและส่งข้อมูลไปยังหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) เพื่อปรับแรงดันให้เหมาะสม หัวฉีดจะควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงในการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง และรูปแบบการฉีด การเผาไหม้โดยการฉีดเชื้อเพลิงในช่วงเวลาและปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพ (Bai et al., 2021)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 ความเข้มข้นเชิงจำนวนและความเข้มข้นเชิงมวล

งานวิจัยของคุณ Demuynck et al., (2021) ได้ศึกษาความเข้ากันได้ของระบบควบคุมมลพิษขั้นสูงกับเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เพื่อลดก๊าซเรือนกระจก โดยวิธีการดำเนินงานวิจัยได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งระบบบำบัดไอเสีย (LNT และ dual-SCR) วิ่งทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและบนถนนจริง ซึ่งกำหนดให้น้ำมันดีเซล B7 เป็นเชื้อเพลิงอ้างอิงหลักและมีการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของ B7 พบว่ามีคาร์บอน 85.94% ไฮโดรเจน 13.35% และออกซิเจน 0.7% โดยมวล ผลการวิจัยที่สำคัญพบว่าน้ำมัน B7 ให้ค่าความร้อนสูงถึง 42.74 MJ/kg และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงหมุนเวียน (B30 หรือ HVO) จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการปล่อยมลพิษทางไอเสีย (เช่น NOx, PM, PN และ CO) นำไปสู่การอภิปรายผลและข้อสรุปที่ว่าเทคโนโลยีควบคุมมลพิษขั้นสูงในปัจจุบันสามารถทำงานร่วมกับน้ำมัน B7 และเชื้อเพลิงหมุนเวียนอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องดัดแปลงฮาร์ดแวร์ของเครื่องยนต์ แม้ว่าเชื้อเพลิงจะมีออกซิเจนผสมอยู่ก็ตาม งานวิจัยนี้จึงมีข้อเสนอแนะให้ผลักดันและสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียนแบบ DroP-in ในสัดส่วนที่สูงขึ้นร่วมกับยานพาหนะที่มีอยู่ในตลาดได้ทันที เพื่อช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (WTW CO₂) โดยไม่ต้องรอการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีของรถยนต์ใหม่ทั้งหมด

งานวิจัยของคุณ Yang et al., (2022a) ได้ศึกษาตรวจสอบลักษณะการปล่อยมลพิษทั้งในรูปแบบก๊าซและอนุภาคฝุ่น รวมถึงศึกษาอิทธิพลของเชื้อเพลิงผสมต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเร็วเพื่อลดมลพิษในเมืองท่า โดยวิธีการทดลองได้ทำการทดสอบกับเครื่องจักรช่วยของเรือที่แปรผันระดับโหลดและความเร็วรอบ โดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลกัมมะถันต่ำเป็นพิเศษ (BD0) ในสัดส่วนตั้งแต่ 0%, 10%, 30%, 50%, 70%, 90% ไปจนถึง 100% ผลการทดลองพบว่าการใช้ไบโอดีเซลส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเผาไหม้ โดยระยะเวลาการเผาไหม้สั้นลงและมุมเพลวข้อเหวี่ยงเลื่อนล่วงหน้าขึ้นเนื่องจากค่าออกเทนและความเร็วเปลวไฟที่สูงกว่า ในด้านมลพิษพบว่าก๊าซส่วนใหญ่โดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อสัดส่วนไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้จำนวนอนุภาคฝุ่นเพิ่มสูงขึ้น โดยขนาดอนุภาคมีการกระจายตัวแบบยอคเตียวก์พีคสุดที่ 30–75 นาโนเมตร และฝุ่นละออง (PM) ที่ปล่อยออกมาส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนอินทรีย์ (OC) 30–40% คาร์บอนธาตุ (EC) 10–20% ไอออนละลายน้ำ 6–15% รวมถึงธาตุโลหะและสารอื่น ๆ อีก 3–8% จึงสรุปผลได้ว่า ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีความน่าเชื่อถือสูงในการช่วยลดการปล่อยมลพิษจากเครื่องจักรช่วยของเรือในระหว่างจอดเทียบท่า ซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศและสุขภาพของประชาชนในเมืองท่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยของคุณ Giechaskiel et al., (2019) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการวัดค่าการปล่อยอนุภาคฝุ่น (Particle Number Emissions) ระหว่างวิธีวัดผ่านอุโมงค์เจือจางไอเสียแบบเต็มระบบ (Full Dilution Tunnel) กับการวัดโดยตรงที่ท่อไอเสียท้ายรถ (Tailpipe) เพื่อดูความแตกต่างและความถูกต้องของทั้งสองวิธีที่ยังไม่เคยได้รับการประเมินอย่างเพียงพอ โดยวิธีการทดลองได้วัดค่าอนุภาคฝุ่นชนิดแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 23 นาโนเมตร (ตามข้อกำหนดปัจจุบัน) และขนาดใหญ่กว่า 10 นาโนเมตร (ตามข้อกำหนดสำหรับข้อกำหนดในอนาคต) ครอบคลุมเทคโนโลยียานยนต์ทั้งประเภทเครื่องยนต์ดีเซล, เบนซิน และก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) ผลการทดลองพบว่า ความแตกต่างของจำนวนอนุภาคฝุ่นที่วัดจากทั้งสองวิธีนั้นมีน้อยมาก (<15%) ในทั้งสองช่วงขนาด ยกเว้นในช่วงจังหวะการสตาร์ทเครื่องยนต์ขณะเย็น (Cold Start) ที่ความแตกต่างอาจสูงถึง 35% ในบางกรณี ซึ่งจากการประมาณการทางทฤษฎีชี้ว่า การเกาะตัวกันของฝุ่น (Agglomeration) ในท่อส่งผ่านไปยังอุโมงค์เจือจางอาจทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นลดลงได้ถึง 17% ขณะที่การคำนวณอัตราการไหลของไอเสียและการคลาดเคลื่อนของเวลาสัญญาณสามารถสร้างความไม่แน่นอนให้กับการวัดที่ท่อไอเสียท้ายรถได้ประมาณ $\pm 10\%$ และ $\pm 5\%$ ตามลำดับ จึงสรุปผลได้ว่า การเก็บตัวอย่างและวัดค่าจากท่อไอเสียท้ายรถโดยตรง (Tailpipe Sampling) ไม่เพียงแต่มีความเป็นไปได้สูงในทางปฏิบัติเท่านั้น แต่ยังให้ค่าการปล่อยมลพิษที่เป็นตัวแทนตามความเป็นจริง ("Real" Emissions) ของยานยนต์ได้มากกว่า

งานวิจัยของคุณ F. Zhang et al., (2025) ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบของฝุ่นละอองต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของมนุษย์ โดยการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคฝุ่น (Particle size distribution: PSD) จากการระบายไอเสียของกลุ่มยานพาหนะบนท้องถนนจริง เนื่องจากข้อมูลในภาคสนามยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยวิธีการทดลองได้ทำการตรวจวัดค่า PSD จากการปล่อยมลพิษของกลุ่มรถยนต์จริงภายในอุโมงค์ต่อเนื่องเป็นเวลาสองสัปดาห์ และใช้การวิเคราะห์แบบ Positive Matrix Factorization (PMF) เพื่อแยกแยะแหล่งกำเนิดมลพิษ ผลการทดลองพบว่า ค่าปัจจัยการปล่อย (Emission Factor) ของจำนวนอนุภาคฝุ่น (PN) โดยเฉลี่ยของกลุ่มยานพาหนะอยู่ที่ 2.6×10^{14} kg/fuel โดยค่า PSD มีจุดพีคสูงสุดอยู่ในกลุ่มอนุภาคขนาดเล็กเริ่มต้น (Nucleation mode) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนิวเคลียสที่มักก่อตัวภายนอกท่อไอเสียมีบทบาทสำคัญ ยิ่งไปกว่านั้น แม้ความผันแปรของปริมาณฝุ่นในรอบวันจะแปรผันตามปริมาณการจราจร แต่รถยนต์ดีเซลที่ปล่อยมลพิษสูง (โดยเฉพาะรถจากเมืองอื่น) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่า PN และคาร์บอนแบล็ก (Black carbon) พุ่งสูงขึ้นอย่างเด่นชัดในช่วงเวลาที่มีการจราจรเบาบาง และผลการวิเคราะห์ PMF ยังยืนยันอีกว่า มลพิษฝุ่นละอองขนาด PM_{2.5} และ PM₁₀ ส่วนใหญ่หมุนเวียนมาจากแหล่งที่ไม่ใช่การเผาไหม้จากท่อไอเสีย (Non-exhaust emissions) จึงสรุปผลได้ว่า การควบคุมมลพิษทางอากาศในอนาคตจำเป็นต้องมุ่งเน้นการออกข้อบังคับที่เข้มงวดขึ้นกับกลุ่มรถยนต์ที่ปล่อยมลพิษสูง ควบคู่ไปกับการออกมาตรการเพื่อลดฝุ่นละอองขนาดเล็กเริ่มต้น (Nucleation mode) และฝุ่นละอองที่ไม่ได้เกิดจากท่อไอเสีย

2.8.2 องค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยา

งานวิจัยของคุณ Verma et al., (2019) ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงและโหมดการทำงานของเครื่องยนต์ ที่มีต่อสัณฐานวิทยา (Morphology) และโครงสร้างนาโน (Nanostructure) ของอนุภาคเขม่า เพื่อให้เข้าใจกระบวนการเกิดและการออกซิเดชันของเขม่า ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์และการกรองอนุภาคดีเซล โดยวิธีการทดลองได้ทำการแปรผันปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0%, 4.32% ไปจนถึง 6.48% โดยใช้ส่วนผสมดีเซลล้วน และน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล (Butanol Blends) ในสัดส่วน 20% และ 30% ตามลำดับ (โดยปริมาตร) ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น คุณลักษณะของโครงสร้างนาโนของเขม่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความยาวแถบโครงสร้าง (Fringe Length) และระยะห่างการแยก (Separation Distance) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความคดเคี้ยวของแถบโครงสร้าง (Fringe Tortuosity) มีค่าลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางโครงสร้างนาโนเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวกรองอนุภาคดีเซล (DPF) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการฟื้นฟูสภาพตัวกรอง (Regeneration Processes) จึงสรุปผลได้ว่า ปริมาณออกซิเจนจากบิวทานอลผสมส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อโครงสร้างนาโนของเขม่า ซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาการควบคุมมลพิษ อย่างไรก็ตาม การจะนำเชื้อเพลิงผสมเหล่านี้มาใช้จริงในยานยนต์ดีเซลสมัยใหม่ ยังจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยสำคัญอื่น ๆ ควบคู่ไปด้วย เช่น อิทธิพลที่มีต่อมวลและจำนวนการปล่อยอนุภาค, พารามิเตอร์สมรรถนะของเครื่องยนต์ และการปล่อยมลพิษทางก๊าซ

งานวิจัยของคุณ X. Zhang et al., (2020) ได้ศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซล 20% (B20) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Reactivity) ของอนุภาคเขม่าไอเสียที่เกิดขึ้น โดยวิธีการทดลองได้ทำการทดสอบที่ระดับโหลดเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันภายใต้ความเร็วรอบคงที่ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าจากท่อไอเสียของการเผาไหม้ทั้งจากเชื้อเพลิง B20 และดีเซลฟอสซิลปกติ (DF) เพื่อนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและโครงสร้างนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และรามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy) ควบคู่กับการใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) เพื่อวัดความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลการทดลองพบว่า เมื่อโหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เขม่าของทั้ง DF และ B20 จะมีการเกาะกลุ่มที่แน่นขึ้น (More compact) โดยมีอนุภาคปฐมภูมิ (Primary particles) ขนาดใหญ่ขึ้นและมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับพบว่า เขม่าจาก B20 จะเกาะกลุ่มแน่นกว่าเล็กน้อยและมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิที่เล็กกว่าเขม่าจาก DF โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนโครงสร้างนาโน นอกจากนี้ ผลจาก TGA ชี้ว่า เขม่าของ B20 มีอุณหภูมิฟัด อุณหภูมิการเผาไหม้หมด (Burnout temperature) และพลังงานก่อกัมมันต์ปรากฏ (Apparent activation energy) ที่ต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเขม่าจาก B20 มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมี (เผาไหม้ทำลายตัวเอง) ได้ดีกว่าเขม่าจาก DF จึงสรุปผลได้ว่าการผสมไบโอดีเซล B20 ส่งผลให้สัณฐานวิทยาของเขม่าเปลี่ยนไปและช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้สูงขึ้น ซึ่งคุณลักษณะนี้จะช่วยให้คราบเขม่าสามารถถูกเผาทำลายและฟื้นฟูสภาพในระบบบำบัดไอเสียได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.8.3 การวัดส่วนประกอบน้ำมันด้วยเครื่อง GCMS

งานวิจัยของคุณ Sathiyaseelan, (2026) ได้ศึกษาประเมินองค์ประกอบทางโมเลกุล ความบริสุทธิ์ และความสมบูรณ์ทางโครงสร้างของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปลาเหลืองทั้งผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) และ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) การวิเคราะห์ด้วย GC-MS สามารถระบุชนิดของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAMES) ตรวจพบเมทิลเททราเดคาโนเอต (methyl tetradecanoate), เมทิลเอสเทอร์ของกรด 9-เฮกซาเดเซโนอิก (9-hexadecenoic acid methyl ester) ตลอดจน FAMES ของกรดโอโคซาเพนทาอีโนอิก (EPA) และกรดโดโคซาเฮกซาอีโนอิก (DHA) ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวพหุวัฏจักรหลายตำแหน่ง นอกจากนี้ แลพบการดูดกลืนแสงที่เป็นเอกลักษณ์ของหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ($1,745\text{ cm}^{-1}$) สายโซ่อะลิฟาติก ($2,923\text{ cm}^{-1}$ และ $2,853\text{ cm}^{-1}$) และพันธะคู่ ($1,650\text{--}1,600\text{ cm}^{-1}$) ที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิค FTIR สเปกโทรสโกปี ช่วยยืนยันข้อสรุปของการตรวจสอบนี้ ในส่วนของ NMR สเปกโทรสโกปีได้ให้ข้อมูลทางโมเลกุลผ่านสเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ และ $^{13}\text{C-NMR}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมทิลเอสเทอร์ปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่ง 3.6–3.7 ppm และ 51.0–51.8 ppm ในขณะที่ระดับความไม่อิ่มตัวมีความชัดเจนในช่วงตำแหน่ง 127.0–130.0 ppm

งานวิจัยของคุณ Hanny Frans Sangian, (2021) ได้ศึกษาและวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบ รวมถึงพารามิเตอร์สมบัติของเชื้อเพลิงผสมแบบอิมัลชัน (Emulsion fuel) ที่ได้จากการผสมระหว่างไบโอดีเซล เอทานอลแบบมีน้ำเจือปน (Aqueous ethanol) และน้ำมันดีเซล เพื่อสร้างสารละลายอิมัลชันที่มีความเสถียรโดยมีการตรวจสอบช่วงสัดส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ ของการผสมไบโอดีเซล-เอทานอล-น้ำ และ ไบโอดีเซล-ดีเซล-เอทานอล-น้ำ ให้ได้อิมัลชันที่คงตัว (Stable emulsion) รวมถึงวัดค่าพารามิเตอร์เชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมโดยใช้เอทานอลความเข้มข้นสูง (94-97%) เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบและพารามิเตอร์ของเชื้อเพลิงผสม ระหว่างการใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตจาก น้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent : POME) และ น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil Mill Effluent : COME) วิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดีเซลด้วยเครื่อง GC-MS และทดสอบพารามิเตอร์เชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ได้แก่ ความหนาแน่น (Density), ความถ่วงจำเพาะ (SG), API gravity, ความหนืด (Viscosity), ค่าซีเทน (Cetane number) และสมบัติการกลั่น ผลวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (POME) มีกรดไขมันหลักคือ Hexadecanoic Acid และ 9-Octadecenoic Acid (Oleic) ในขณะที่ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (COME) มีสารประกอบหลักคือ Dodecanoic Acid และ Tetradecanoic Acid ในสภาวะอิมัลชันที่เสถียรไบโอดีเซลสามารถทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวได้ดีกว่าเอทานอล ช่วยทำให้เชื้อเพลิงรวมเป็นเนื้อเดียวและเสถียรโดยพบว่ายังใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น (เช่น 97%) จะยังใช้ปริมาณไบโอดีเซลในการผสมน้อยลง อย่างไรก็ตาม แม้สารจะเข้ากันเป็นอิมัลชันที่เสถียร แต่ก็ยังพบว่ามีลักษณะเป็นหยดละอองเล็กๆ (Droplets) กระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอในสารละลาย โดยเฉพาะเมื่อใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นต่ำ (94-95%)

จากงานวิจัยของคุณ Widayat et al., (2023) ความต้องการใช้พลังงานจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ความต้องการพลังงานในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังคงถูกครอบงำโดยพลังงานที่ไม่สามารถหมุนเวียนได้ (Non-renewable energy) ซึ่งการพัฒนาพลังงานทางเลือกจะสามารถช่วยลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิลได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการพัฒนาไบโอดีเซลที่ใช้ไขมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว (Waste cooking oil) เป็นวัตถุดิบ ถือเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่กำลังได้รับการพัฒนาอยู่ในขณะนี้ โดยสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) มาใช้เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้ ในการประเมินส่วนประกอบของ FAME ที่อยู่ในไบโอดีเซลซึ่งผลิตมาจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (Waste cooking oil) จากเทคนิค GCMS สารที่ตรวจพบสารประกอบหลัก ได้แก่ Tetradecanoic acid, methyl ester; Hexadecanoic acid, methyl ester (C17H34O2), 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester (Linoleic, C19H34O2), 9-Octadecenoic acid, methyl ester (Oleic, C19H36O2) และ Octadecanoic acid, methyl ester (C19H38O2) (Widayat et al., 2023) และองค์ประกอบหลักในของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพคือ ซิลิกาออกไซด์ (Silica oxide) ในขณะที่แร่โดโลไมต์ (Dolomite) ประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา MgO-CaO/SiO_2 ที่ได้จากของเสียความร้อนใต้พิภพและแร่โดโลไมต์ในการผลิตไบโอดีเซล ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการทดสอบ FTIR, SEM และ BET บ่งชี้ให้เห็นถึงความสำเร็จของการใช้วิธีการเคลือบฝัง (Impregnation method) ในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา MgO-CaO/SiO_2 ผลการศึกษาตัวแปรที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลคือ การใช้อัตราส่วนของ MgO-CaO ต่อ SiO_2 ที่ 15:85 ซึ่งการแปลงสภาพเป็นไบโอดีเซลโดยใช้ตัวแปรนี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.63 โดยภาพรวมแล้วผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษานี้มีคุณภาพดีและมีความสอดคล้องตามมาตรฐาน SNI 7182-2015