

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุมากกว่า 10 ปี โดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมในอัตราส่วนต่างกัน ได้แก่ B7, B20 และ B30 ภายใต้เงื่อนไขการขับขี่ที่ระดับ ความเร็วต่ำ (50 km/hr) และความเร็วสูง (100 km/hr) ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ส่วนจำแนกตามชนิดน้ำมันที่ใช้ทดสอบ ดังต่อไปนี้

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
- 2) การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค (Particle number concentration and size distribution)
- 3) การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวล (Particle mass concentration and size distribution)
- 4) สัณฐานวิทยาของอนุภาค (morphology)
- 5) องค์ประกอบธาตุ (Element composition)

4.1. อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิง B7

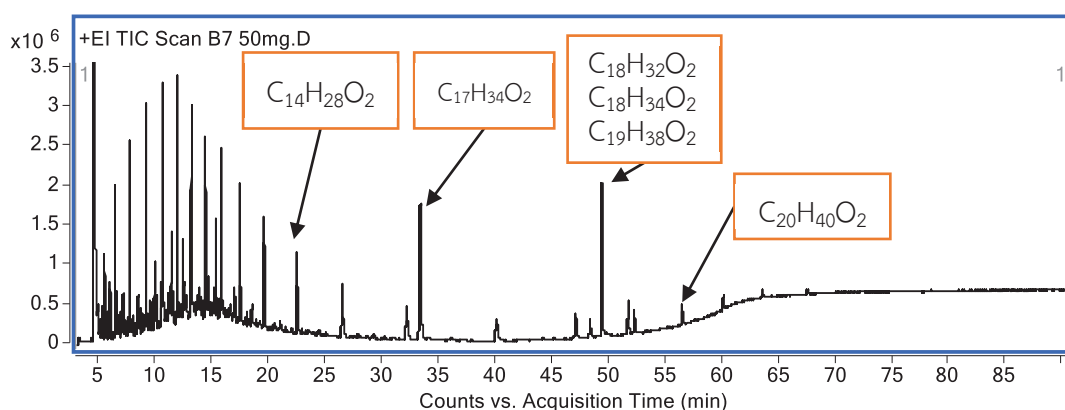
4.1.1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมัน B7

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B7 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผ่านการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบุว่าค่าพารามิเตอร์ทุกตัวสอดคล้องกับข้อกำหนดในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2567 จึงยืนยันได้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวมีคุณภาพตามมาตรฐานและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 4.1 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน B7

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานการทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	ความถี่จำเพาะ	-	0.815-0.880	ASTM D1298	0.845
2	ค่าซีเทน	-	> 48	ASTM D613	58.37
3	ความหนืด	cSt	2.0-5.0	ASTM D445	3.50
4	จุดวาบไฟ	°C	> 52	ASTM D93	80.00

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล B7 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 50 mg เพื่อประเมินสัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์พบว่ามีน้ำมันไบโอดีเซล 7% โดยมาจากการตรวจวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟสารประกอบกลุ่มกรดไขมันและเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Esters; FAME) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของไบโอดีเซล ได้แก่ Tetradecanoic acid ($C_{14}H_{28}O_2$), Hexadecanoic acid ($C_{16}H_{32}O_2$), linoleic acid ($C_{18}H_{32}O_2$), oleic acid ($C_{18}H_{34}O_2$), octadecanoic acid ($C_{18}H_{36}O_2$), และ Eicosanoic acid ($C_{20}H_{40}O_2$) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบส่วนประกอบของน้ำมัน ประเภท B7

4.1.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวน

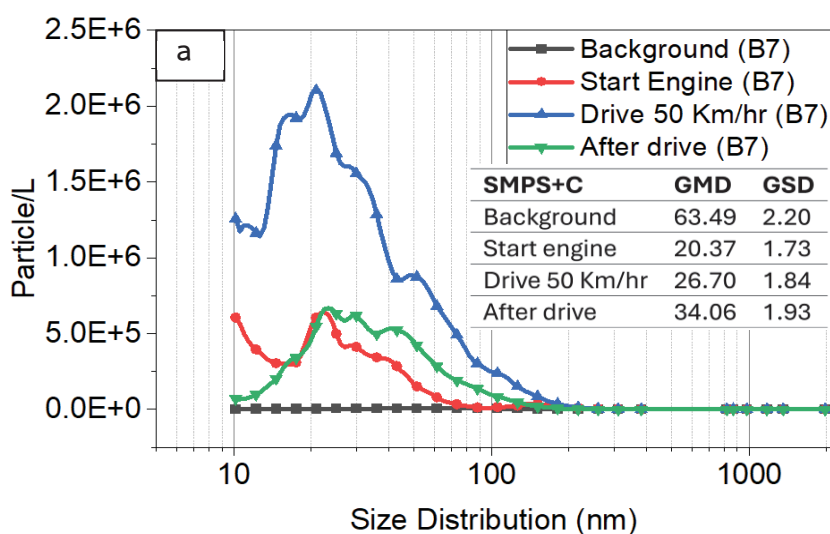
1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกท่อไอเสีย

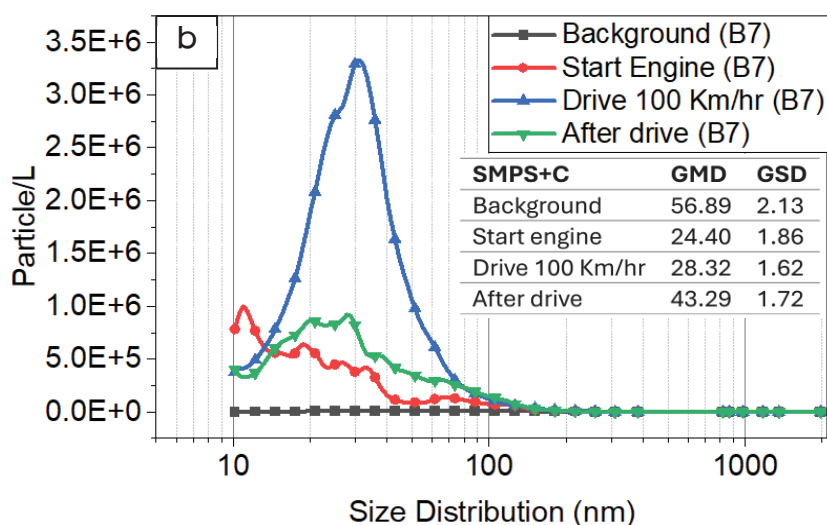
อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสีย (Outside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง Scanning mobility particle sizer with condensation particle counter (SMPS+C) และ Photoelectric aerosol sensor (PAS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 9.03×10^3 particles/cm³ (GMD=63.49 nm, GSD=2.20 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.86×10^5 particles/cm³ (GMD=20.37 nm, GSD=1.73 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr (Drive 50 km/hr) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 2.10×10^6 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 20.91 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ 1.24×10^6 particles/cm³ (GMD=26.70 nm, GSD=1.84 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive)

มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 5.28×10^5 particles/cm³ (GMD=34.06 nm, GSD=1.93) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.2a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับซึ่งทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสียในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 7.67×10^3 particles/cm³ (GMD=56.89 nm, GSD=2.13 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.07×10^5 particles/cm³ (GMD=24.40 nm, GSD=1.86 nm) ในขณะที่ช่วงการขับซึ่งที่ความเร็ว 100 km/hr พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด เท่ากับ 3.33×10^6 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 31.06 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซึ่งเท่ากับ 1.37×10^6 particles/cm³ (GMD=28.32 และ GSD=1.62 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 3.72×10^5 particles/cm³ (GMD=43.29 nm, GSD=1.72 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.2b





รูปที่ 4.2 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกของอนุภาคการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิง B7

- a) อนุภาคภายนอกของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
 b) อนุภาคภายนอกของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

1.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าก่อนการทดสอบ, ขณะติดเครื่องยนต์ และการขับที่ความเร็ว 50 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่หลังการทดสอบ มีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.916	6	9.03E+03	1.74E+03	0.474*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.959	6	3.86E+05	8.01E+04	0.813*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.865	9	1.24E+06	1.66E+05	0.110*
หลังการทดสอบ	0.713	12	5.28E+05	2.10E+05	0.001

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 0.05 พบว่าข้อมูลก่อนการทดสอบและการขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของกระบวนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.894	6	7.67E+03	6.22E+02	0.342*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.714	6	3.07E+05	1.80E+05	0.009
ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr	0.835	9	1.37E+06	3.70E+05	0.051*
หลังการทดสอบ	0.710	12	3.72E+05	1.54E+05	0.001

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายนอกท่อของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์ทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำและความเร็วสูง ไม่มีความแตกต่างกัน (P-value = 0.423) และความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคหลังการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำและความเร็วสูง ไม่มีความแตกต่างกัน (P-value = 0.193) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	3.86E+05	8.01E+04	7.67	11.00	0.423
	ความเร็วสูง	6	3.07E+05	1.80E+05	5.33		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	5.28E+05	2.10E+05	13.92	55.00	0.193
	ความเร็วสูง	12	3.72E+05	1.54E+05	11.08		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายนอกท่อของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำและความเร็วสูง ไม่มีความแตกต่างกัน ($P\text{-value} = 0.481$) และความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคขณะขับขี่ที่ความเร็วต่ำและความเร็วสูง ไม่มีความแตกต่างกัน ($P\text{-value} = 0.755$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	9.03E+03	1.74E+03	1.35E+03	1.84E+03	0.481
	ความเร็วสูง	6	7.68E+03	6.22E+02			
ขับขี่ที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	9	1.24E+06	1.66E+05	1.29E+05	4.06E+05	0.755
	ความเร็วสูง	9	1.37E+06	3.70E+05			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

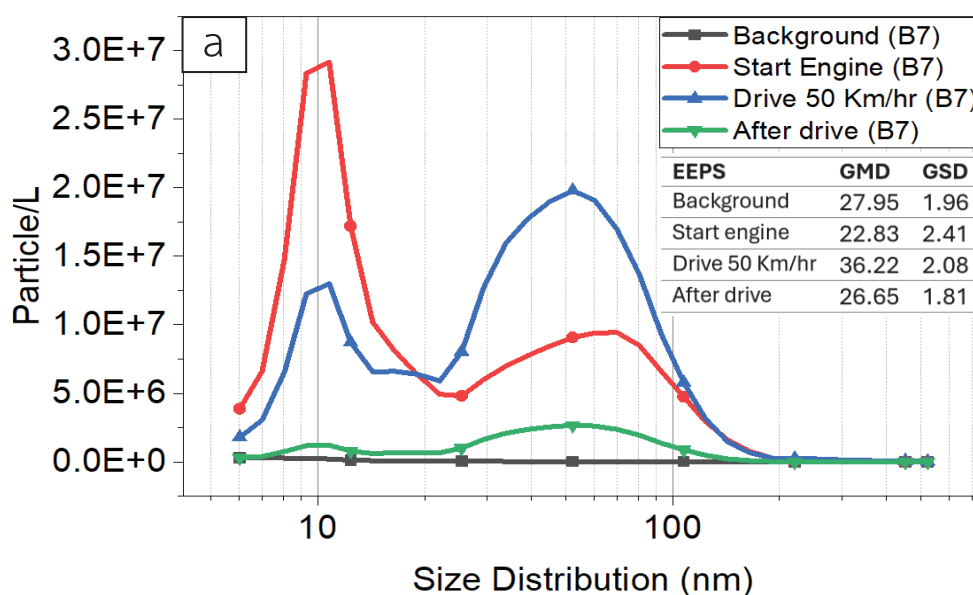
2) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อไอเสีย

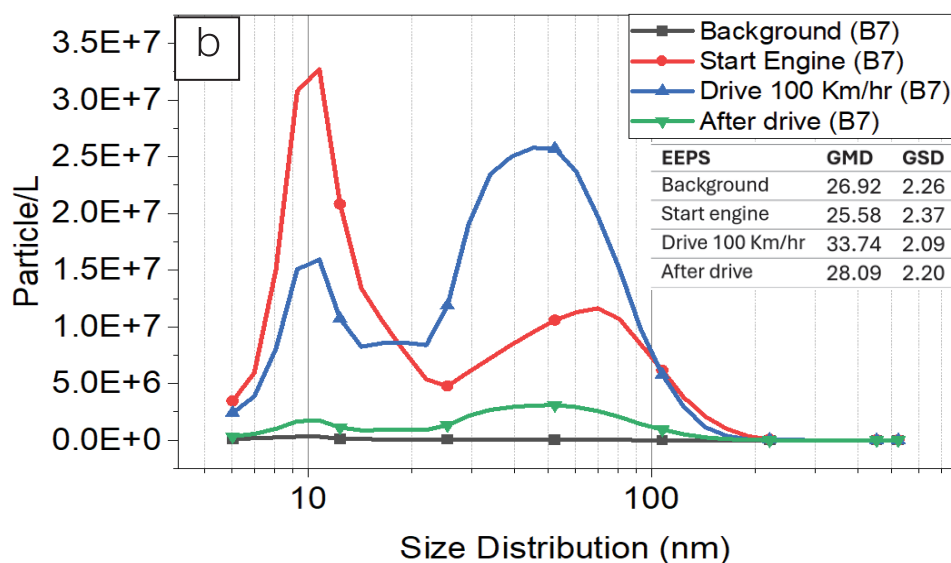
อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย (Inside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ พบว่ามีความเข้มข้นสูงสุด (Peak) อยู่ 2 ช่วง คือ ในช่วงฟิคแรกอยู่ระหว่าง 6-20 nm และในช่วงฟิคที่ 2 อยู่ระหว่าง 25-100 nm

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.24×10^5 particles/cm³ (GMD=27.95 nm, GSD=1.96 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 2.92×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 10.80 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.35×10^7 particles/cm³ (GMD=22.83 nm, GSD=2.41 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 50 Km/hr (Drive 50 Km/hr) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 1.98×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 52.30 nm โดยมีค่าความเข้มข้น

เฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซึ่งเท่ากับ 1.47×10^7 particles/cm³ (GMD=36.22 nm, GSD=2.08 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.84×10^6 particles/cm³ (GMD=26.65 nm, GSD=1.81 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.3a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับซึ่ง ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย ในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.38×10^5 particles/cm³ (GMD=26.92 nm, GSD=2.26 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดเท่ากับ 3.27×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 10.8 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.55×10^7 particles/cm³ (GMD=25.58 nm, GSD=2.37 nm) ในขณะในช่วงการขับซึ่งที่ความเร็ว 100 Km/hr พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด เท่ากับ 2.58×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 45.3 nm โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซึ่งเท่ากับ 1.87×10^7 particles/cm³ (GMD=33.74 nm, GSD=2.09 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 2.26×10^6 particles/cm³ (GMD=28.09 nm, GSD=2.20 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.3b





รูปที่ 4.3 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B7

- a) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

2.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์, ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr และหลังการทดสอบ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลก่อนการทดสอบมีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.821	6	1.24E+05	2.48E+04	0.091*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.768	6	1.35E+07	2.78E+06	0.030
ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr	0.766	9	1.47E+07	8.76E+05	0.008
หลังการทดสอบ	0.599	12	1.85E+06	9.80E+05	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์, ขับที่ความเร็ว 100 km/hr และหลังการทดสอบ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ก่อนการทดสอบ มีการกระจายตัวไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.771	6	1.38E+05	5.44E+03	0.031
ขณะติดเครื่องยนต์	0.902	6	1.55E+07	2.68E+06	0.384*
ขับที่ความเร็ว 100 km/hr	0.894	9	1.87E+07	1.50E+06	0.220*
หลังการทดสอบ	0.597	12	3.68E+05	1.55E+05	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับที่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำ มีความเข้มข้นแตกต่างกับก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 (P -value=**0.006***) โดยความเข้มข้นเชิงจำนวนของสภาวะความเร็วสูง(1.38×10^5 particles/cm³) มีค่ามากกว่าที่สภาวะความเร็วต่ำ

ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนขับที่ความเร็วตามสภาวะความเร็วต่ำ มีความเข้มข้นแตกต่างกับสภาวะความเร็วสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 (P -value=0.047*) โดยความเข้มข้นเชิงจำนวนของสภาวะความเร็วสูง(1.87×10^7 particles/cm³) มีค่ามากกว่าที่สภาวะความเร็วต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	1.24E+05	2.48E+04	5.50	12.00	0.006*
	ความเร็วสูง	6	1.38E+05	5.44E+03	7.50		
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1.35E+07	2.78E+06	6.17	16.00	0.423
	ความเร็วสูง	6	1.55E+07	2.68E+06	6.83		
ขับขึ้นที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	9	1.47E+07	8.76E+05	6.44	13.00	0.047*
	ความเร็วสูง	9	1.87E+07	1.50E+06	12.56		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	1.85E+06	9.80E+05	13.00	66.00	0.193
	ความเร็วสูง	12	3.68E+05	1.55E+05	12.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

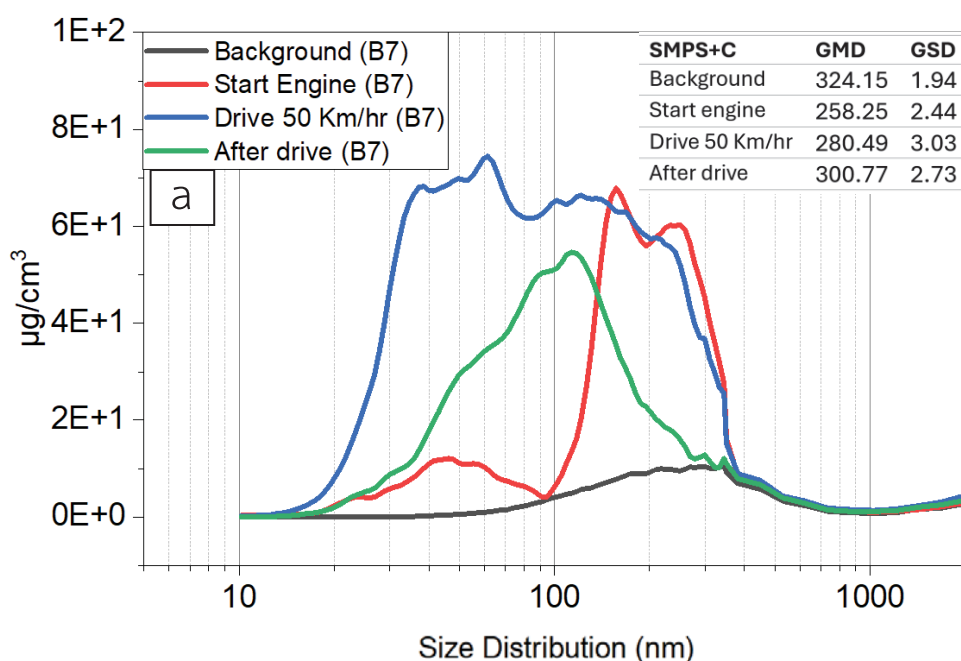
4.1.2. การวิเคราะห์การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวล

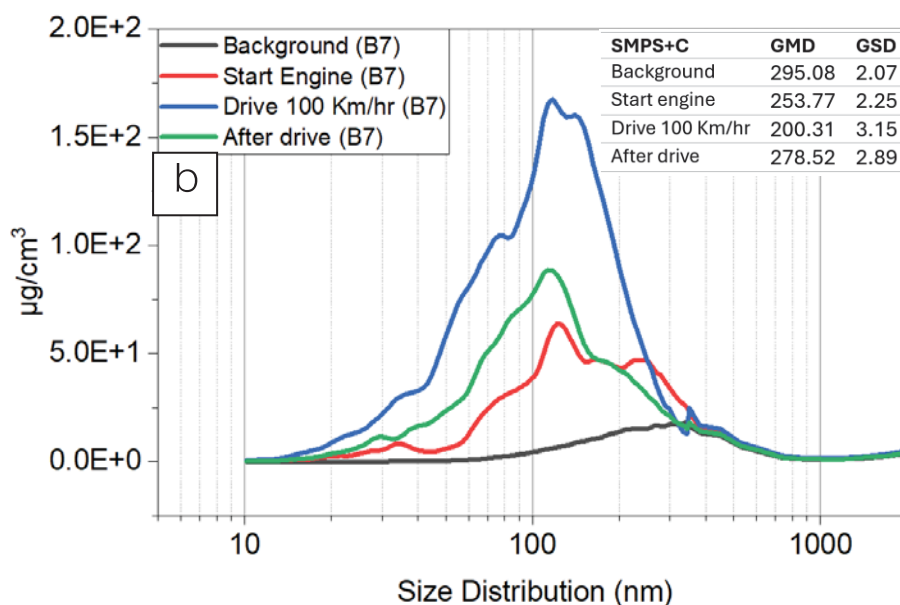
1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขึ้นทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสีย (Outside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง Scanning mobility particle sizer with condensation particle counter (SMPS+C) และ Photoelectric aerosol sensor (PAS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ 13.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=324.15 nm, GSD=1.94 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=258.25 nm, GSD=2.44 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr (Drive 50 km/hr) พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 74.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 61.53 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขึ้นเท่ากับ 184.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=280.49 nm, GSD=3.03 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ 39.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=300.77 nm, GSD=2.73 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.4a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสียในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $8.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=295.08 nm, GSD=2.07 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $40.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=253.77 nm, GSD=2.25 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด เท่ากับ $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 117.57 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ $108.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=200.31 nm, GSD=3.15 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $56.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=278.52 nm, GSD=2.89 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.4b





รูปที่ 4.4 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลนอกท่อไอเสียของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B7

- a) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

1.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับขึ้นที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบมีการกระจายตัวแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์, ขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
สภาวะการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.898	6	8.82	0.59	0.363*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.774	6	40.23	18.41	0.034
ขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr	0.794	9	108.36	32.54	0.018
หลังการทดสอบการขับขึ้น	0.732	12	56.24	17.93	0.002

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงมวล โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลก่อนการทดสอบ, ขณะติดเครื่องยนต์ และการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลหลังการทดสอบมีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
สภาวะการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.917	6	13.90	0.68	0.484*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.814	6	47.81	15.64	0.079*
ขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr	0.908	9	184.63	28.18	0.303*
หลังการทดสอบ	0.781	12	93.11	26.83	0.006

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายนอกท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนการขับขึ้น มีความเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr มีความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $184 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่ความเร็ว 50 km/hr (P-value = 0.047*) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	40.23	18.41	7.33	13.00	0.423
	ความเร็วสูง	6	47.81	15.64	5.67		
ขับขึ้นที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	9	108.36	32.54	12.00	18.00	0.047*
	ความเร็วสูง	9	184.63	28.18	7.00		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	56.24	17.93	14.63	46.50	0.141
	ความเร็วสูง	12	93.11	26.83	10.38		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายนอกท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำมีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.000^*$) โดยความเข้มข้นเชิงมวลที่สภาวะความเร็วสูงเฉลี่ยเท่ากับ $13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่ความเร็วต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test						
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE. value
			Mean	SD		
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	8.82	0.59	5.076	0.903
	ความเร็วสูง	6	13.9	0.68		

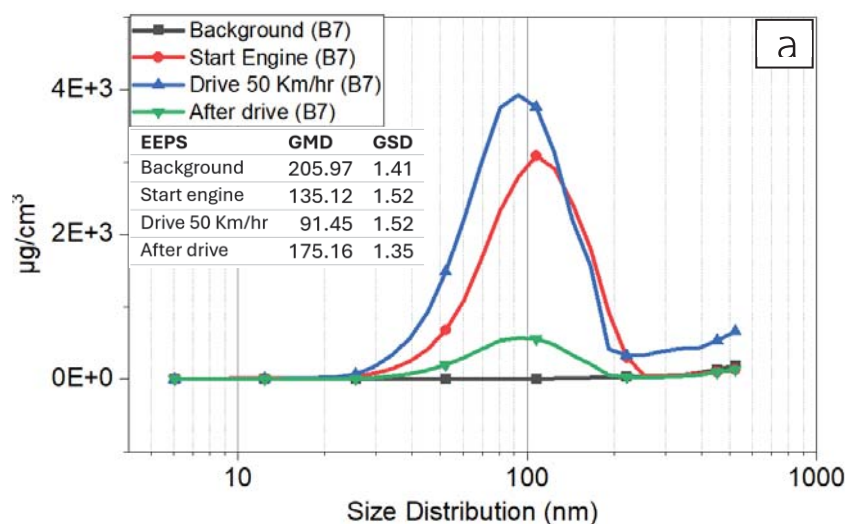
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

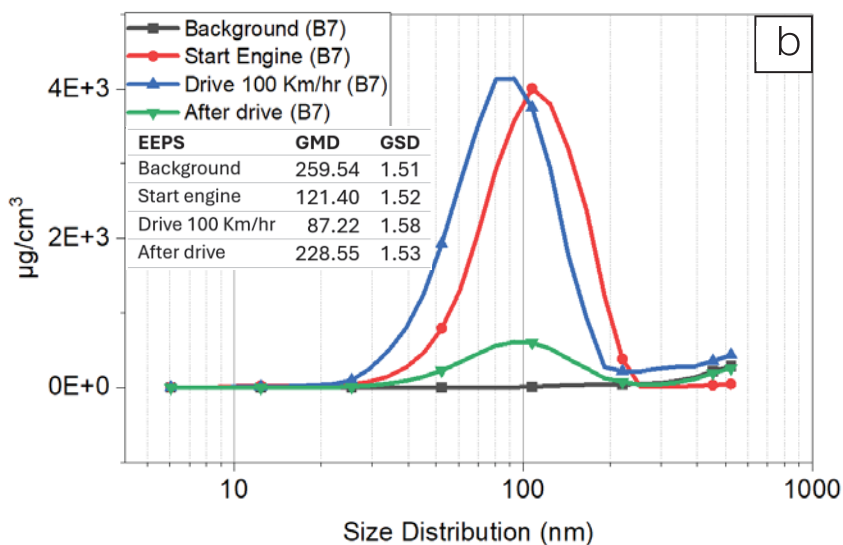
2) การตรวจวัดอนุภาคเชิงมวลภายในท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย (Inside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $44.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=205.97 nm, GSD=1.41 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1,346.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=135.12 nm, GSD=1.52 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 50 Km/hr (Drive 50 Km/hr) พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ $3,923.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 93.10 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ $2,644.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=91.45 nm, GSD=1.52 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $274.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=175.16 nm, GSD=1.35 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.5a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย ในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $67.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=259.51 nm, GSD=1.51 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $1,686.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=121.40 nm, GSD=1.52 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 100 Km/hr พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด เท่ากับ $4,145.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 93.1 nm โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่ เท่ากับ $1,952.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=87.22 nm, GSD=1.58 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $329.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=228.55 nm, GSD=1.53 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.5b





รูปที่ 4.5 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B7

- a) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

2.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคภายในท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบและขณะติดเครื่องยนต์มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบการขับที่ความเร็ว 50 km/hr และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.899	6	67.18	4.63	0.370*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.933	6	1686.67	127.61	0.604*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.723	9	1952.59	76.74	0.003
หลังการทดสอบ	0.623	12	329.56	150.30	0.000

หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงมวล โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบและขณะติดเครื่องยนต์มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.776	6	44.34	13.30	0.102*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.707	6	1346.48	263.25	0.370*
ขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr	0.609	9	2644.71	654.54	0.000
หลังการทดสอบ	0.593	12	274.13	146.05	0.000

หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนขับขึ้นที่ความเร็วและหลังการทดสอบ ตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test						
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test
			Mean	SD		
ขับขึ้นที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	9	1952.59	76.74	7.78	25.00
	ความเร็วสูง	9	2644.71	654.54	11.22	
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	329.56	150.3	10.08	43.00
	ความเร็วสูง	12	274.13	146.05	14.92	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.136^*$) และในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์การทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.272^*$) ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

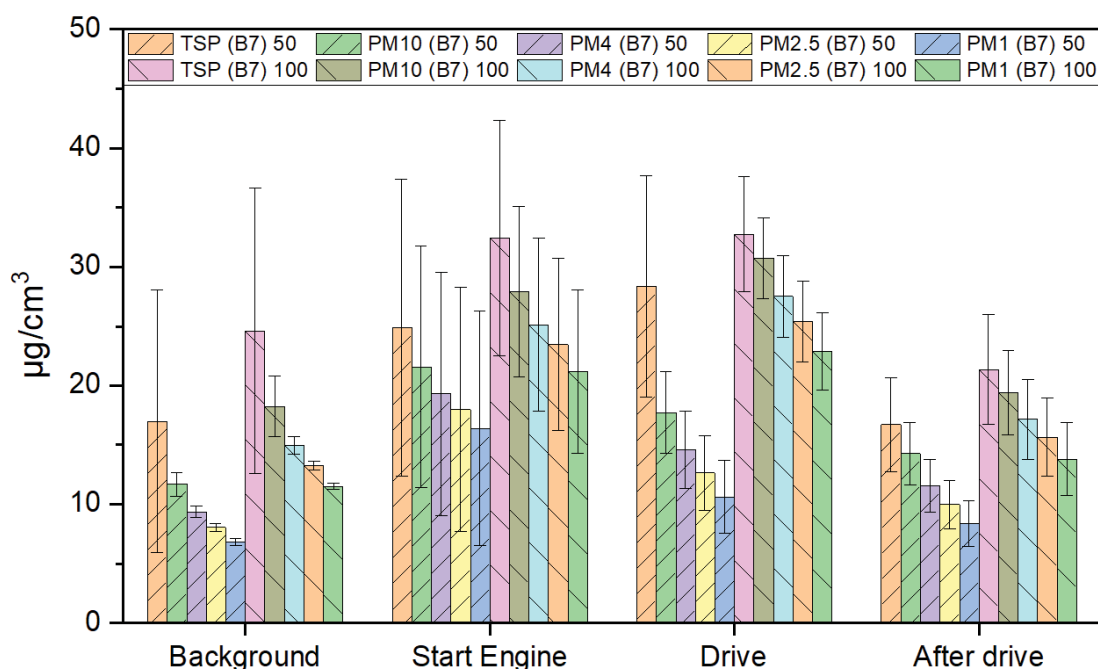
การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE.	$P\text{-value}$
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	67.18	4.63	22.838	14.082	0.136
	ความเร็วสูง	6	44.34	13.3			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1686.67	127.61	340.193	292.546	0.272
	ความเร็วสูง	6	1346.48	263.25			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2) การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) และด้านอาชีพอนามัย (Occupational Parameters)

ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำดังตารางทดสอบที่ 3.10 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบ พบว่าปริมาณอนุภาคมีลำดับความเข้มข้นเชิงมวลจากมากไปน้อยดังนี้ TSP, PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} และ PM₁ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start Engine) นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ $24.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ $21.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ $19.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ $17.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ $16.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลลดลงโดยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ $28.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ $17.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ $14.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ $12.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ $10.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูงดังตารางทดสอบที่ 3.11 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบ พบว่าปริมาณอนุภาคมีลำดับความเข้มข้นเชิงมวลจากมากไปน้อยดังนี้ TSP, PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} และ PM₁ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการขับที่ความเร็ว 100 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดโดยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ 32.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ 30.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ 27.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ 25.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ 22.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

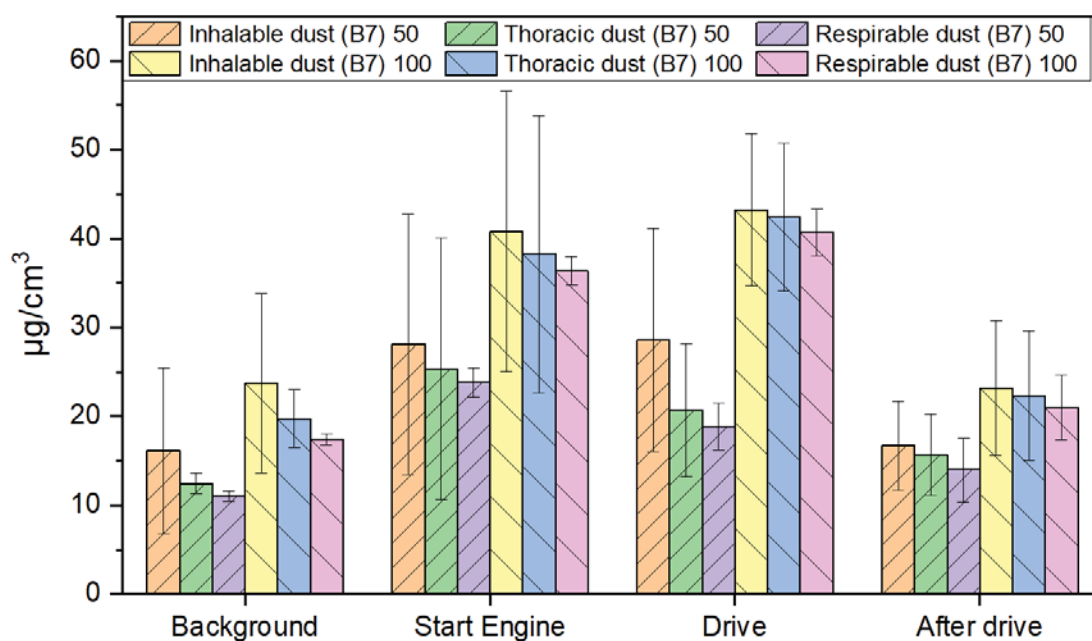


รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental parameters) ของน้ำมัน B7

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีวอนามัย (Occupational parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำดังตารางทดสอบที่ 3.10 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบสูงที่สุดคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ (Inhalable dust) รองลงมาคือพารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (Thoracic dust) และต่ำที่สุดคือพารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด (Respirable dust) ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการขับที่ความเร็ว 50 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ 28.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ

อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $20.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $18.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพน้ำมัน พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูงดังตารางทดสอบที่ 3.11 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบสูงที่สุดคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ รองลงมาคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และต่ำที่สุดคือพารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด ตามลำดับ โดยในทุกกระบวนการทดสอบพบแนวโน้มในลักษณะคล้ายกัน อย่างไรก็ตามในมุมมองของกระบวนการทดสอบทั้ง 4 กระบวนการจะพบว่า กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $43.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $42.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $40.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพน้ำมัน (Occupational Parameters) ของน้ำมัน B7

*หมายเหตุ รูปที่ 4.6 และ 4.7 ตัวเลข 50 คือ การทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ ดังตารางทดสอบที่ 3.10 และ ตัวเลข 100 คือ การทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง ดังตารางทดสอบที่ 3.11

2.3) ทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นเชิงมวลด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) และด้านอาชีวอนามัย (Occupational Parameters)

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าทุกพารามิเตอร์ของการตรวจวัดมีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.17 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ โดยจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	เข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
Environmental Parameters					
TSP	0.986	6	28.34	9.32	0.978*
PM10	0.870	6	17.74	3.44	0.227*
PM4	0.849	6	14.59	3.25	0.156*
PM2.5	0.826	6	12.61	3.15	0.100*
PM1	0.818	6	10.62	3.08	0.085*
Occupational Parameters					
Inhalable dust	0.943	6	28.57	12.53	0.684*
Thoracic dust	0.894	6	20.69	7.47	0.337*
Respirable dust	0.871	6	18.83	2.62	0.229*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าทุกพารามิเตอร์ของการตรวจวัดมีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.18 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ โดยจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
Environmental Parameters					
TSP	0.674	6	32.73	4.87	0.063*
PM10	0.942	6	30.71	3.38	0.672*
PM4	0.881	6	27.51	3.41	0.274*
PM2.5	0.864	6	25.4	3.42	0.203*
PM1	0.905	6	22.88	3.23	0.404*
Occupational Parameters					
Inhalable dust	0.808	6	43.18	8.54	0.069*
Thoracic dust	0.849	6	42.43	8.32	0.155*
Respirable dust	0.827	6	40.67	2.62	0.101*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่า พารามิเตอร์ PM10, PM4, PM2.5, PM1, Inhalable dust, Thoracic dust และ Respirable dust มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr แตกต่างจากกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย PM10 ($P\text{-value} = 0.000^*$) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $30.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $17.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$

PM4 ($P\text{-value} = 0.000^*$) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $27.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $14.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$

PM2.5 ($P\text{-value} = 0.000^*$) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $25.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $12.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$

PM1 ($P\text{-value} = 0.000^*$) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $22.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $10.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Inhalable dust ($P\text{-value} = 0.038^*$) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $43.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $28.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Thoracic dust (P -value = 0.000*) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $42.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $20.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Respirable dust (P -value = 0.000*) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $40.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $18.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อโดยแบ่งตามพารามิเตอร์ ระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
parameter	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิง มวล (µg/m³)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
Environmental Parameters							
TSP	50 km/hr	6	28.34	9.32	4.39	4.45	0.543
	100 km/hr	6	32.73	4.87			
PM10	50 km/hr	6	17.74	3.44	12.97	0.06	0.000*
	100 km/hr	6	30.71	3.38			
PM4	50 km/hr	6	14.59	3.25	12.92	0.16	0.000*
	100 km/hr	6	27.51	3.41			
PM2.5	50 km/hr	6	12.61	3.15	12.79	0.27	0.000*
	100 km/hr	6	25.40	3.42			
PM1	50 km/hr	6	10.62	3.08	12.26	0.15	0.000*
	100 km/hr	6	22.88	3.23			
Occupational Parameters							
Inhalable dust	50 km/hr	6	28.57	12.53	14.61	3.99	0.038*
	100 km/hr	6	43.18	8.54			
Thoracic dust	50 km/hr	6	20.69	7.47	21.74	0.85	0.000*
	100 km/hr	6	42.43	8.32			
Respirable dust	50 km/hr	6	18.83	2.62	21.84	0.00	0.000*
	100 km/hr	6	40.67	2.62			

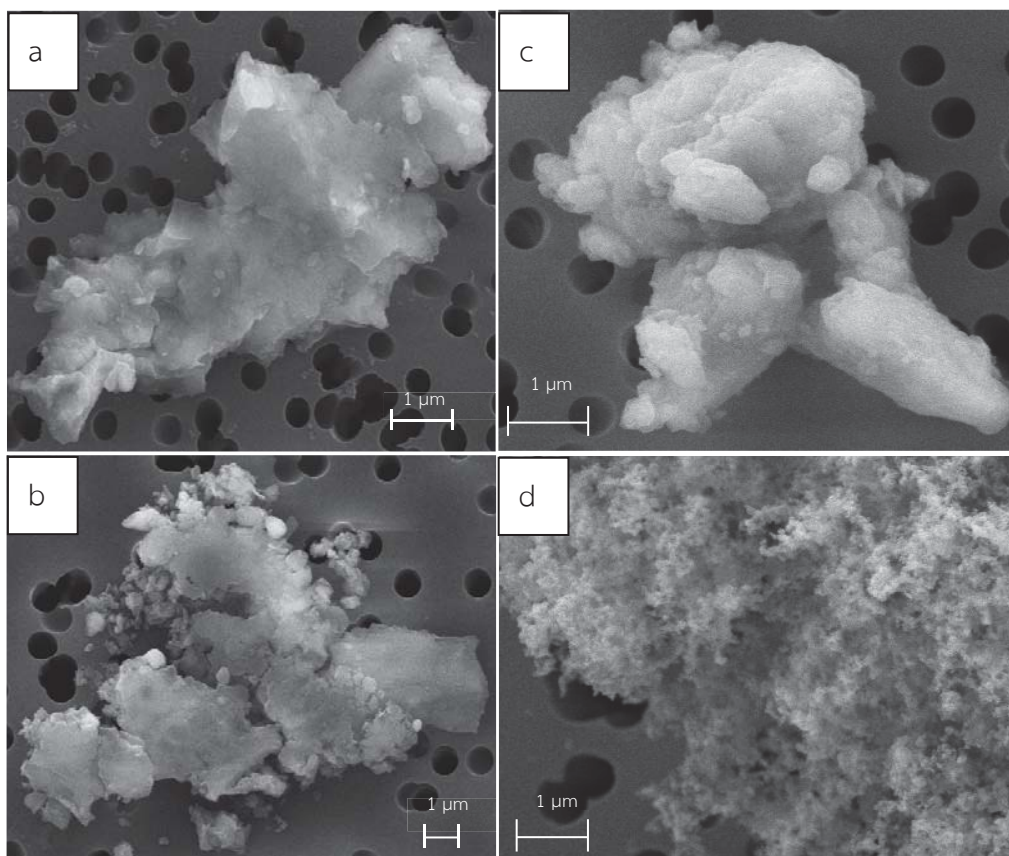
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาค

3.1) สัณฐานวิทยาของอนุภาค

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาค ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงไบโอดีเซล B7 อนุภาคฝุ่นมีขนาด 10–80 nm ลักษณะเป็นก้อนรวมตัว (Agglomerates) ขนาดค่อนข้างใหญ่ รูปร่างไม่สม่ำเสมอ และมีผิวค่อนข้างหยาบ อนุภาคขนาดเล็กหลายขนาดเกาะรวมกันเป็นโครงสร้างที่บึกบึน แสดงถึงการควบแน่นและการรวมตัวของอนุภาคที่เกิดขึ้นได้ดี ในสภาวะการเผาไหม้และการไหลที่ไม่รุนแรง ส่งผลให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดเชิงสมมูล (Equivalent size) ค่อนข้างใหญ่ และมีความพรุนภายในต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เมื่อเพิ่มความเร็ว พบว่าอนุภาคฝุ่นมีลักษณะเปลี่ยนเป็น โครงสร้างแบบแฟร็กทัล (Fractal-like aggregates) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายที่โปร่งและซับซ้อนมากขึ้น ผิวมีลักษณะละเอียดและฟู (Fluffy structure) การก่อก้อนของอนุภาคปฐมภูมิที่สูงขึ้น และแรงเฉือนของการไหลที่มากขึ้นทำให้การรวมตัวเป็นก้อนที่ลดลง ส่งผลให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง แต่มีพื้นที่ผิวสูงขึ้น



รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาภายนอกของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมัน B7

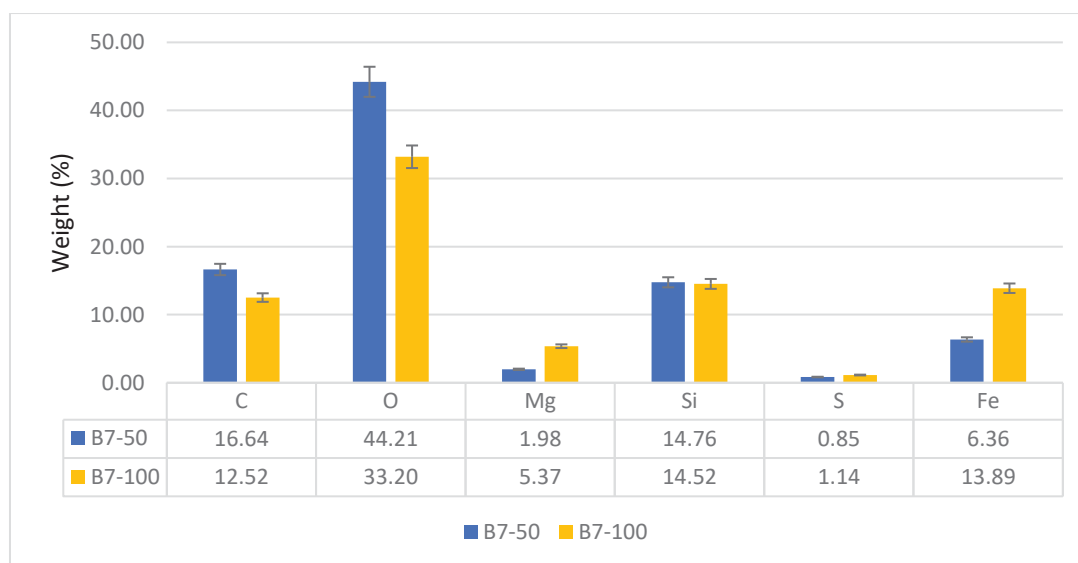
- a) ความเร็ว 50 km/hr กำลังขยาย 5,000 เท่า b) ความเร็ว 100 km/hr กำลังขยาย 5,000 เท่า
c) ความเร็ว 50 km/hr กำลังขยาย 10,000 เท่า d) ความเร็ว 100 km/hr กำลังขยาย 10,000 เท่า

3.2) องค์ประกอบธาตุของอนุภาค

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง B7 ภายใต้สภาวะการขับที่ความเร็ว 50 และ 100 km/h พบว่า องค์ประกอบหลักประกอบด้วย O, C, Si และ Fe

ที่ความเร็ว 50 km/h พบว่าออกซิเจนมีสัดส่วนสูงที่สุด 44.21% รองลงมาคือคาร์บอน 16.64% ซิลิกอน 14.76% และเหล็ก 6.36% ตามลำดับ ขณะที่ธาตุรอง ได้แก่ แมกนีเซียม 1.98% กำมะถัน 0.85% และคลอรีน 1.01% พบในปริมาณค่อนข้างต่ำ เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 100 km/h พบว่าออกซิเจนยังคงเป็นองค์ประกอบหลัก 33.20% แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับความเร็วต่ำ เช่นเดียวกับคาร์บอน 12.52% ในทางตรงกันข้าม เหล็กเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็น 13.89% และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 5.37% ขณะที่ซิลิกอนมีค่าใกล้เคียงเดิม 14.52% ส่วนกำมะถัน 1.14% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบธาตุระหว่างความเร็ว 50 และ 100 km/h พบว่าคาร์บอน (C) ลดลง 0.75 เท่า และออกซิเจน (O) ลดลง 0.75 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็ว 50 km/h ขณะที่ซิลิกอน (Si) มีค่าใกล้เคียงเดิม (0.98 เท่า) ในทางตรงกันข้าม ธาตุบางชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะความเร็วสูง โดยเหล็ก (Fe) เพิ่มขึ้นเป็น 2.18 เท่า และแมกนีเซียม (Mg) เพิ่มขึ้นเป็น 2.71 เท่า นอกจากนี้กำมะถัน (S) เพิ่มขึ้นเป็น 1.34 เท่า แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 องค์ประกอบธาตุภายนอกท่อจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ไบโอดีเซล B7

3.3) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลขององค์ประกอบธาตุ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ขององค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B7 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าการกระจายตัวข้อมูลของธาตุ C, O, Mg, Si, S และ Fe มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.20 การทดสอบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		P-value
			Mean	SD	
C	0.93	3	16.64	6.138	0.478*
O	0.93	3	44.21	16.27	0.479*
Mg	0.87	3	1.977	1.734	0.304*
Si	0.99	3	14.76	12.56	0.777*
S	0.96	3	0.843	0.572	0.612*
Fe	0.94	3	6.360	5.780	0.529*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ขององค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันประเภท B7 ภายใต้การจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลของธาตุ C, O, Mg, Si, S, และ Fe มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.18 แสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.21 การทดสอบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B7

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		P-value
			Mean	SD	
C	0.94	3.000	12.52	4.481	0.520*
O	0.94	3.000	33.20	11.99	0.537*
Mg	0.82	3.000	5.370	6.241	0.162*
Si	0.96	3.000	14.53	4.083	0.639*
S	0.80	3.000	1.140	1.553	0.117*
Fe	0.79	3.000	13.887	16.305	0.097*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุโดยใช้สถิติ Independent T-Test พบว่า องค์ประกอบธาตุได้แก่ ธาตุ C, O, Mg, Si, S และ Fe ของการขับขีที่ความเร็ว 50 km/hr ไม่มีความแตกต่างกับองค์ประกอบธาตุของการขับขีที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B7 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
พารามิเตอร์	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
C	50 km/hr	3	16.64	6.14	4.12	1.66	0.400
	100 km/hr	3	12.52	4.48			
O	50 km/hr	3	44.21	16.27	11.01	4.28	0.399
	100 km/hr	3	33.20	11.99			
Mg	50 km/hr	3	1.98	1.73	3.39	4.51	0.416
	100 km/hr	3	5.37	6.24			
Si	50 km/hr	3	14.76	12.56	0.23	8.48	0.977
	100 km/hr	3	14.53	4.08			
S	50 km/hr	3	0.84	0.57	0.3	0.98	0.772
	100 km/hr	3	1.14	1.55			
Fe	50 km/hr	3	6.36	5.78	7.53	10.53	0.493
	100 km/hr	3	13.89	16.31			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.2. อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิง B20

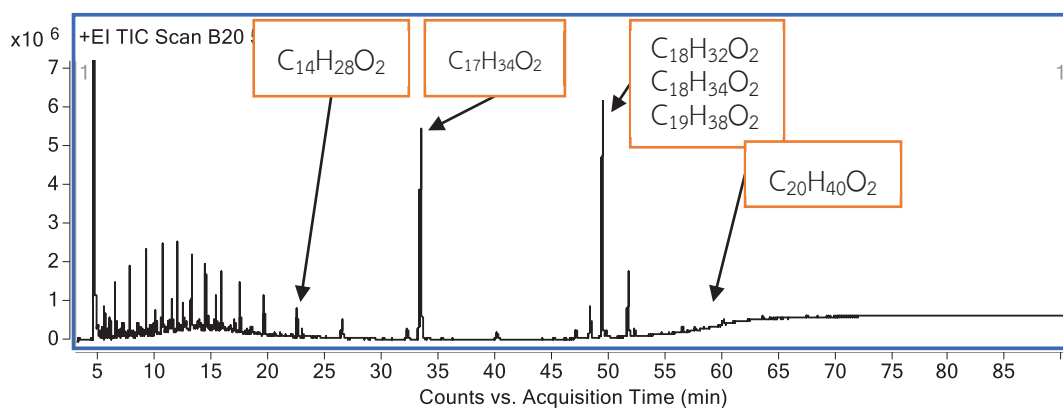
4.2.1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมัน B20

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B20 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผ่านการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบระบุว่าค่าพารามิเตอร์ทุกตัวสอดคล้องกับข้อกำหนดในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2567 น้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวมีคุณภาพตามมาตรฐานและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 4.23 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน B20

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานการทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	ความถ่วงจำเพาะ	-	0.815-0.880	ASTM D1298	0.855
2	ค่าซีเทน	-	> 48	ASTM D613	60.38
3	ความหนืด	cSt	2.0-5.0	ASTM D445	3.50
4	จุดวาบไฟ	°C	> 52	ASTM D93	85.00

คุณสมบัติทางกายเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล B20 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 50 mg เพื่อประเมินสัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันประกอบด้วยดีเซลพื้นฐาน (B0) 20% และไบโอดีเซล 80% โดยการตรวจวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบกลุ่มกรดไขมันและเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Esters; FAME) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของไบโอดีเซล ได้แก่ Tetradecanoic acid ($C_{14}H_{28}O_2$), Hexadecanoic acid ($C_{17}H_{34}O_2$), linoleic acid ($C_{18}H_{32}O_2$), oleic acid ($C_{18}H_{34}O_2$), octadecanoic acid ($C_{19}H_{38}O_2$), และ Eicosanoic acid ($C_{20}H_{40}O_2$) ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบส่วนประกอบของน้ำมันประเภท B20

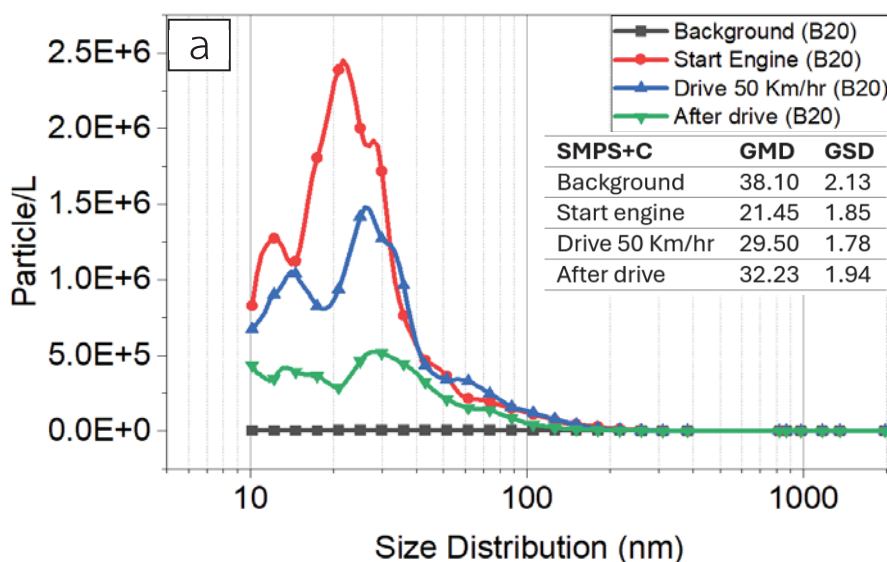
4.2.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวน

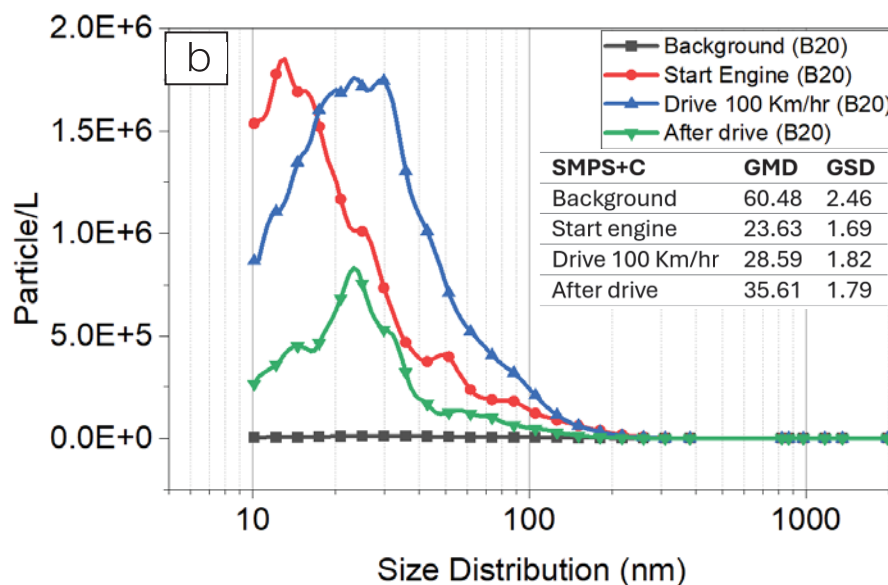
1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับซี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสีย (Outside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง Scanning mobility particle sizer with condensation particle counter (SMPS+C) และ Photoelectric aerosol sensor (PAS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 9.66×10^3 particles/cm³ (GMD=38.10 nm, GSD=2.13 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.61×10^5 particles/cm³ (GMD=21.45 nm, GSD=1.85 nm) ในขณะที่ช่วงการขับซี้ที่ความเร็ว 50 km/hr (Drive 50 km/hr) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 1.48×10^6 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 25.95 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซี้เท่ากับ 1.13×10^6 particles/cm³ (GMD=29.50 nm, GSD=1.78 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 3.81×10^5 particles/cm³ (GMD=32.23 nm, GSD=1.94 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.11a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับซี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสียในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 6.44×10^3 particles/cm³ (GMD=60.48 nm, GSD=2.46 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.04×10^6 particles/cm³ (GMD=23.63 nm, GSD=1.69 nm) ในขณะที่ช่วงการขับซี้ที่ความเร็ว 100 km/hr พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด เท่ากับ 1.76×10^6 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 23.29 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซี้เท่ากับ 7.45×10^5 particles/cm³ (GMD=28.59 และ GSD=1.82 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 3.19×10^5 particles/cm³ (GMD=35.61 nm, GSD=1.79 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.11b





รูปที่ 4.11 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคภายนอกท่อจากการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิง B20

- a) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

1.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะขณะติดเครื่องยนต์และขับที่ความเร็ว 50 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.689	6	6.44E+03	1.30E+03	0.005
ขณะติดเครื่องยนต์	0.989	6	1.04E+06	1.65E+05	0.986*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.882	9	7.45E+05	1.43E+05	0.164*
หลังการทดสอบ	0.652	12	3.19E+05	1.37E+05	0.000

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงจำนวน โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบ, ขณะติดเครื่องยนต์ และขับที่ความเร็ว 50 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.898	6	9.66E+03	8.28E+02	0.362*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.886	6	8.61E+05	5.19E+04	0.297*
ขับที่ความเร็ว 100 km/hr	0.901	9	1.13E+06	1.90E+05	0.257*
หลังการทดสอบ	0.453	12	3.81E+05	2.85E+05	0.000

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายนอกท่อ ของการขับที่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P-value = 0.055) และในขั้นตอนหลังการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P-value = 0.074) ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	6.44E+03	1.30E+03	8.50	6.00	0.055
	ความเร็วสูง	6	9.66E+03	8.28E+02	4.50		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	3.19E+05	1.37E+05	9.36	37.00	0.074
	ความเร็วสูง	12	3.81E+05	2.85E+05	14.42		

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P -value = 0.324) และในขั้นตอนขับขี่ที่ความเร็วตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P -value = 0.128) ดังแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Difference	SE.	P -value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1.04E+06	1.65E+05	1.80E+05	1.73E+05	0.324
	ความเร็วสูง	6	8.61E+05	5.19E+04			
ขับขี่ที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	6	7.45E+05	1.43E+05	3.82E+05	2.38E+05	0.128
	ความเร็วสูง	6	1.13E+06	1.90E+05			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

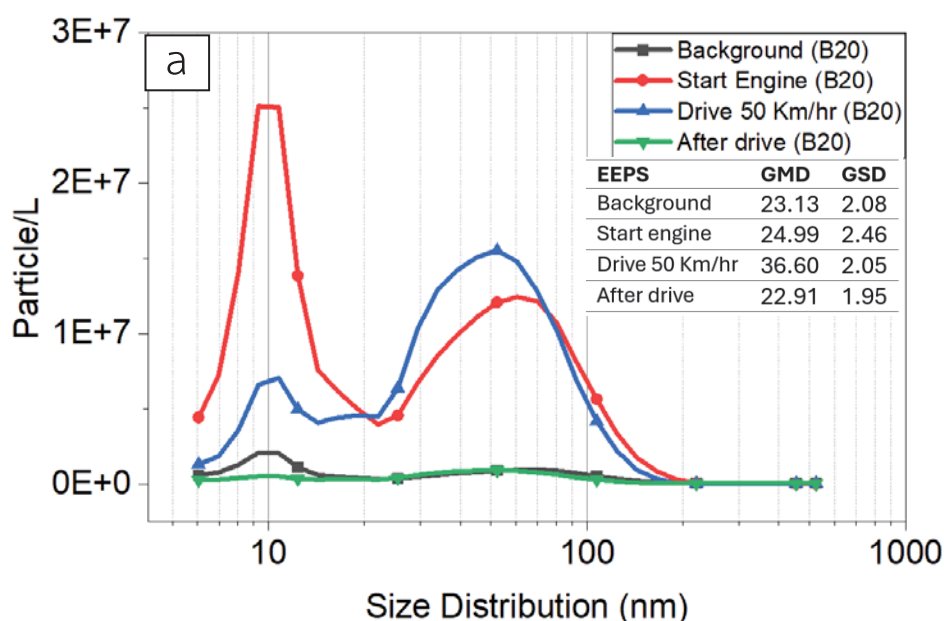
2) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อไอเสีย

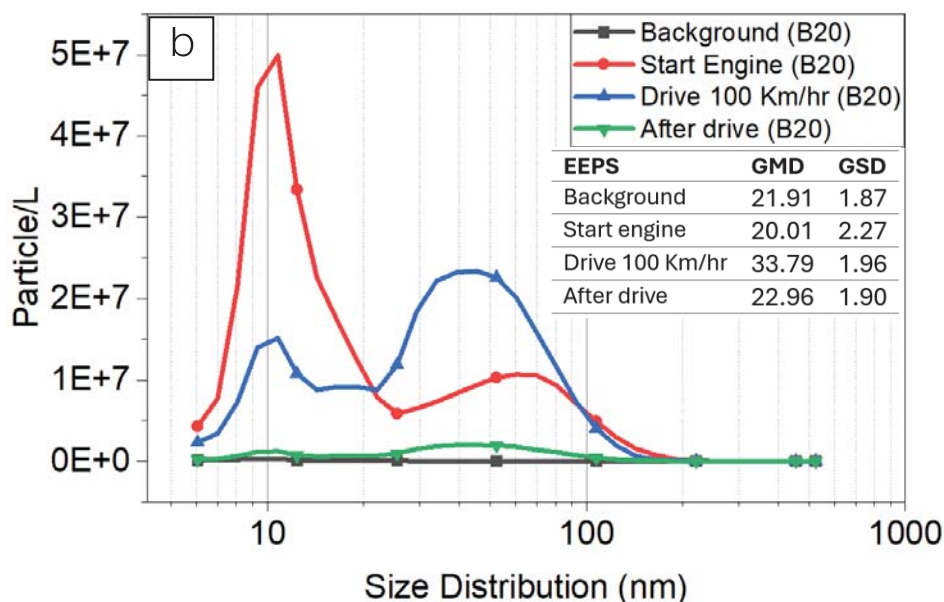
อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย (Inside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ พบว่ามีความเข้มข้นสูงสุด (Peak) อยู่ 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกอยู่ระหว่าง 6-20 nm และในช่วงที่ 2 อยู่ระหว่าง 25-100 nm

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.11×10^6 particles/cm³ (GMD=23.13 nm, GSD=2.08 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 2.51×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 9.31 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.38×10^7 particles/cm³ (GMD=24.99 nm, GSD=2.46 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 50 Km/hr (Drive 50 Km/hr) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 1.55×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 52.30 nm โดยมีค่าความเข้มข้น

เฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซึ่งเท่ากับ 1.06×10^7 particles/cm³ (GMD=36.60 nm, GSD=2.05 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 6.71×10^5 particles/cm³ (GMD=22.91 nm, GSD=1.95 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.12a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับซึ่งทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย ในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.13×10^5 particles/cm³ (GMD=21.91 nm, GSD=1.87 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดเท่ากับ 4.99×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 10.8 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.99×10^7 particles/cm³ (GMD=20.01 nm, GSD=2.27 nm) ในขณะในช่วงการขับซึ่งที่ความเร็ว 100 Km/hr พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด เท่ากับ 2.34×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 45.3 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับซึ่งเท่ากับ 1.70×10^7 particles/cm³ (GMD=33.79 nm, GSD=1.96 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.44×10^6 particles/cm³ (GMD=22.96 nm, GSD=1.90 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.12b





รูปที่ 4.12 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิง B20

- a) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

2.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนก่อนการทดสอบและขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ขั้นตอนการทดสอบขับที่ความเร็ว 100 km/hr และหลังการทดสอบ มีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.939	6	1.13E+05	8.82E+03	0.649*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.838	6	1.99E+07	3.26E+06	0.125*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.750	9	1.70E+07	1.22E+06	0.005
หลังการทดสอบ	0.609	12	1.44E+06	7.23E+05	0.000

หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงจำนวน โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ขั้นตอนการทดสอบก่อนการทดสอบ, ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr และหลังการทดสอบ มีการกระจายตัวไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.710	6	1.11E+06	6.74E+05	0.008
ขณะติดเครื่องยนต์	0.855	6	1.38E+07	5.26E+05	0.173*
ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr	0.622	9	1.06E+07	1.14E+06	0.000
หลังการทดสอบ	0.588	12	6.71E+05	3.16E+05	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำ มีความเข้มข้นแตกต่างกับก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 (P -value=0.037*) โดยความเข้มข้นเชิงจำนวนของสภาวะความเร็วสูง (6.74×10^5 particles/cm³) มีค่ามากกว่าที่สภาวะความเร็วต่ำ

ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนขับขี่ที่ความเร็ว การขับขี่ความเร็ว 50 km/hr แตกต่างจาก 100 km/hr (P -value = 0.000*) โดยการขับขี่ความเร็ว 100 km/hr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเชิงจำนวน เท่ากับ 1.06×10^7 particles/cm³ มากกว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่ความเร็ว 50 km/hr ดังแสดงในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	1.13E+05	8.82E+03	8.67	5.00	0.037*
	ความเร็วสูง	6	1.11E+06	6.74E+05	4.33		
ขณะที่ขับขี่	ความเร็วต่ำ	9	1.70E+07	1.22E+06	5.00	0.00	0.000*
	ความเร็วสูง	9	1.06E+07	1.14E+06	14.00		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	1.44E+06	7.23E+05	12.00	66.00	0.729
	ความเร็วสูง	12	6.71E+05	3.16E+05	13.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.092$) ดังแสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1.99E+07	3.26E+06	6.16E+06	3.30E+06	0.092
	ความเร็วสูง	6	1.38E+07	5.26E+05			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

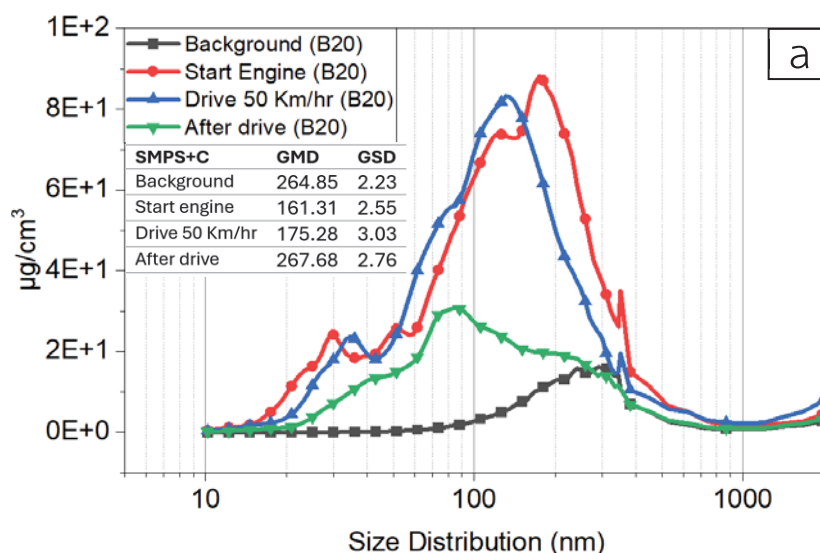
4.2.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงมวล

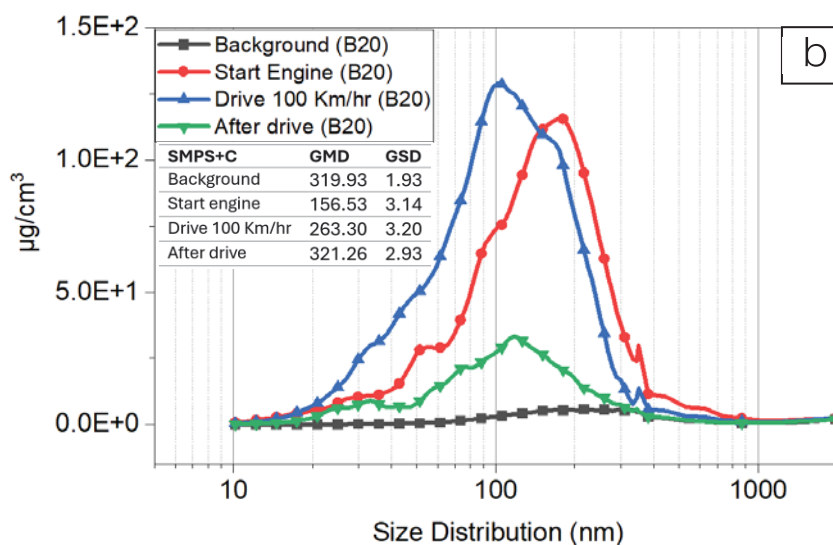
1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสีย (Outside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง Scanning mobility particle sizer with condensation particle counter (SMPS+C) และ Photoelectric aerosol sensor (PAS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $5.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=264.85 nm, GSD=2.23 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $80.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=161.31 nm, GSD=2.55 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr (Drive 50 km/hr) พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ $83.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 130.97 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ $105.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=175.28 nm, GSD=3.03 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $30.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=267.68 nm, GSD=2.76 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.13a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสียในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $10.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=319.93 nm, GSD=1.93 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $73.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=156.53 nm, GSD=3.14 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด เท่ากับ $129.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 101.81 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ $86.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=263.30 nm, GSD=3.20 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $43.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=321.26 nm, GSD=2.93 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.13b





รูปที่ 4.13 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B20

- a) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

1.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลก่อนการทดสอบ, ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr และหลังการทดสอบ มีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.385	6	5.03	0.42	0.008
ขณะติดเครื่องยนต์	0.299	6	80.71	22.28	0.173*
ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr	0.387	9	105.88	9.54	0.000
หลังการทดสอบ	0.424	12	30.70	17.78	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงมวล โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์และข้อมูลการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ มีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.388	6	10.53	0.68	0.005
ขณะติดเครื่องยนต์	0.168	6	73.26	27.96	0.986*
ขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr	0.184	9	86.99	12.51	0.164*
หลังการทดสอบ	0.319	12	43.04	9.86	0.000

*หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายนอกท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำ มีความเข้มข้นแตกต่างกับก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($P\text{-value}=0.004^*$) โดยความเข้มข้นเชิงจำนวนของสภาวะความเร็วสูง ($10.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่ามากกว่าที่สภาวะความเร็วต่ำ

ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนหลังการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำ มีความเข้มข้นแตกต่างกับก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($P\text{-value} = 0.014^*$) โดยการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเชิงจำนวน เท่ากับ $43.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่ความเร็ว 50 km/hr ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test						
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสถานะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test
			Mean	SD		
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	5.03	0.42	3.50	0.00
	ความเร็วสูง	6	10.53	0.68	9.50	
ขณะที่ขับขี่	ความเร็วต่ำ	9	105.88	9.54	11.11	26.00
	ความเร็วสูง	9	86.99	12.51	7.89	
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	30.70	17.78	8.50	26.00
	ความเร็วสูง	12	43.04	9.86	16.50	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขี่ตามสถานะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ การทดสอบตามสถานะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสถานะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.842$) ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 การทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test						
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสถานะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE. P-value
			Mean	SD		
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	80.71	22.28	7.300	35.752
	ความเร็วสูง	6	73.26	27.96		

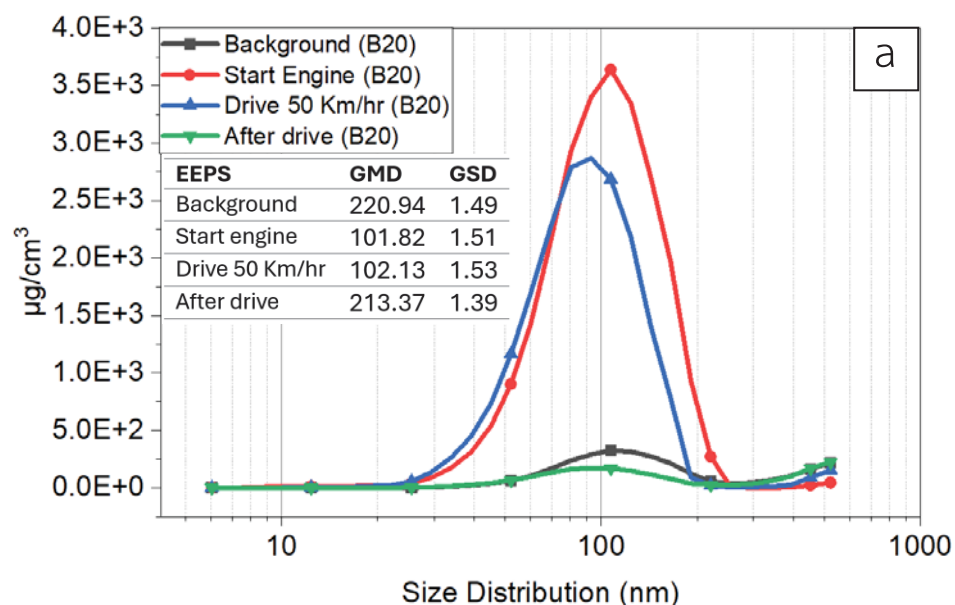
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

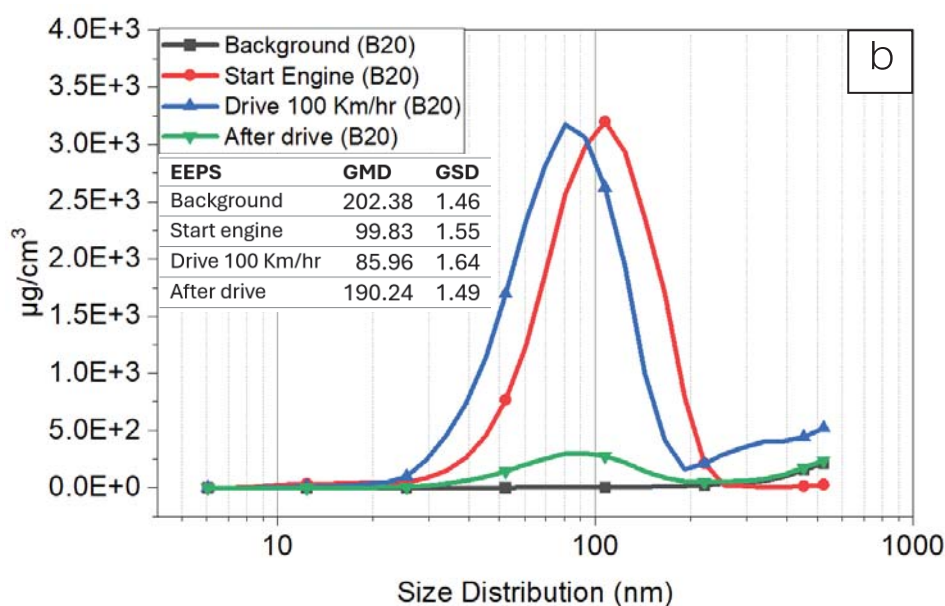
2) การตรวจวัดอนุภาคเชิงมวลภายในท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย (Inside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $181.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=220.94 nm, GSD=1.49 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1,564.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=101.82 nm, GSD=1.51 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขีที่ความเร็ว 50 Km/hr (Drive 50 Km/hr) พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ $2,868.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 93.10 nm โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขีเท่ากับ $1,247.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=102.13 nm, GSD=1.53 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $121.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=213.37 nm, GSD=1.39 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.14a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย ในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $44.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=202.38 nm, GSD=1.46 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์มีความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $1375.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=99.83 nm, GSD=1.64 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขีที่ความเร็ว 100 Km/hr พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุดเท่ากับ $3,175.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 80.6 nm โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขีเท่ากับ $1,543.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=85.96 nm, GSD=1.64 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $189.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=190.24 nm, GSD=1.49 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.14b





รูปที่ 4.14 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B20

- a) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
 b) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

2.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคภายในท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนก่อนการทดสอบ, ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr และข้อมูลหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.461	6	181.23	133.22	0.000
ขณะติดเครื่องยนต์	0.270	6	1,564.59	34.27	0.282*
ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr	0.401	9	1,247.88	120.05	0.000
หลังการทดสอบ	0.455	12	121.40	46.74	0.000

หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงมวล โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของขั้นตอนก่อนการทดสอบ, ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr และข้อมูลหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
สภาวะการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.331	6	44.18	19.10	0.029
ขณะติดเครื่องยนต์	0.196	6	1,375.04	83.23	0.382*
ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr	0.303	9	1,543.55	66.51	0.009
หลังการทดสอบ	0.311	12	189.41	73.61	0.002

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขี่ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนการขับขี่ความเร็ว 50 km/hr แตกต่างจาก 100 km/hr (P-value = 0.009*) โดยการขับขี่ความเร็ว 100 km/hr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเชิงมวล เท่ากับ 1,543.55 particles/cm³ มากกว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่ความเร็ว 50 km/hr แสดงในตารางที่4.38

ตารางที่ 4.38 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test						
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test
			Mean	SD		
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	181.23	133.22	7.50	12.00
	ความเร็วสูง	6	44.18	19.10	5.50	
ขับขี่ที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	9	1,247.88	120.05	6.22	11.00
	ความเร็วสูง	9	1,543.55	66.51	12.78	
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	121.40	46.74	12.58	71.00
	ความเร็วสูง	12	189.41	73.61	12.42	

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.333^*$) ดังแสดงในตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1,564.59	34.27	137.051	134.58	0.333
	ความเร็วสูง	6	1,375.04	83.23			

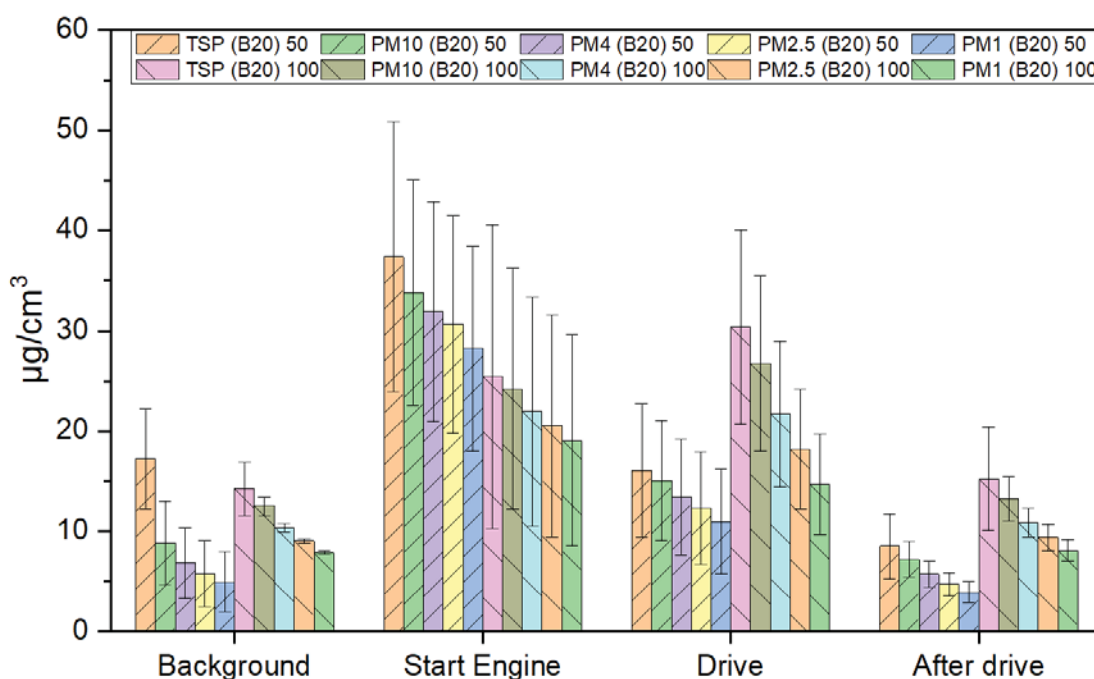
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2) การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) และด้านอาชีพอนามัย (Occupational Parameters)

ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำดังตารางทดสอบที่ 3.10 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบ พบว่าปริมาณอนุภาคมีลำดับความเข้มข้นเชิงมวลจากมากไปน้อยดังนี้ TSP, PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} และ PM₁ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start Engine) นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ $37.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ $33.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ $31.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ $30.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ $28.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลรองลงมาโดยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ $16.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ $15.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ $13.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ $12.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ $10.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูงดังตารางทดสอบที่ 3.11 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบ พบว่าปริมาณอนุภาคมีลำดับความเข้มข้นเชิงมวลจากมากไปน้อยดังนี้ TSP, PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} และ PM₁ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการสตาร์ท

เครื่องยนต์ (Start Engine) นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ $25.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 เท่ากับ $24.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM4 เท่ากับ $21.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 เท่ากับ $20.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM1 เท่ากับ $19.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลรองลงมาโดยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ $30.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 เท่ากับ $26.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM4 เท่ากับ $21.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 เท่ากับ $18.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM1 เท่ากับ $14.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.15

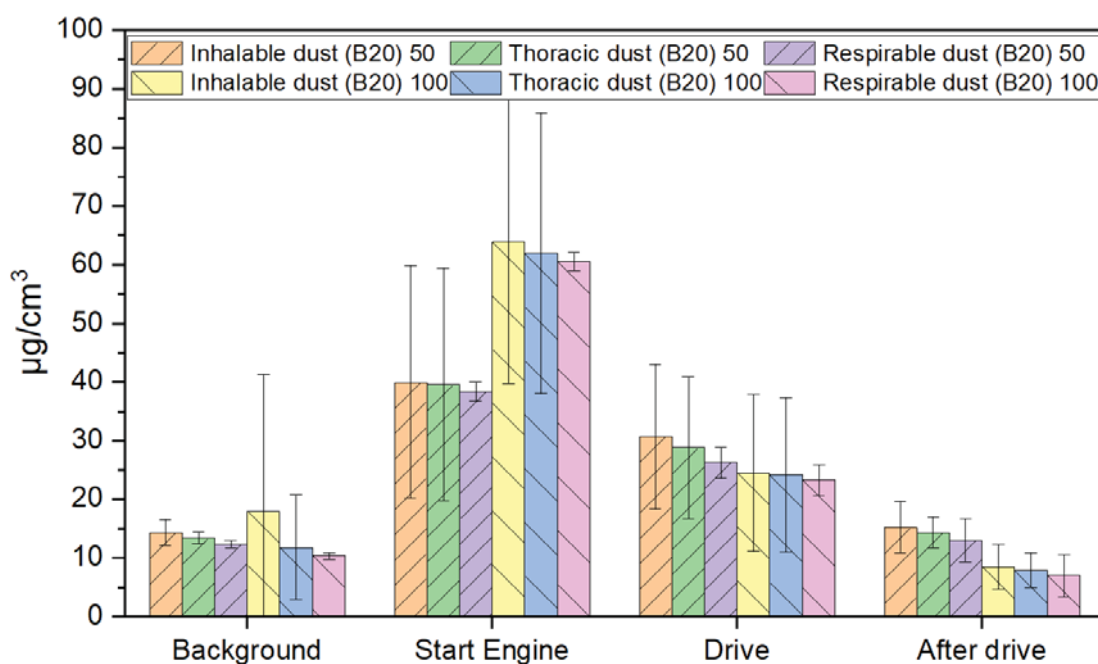


รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกที่จำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) ของน้ำมัน B20

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพ (Occupational parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำดังตารางทดสอบที่ 3.10 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบสูงที่สุดคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ (Inhalable dust) รองลงมาคือพารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (Thoracic dust) และต่ำที่สุดคือพารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด (Respirable dust) ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการสตาร์ทเครื่องยนต์นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $63.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $61.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด เท่ากับ $60.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลรองลงมา โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $24.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่

ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $24.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $23.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพอนามัย พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูงดังตารางทดสอบที่ 3.11 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบสูงสุดคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ รองลงมาคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และต่ำที่สุดคือพารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด ตามลำดับ โดยในทุกกระบวนการทดสอบพบแนวโน้มในลักษณะคล้ายกัน อย่างไรก็ตามในมุมมองของกระบวนการทดสอบทั้ง 4 กระบวนการจะพบว่า กระบวนการสตาร์ทเครื่องยนต์นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $39.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $39.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $38.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลรองลงมา โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $30.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $28.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $26.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพอนามัย (Occupational Parameters) ของน้ำมัน B20

*หมายเหตุ รูปที่ 4.15 และ 4.16 ตัวเลข 50 คือ การทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ ดังตารางทดสอบที่ 3.10 และ ตัวเลข 100 คือ การทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง ดังตารางทดสอบที่ 3.11

2.3) ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของอนุภาคจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าทุกพารามิเตอร์ของการตรวจวัดมีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ โดยจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
Parameter	Statistic	df	เข้มข้นเชิงมวล (µg/m³)		P-value
			Mean	SD	
Environmental Parameters					
TSP	0.940	6	16.06	6.70	0.663*
PM10	0.929	6	15.03	6.01	0.572*
PM4	0.920	6	13.43	5.77	0.508*
PM2.5	0.912	6	12.31	5.59	0.447*
PM1	0.911	6	10.95	5.25	0.441*
Occupational Parameters					
Inhalable dust	0.923	6	24.53	13.32	0.526*
Thoracic dust	0.906	6	24.17	13.11	0.412*
Respirable dust	0.908	6	23.28	2.62	0.426*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ PM2.5, PM1, Respirable dust มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ โดยจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
Parameter	Statistic	df	เข้มข้นเชิงมวล (µg/m³)		P-value
			Mean	SD	
Environmental Parameters					
TSP	0.704	6	30.39	9.70	0.007
PM10	0.727	6	26.71	8.76	0.012
PM4	0.767	6	21.71	7.26	0.029
PM2.5	0.803	6	18.18	6.00	0.062*
PM1	0.853	6	14.63	4.99	0.166*
Occupational Parameters					
Inhalable dust	0.738	6	30.65	12.34	0.015
Thoracic dust	0.745	6	28.80	12.10	0.018
Respirable dust	0.757	6	26.32	2.62	0.023*

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าพารามิเตอร์ TSP, PM10, PM4, Inhalable dust และ Thoracic dust มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr ไม่มีความแตกต่างจากกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.42

ตารางที่ 4.42 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยภายนอกท่อ แบ่งตามพารามิเตอร์ระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
parameter	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล (µg/m³)		Mean Rank	Mann- Whitney U Test	P- value
			Mean	SD			
Environmental Parameters							
TSP	50 km/hr	6	16.06	6.70	4.83	8.00	0.109
	100 km/hr	6	30.39	9.70	8.17		
PM10	50 km/hr	6	15.03	6.01	8.00	9.00	0.150
	100 km/hr	6	26.71	8.76	0.00		
PM4	50 km/hr	6	13.43	5.77	7.50	12.00	0.337
	100 km/hr	6	21.71	7.26	0.00		
Occupational Parameters							
Inhalable dust	50 km/hr	6	24.53	13.32	6.33	17.00	0.873
	100 km/hr	6	30.65	12.34	0.00		
Thoracic dust	50 km/hr	6	24.17	13.11	6.17	16.00	0.749
	100 km/hr	6	28.80	12.10	0.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่า พารามิเตอร์ PM2.5, PM1 และ Respirable dust มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr ไม่มีความแตกต่างจากกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อ โดยแบ่งตามพารามิเตอร์ ระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
parameter	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE.	P- value
			Mean	SD			
Environmental Parameters							
PM2.5	50 km/hr	6	12.31	5.59	5.87	0.41	0.293
	100 km/hr	6	18.18	6.00			
PM1	50 km/hr	6	10.95	5.25	3.68	0.26	0.364
	100 km/hr	6	14.63	4.99			
Occupational Parameters							
Respirable	50 km/hr	6	23.28	2.62	3.04	0.00	0.769
dust	100 km/hr	6	26.32	2.62			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

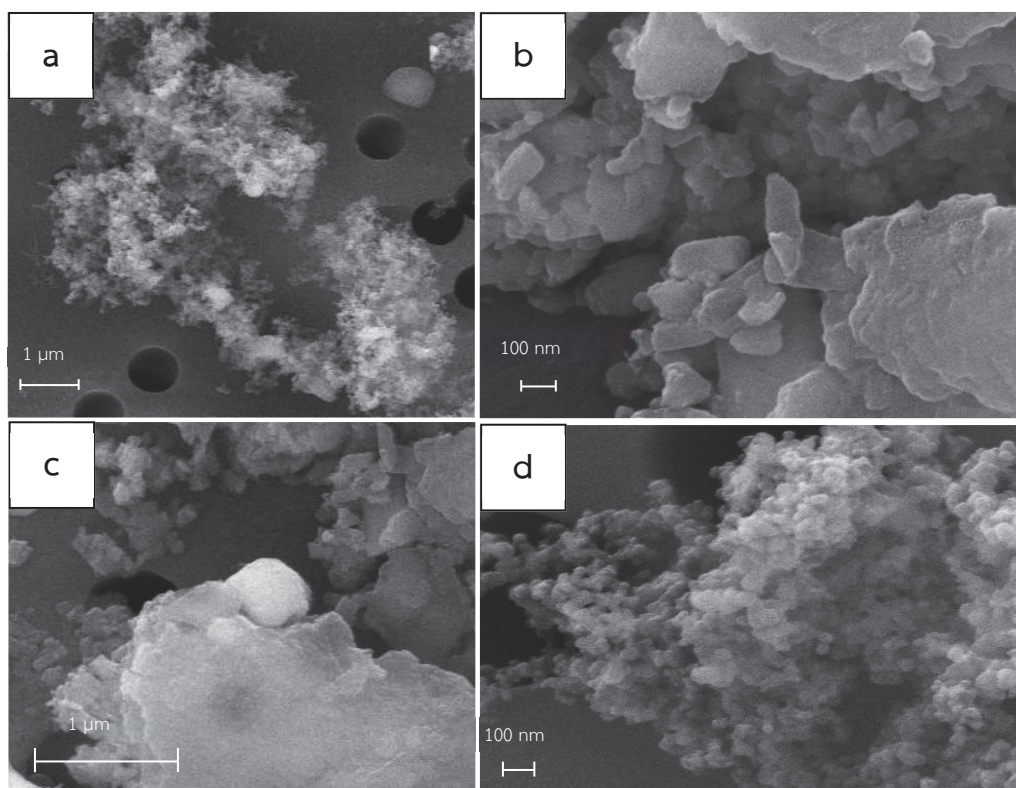
3) การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาค

3.1) สัณฐานวิทยาของอนุภาค

จากภาพ FESEM ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า พบว่าอนุภาคฝุ่นจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน B20 มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม (irregular-shaped particles) และปรากฏการณ์รวมตัวกันเป็นกลุ่มของอนุภาคนาโน (agglomerates) โดยมีอนุภาคขนาดเล็กการกระจายตัวระหว่าง 20–80 nm ขณะเดียวกันพบอนุภาคขนาดเล็กรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่โดยมีขนาดมากกว่า 100 nm ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและเป็นแผ่นแตก (flake-like structure) รวมถึงก้อนอนุภาคลักษณะเป็นผลึก บ่งชี้ถึงการเกิดของ soot และอนุภาค ash จากกระบวนการเผาไหม้และองค์ประกอบของเชื้อเพลิง B20 ลักษณะดังกล่าวเป็นเอกลักษณ์ของ Diesel Particulate Matter ซึ่งเกิดจากการเกาะตัวของอนุภาคนาโนภายใต้สภาวะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ (large agglomerates) ที่มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลมและมีพื้นผิวขรุขระ

ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะในสถานะที่เกิดการเกาะตัวของอนุภาคนาโนหลังการควบแน่นในท่อไอเสีย

ที่ กำลังขยาย 30,000 เท่า พบอนุภาคนาโนทรงกลมขนาดเล็ก (primary soot nanoparticles) ขนาดในช่วง 20–80 nm เกาะตัวเป็น agglomerates ที่มีรูปแบบไม่เป็นระเบียบ โดยโครงสร้างดังกล่าวเป็นลักษณะจำเพาะของอนุภาคคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมัน B20 ส่งผลให้เกิดเขม่า (soot) ซึ่งสามารถยืนยันได้จากโครงสร้างที่มีทั้งส่วนที่ผิวเรียบ (soot spheres) และส่วนที่มีขอบแหลมไม่เป็นทรงกลม (inorganic ash) แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาภายนอกของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมัน B20

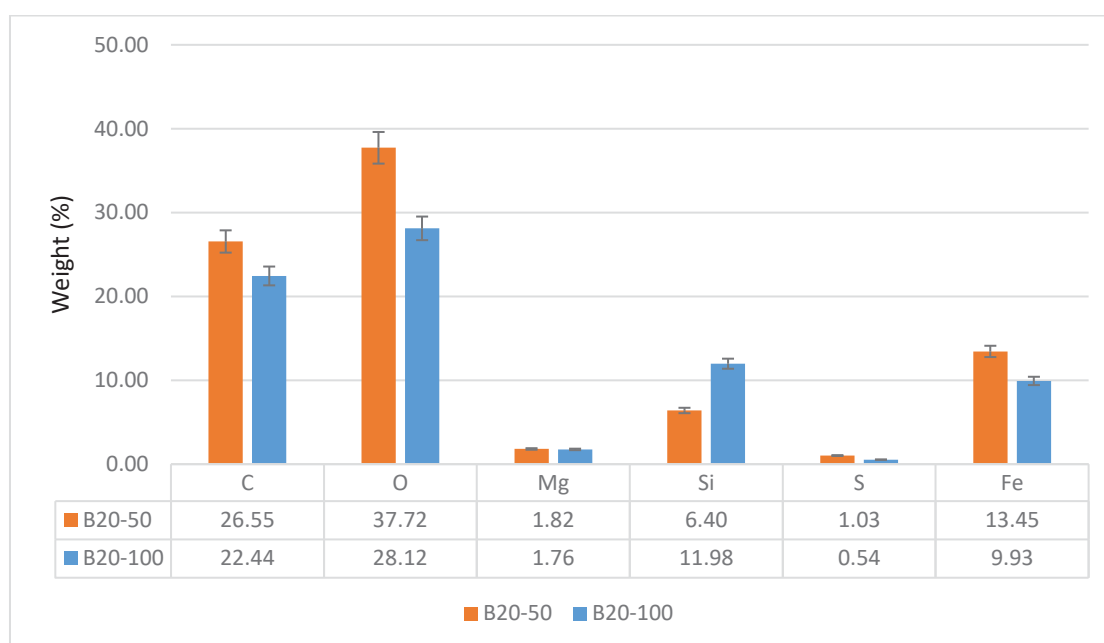
a) ความเร็ว 50 km/hr กำลังขยาย 5,000 เท่า b) ความเร็ว 100 km/hr กำลังขยาย 30,000 เท่า
c) ความเร็ว 50 km/hr กำลังขยาย 10,000 เท่า d) ความเร็ว 100 km/hr กำลังขยาย 30,000 เท่า

3.2) องค์ประกอบธาตุของอนุภาค

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง B20 ภายใต้สภาวะการขับเคลื่อนที่ความเร็ว 50 และ 100 km/h พบว่าองค์ประกอบหลักประกอบด้วย C, O, Mg, Si และ S

ที่ความเร็ว 50 km/h พบว่าออกซิเจนมีสัดส่วนสูงที่สุด 37.72% รองลงมาคือคาร์บอน 26.55%, เหล็ก 13.45% และซิลิกอน 6.40% ตามลำดับ ขณะที่ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ แมกนีเซียม 1.82%,

กำมะถัน 1.03% พบในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 100 km/hr พบว่าออกซิเจนยังคงเป็นองค์ประกอบหลัก 28.12% แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับความเร็วต่ำ เช่นเดียวกับคาร์บอน 22.44% และเหล็ก 9.93% ในทางตรงกันข้าม ซิลิกอนเพิ่มขึ้นเป็น 11.98% ขณะที่แมกนีเซียม 1.76% กำมะถัน 0.54% และคลอรีน 0.68% มีค่าลดลงเล็กน้อย การเปรียบเทียบปริมาณธาตุ C, O, Mg, S และ Fe ในช่วงการทดสอบที่ความเร็ว 50 km/hr มีค่าสูงกว่าการทดสอบที่ความเร็ว 100 km/hr คิดเป็น 1.18, 1.34, 1.03, 1.91 และ 1.35 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 องค์ประกอบธาตุภายนอกท่อจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ไบโอดีเซล B20

3.3 ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลขององค์ประกอบธาตุ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ขององค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับขึ้นที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลของธาตุ C, O, Mg, Si, S และ Fe มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 การทดสอบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		P-value
			Mean	SD	
C	0.824	3.000	26.55	4.246	0.173*
O	0.986	3.000	37.72	1.357	0.777*
Mg	0.835	3.000	1.82	0.439	0.201*
Si	0.987	3.000	6.4	1.552	0.782*
S	0.883	3.000	1.03	0.366	0.333*
Fe	0.768	3.000	13.45	4.878	0.061*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ขององค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B20 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าการกระจายตัวข้อมูลของธาตุ C, O, Mg, Si, S และ Fe มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 การทดสอบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		P-value
			Mean	SD	
C	0.988	3.000	22.44	4.490	0.788*
O	0.940	3.000	28.12	1.251	0.527*
Mg	0.952	3.000	1.76	0.396	0.579*
Si	0.905	3.000	11.98	2.871	0.400*
S	0.948	3.000	0.54	0.139	0.562*
Fe	0.983	3.000	9.93	2.900	0.751*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุ โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าองค์ประกอบธาตุออกซิเจน (Oxygen) ของการขับขี้ที่ความเร็ว 50 km/hr มีความแตกต่างจากการขับขี้ที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.006^*$) โดยองค์ประกอบธาตุของออกซิเจนการขับขี้ที่ความเร็ว 50 km/hr (37.727%) มีค่ามากกว่าออกซิเจนการขับขี้ที่ความเร็ว 100 km/hr (28.117%) ดังแสดงในตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B20

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
พารามิเตอร์	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
C	50 km/hr	3	26.55	4.246	4.11	0.244	0.542
	100 km/hr	3	22.44	4.49			
O	50 km/hr	3	37.72	1.357	9.6	0.106	0.006*
	100 km/hr	3	28.12	1.251			
Mg	50 km/hr	3	1.82	0.439	0.06	0.043	0.937
	100 km/hr	3	1.76	0.396			
Si	50 km/hr	3	6.4	1.552	5.58	1.319	0.162
	100 km/hr	3	11.98	2.871			
S	50 km/hr	3	1.03	0.366	0.49	0.227	0.276
	100 km/hr	3	0.54	0.139			
Fe	50 km/hr	3	13.45	4.878	3.52	1.978	0.569
	100 km/hr	3	9.93	2.9			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.3. อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิง B30

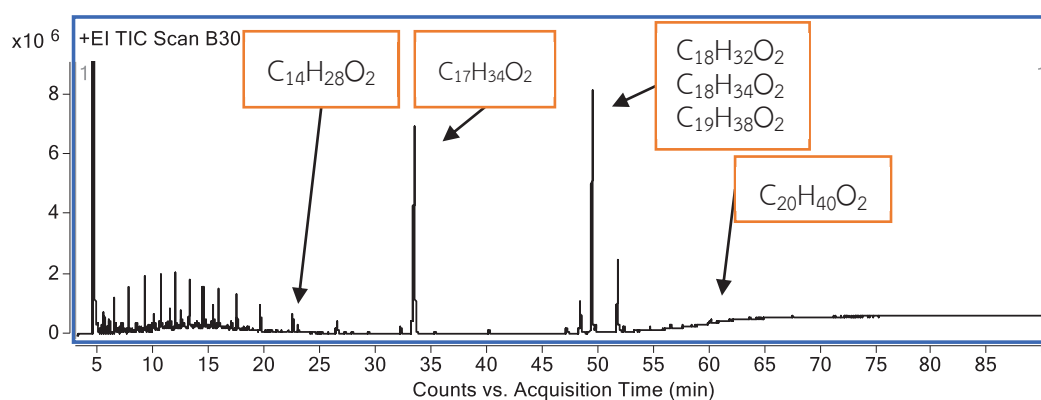
4.3.1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมัน B30

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B7 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผ่านการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.47 ผลการทดสอบระบุว่าค่าพารามิเตอร์ทุกตัวสอดคล้องกับข้อกำหนดมาตรฐาน กระทรวงพลังงานและทรัพยากรแร่ธาตุ ประเทศอินโดนีเซีย 2020 น้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวมีคุณภาพตามมาตรฐานและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 4.47 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน B30

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานการทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	ความถ่วงจำเพาะ	-	0.815-0.880	ASTM D1298	0.845
2	ค่าซีเทน	-	> 48	ASTM D613	60.91
3	ความหนืด	cSt	2.0-5.0	ASTM D445	4.00
4	จุดวาบไฟ	°C	> 52	ASTM D93	98.00

คุณสมบัติทางกายเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล B30 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 50 mg เพื่อประเมินสัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันประกอบด้วยดีเซล (B0) 70% และไบโอดีเซล 30% โดยการตรวจวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟสารประกอบกลุ่มกรดไขมันและเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Esters; FAME) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของไบโอดีเซล ได้แก่ Tetradecanoic acid ($C_{14}H_{28}O_2$), Hexadecanoic acid ($C_{16}H_{32}O_2$), linoleic acid ($C_{18}H_{32}O_2$), oleic acid ($C_{18}H_{34}O_2$), octadecanoic acid ($C_{18}H_{34}O_2$), และ Eicosanoic acid ($C_{20}H_{40}O_2$) ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบส่วนประกอบของน้ำมันประเภท B30

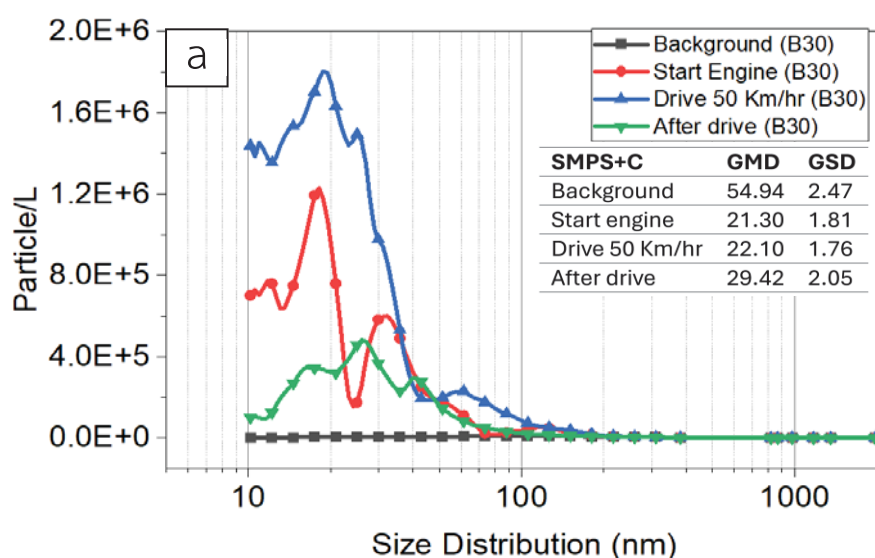
4.3.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงจำนวน

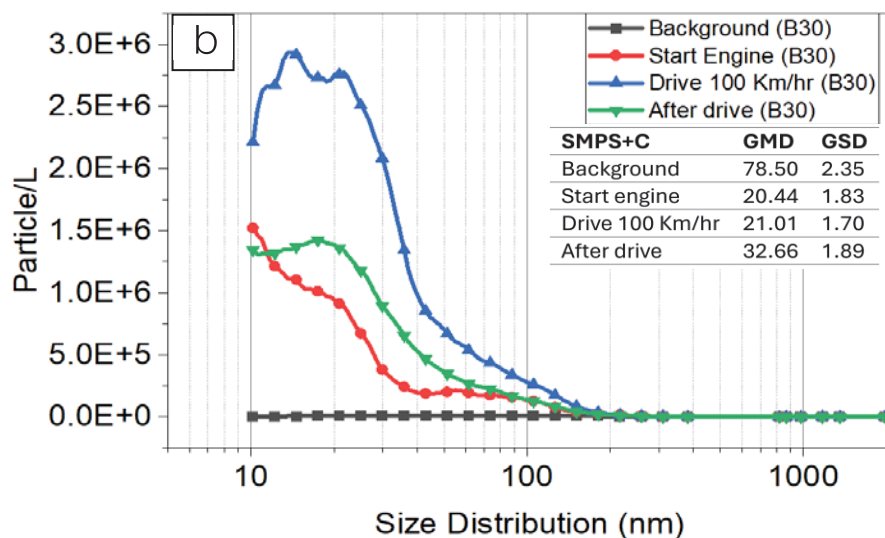
1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับชี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสีย (Outside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง Scanning mobility particle sizer with condensation particle counter (SMPS+C) และ Photoelectric aerosol sensor (PAS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 8.76×10^3 particles/cm³ (GMD=54.94 nm, GSD=2.47 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.21×10^5 particles/cm³ (GMD=21.30 nm, GSD=1.81 nm) ในขณะที่ช่วงการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr (Drive 50 km/hr) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 1.80×10^6 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 18.77 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับชี้เท่ากับ 2.04×10^6 particles/cm³ (GMD=22.10 nm, GSD=1.76 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 6.05×10^5 particles/cm³ (GMD=29.42 nm, GSD=2.05 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.20a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับชี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสียในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 7.93×10^3 particles/cm³ (GMD=78.50 nm, GSD=2.35 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58×10^5 particles/cm³ (GMD=20.44 nm, GSD=1.83 nm) ในขณะที่ช่วงการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดเท่ากับ 2.94×10^6 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 14.07 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับชี้เท่ากับ 8.68×10^5 particles/cm³ (GMD=21.01 และ GSD=1.70 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 2.25×10^5 particles/cm³ (GMD=32.66 nm, GSD=1.89 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.20b





รูปที่ 4.20 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B30

- a) อนุภาคภายนอกของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายนอกของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายนอกที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์พบว่าข้อมูลของสภาวะขณะติดเครื่องยนต์และข้อมูลการขับที่ความเร็ว 50 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.48 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.718	6	8.76E+03	1.21E+03	0.010
ขณะติดเครื่องยนต์	0.901	6	6.21E+05	4.95E+04	0.378*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.918	9	2.04E+06	1.63E+05	0.379*
หลังการทดสอบ	0.578	12	6.05E+05	2.92E+05	0.000

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงจำนวน โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบ, ขณะติดเครื่องยนต์ และข้อมูลการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.49 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.906	6	7.93E+03	9.00E+02	0.410*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.907	6	4.58E+05	8.78E+04	0.415*
ขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr	0.963	9	8.68E+05	7.92E+04	0.830*
หลังการทดสอบ	0.687	12	2.25E+05	9.07E+04	0.001

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายนอกท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P-value = 0.748) และในขั้นตอนหลังการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P-value = 0.817) ดังแสดงในตารางที่ 4.50

ตารางที่ 4.50 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	8.76E+03	1.21E+03	6.83	16.00	0.748
	ความเร็วสูง	6	7.93E+03	9.00E+02	6.17		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	6.05E+05	2.92E+05	12.17	68.00	0.817
	ความเร็วสูง	12	2.25E+05	9.07E+04	12.83		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขึ้นตามสถานะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ตามสถานะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสถานะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.136$) และในขั้นตอนขับขึ้นที่ความเร็วตามสถานะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสถานะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.272$) ดังแสดงในตารางที่ 4.51

ตารางที่ 4.51 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	6.21E+05	4.95E+04	1.62E+05	1.01E+05	0.136
	ความเร็วสูง	6	4.58E+05	8.78E+04			
ขับขึ้นที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	6	2.04E+06	1.63E+05	1.17E+06	1.81E+05	0.272
	ความเร็วสูง	6	8.68E+05	7.92E+04			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

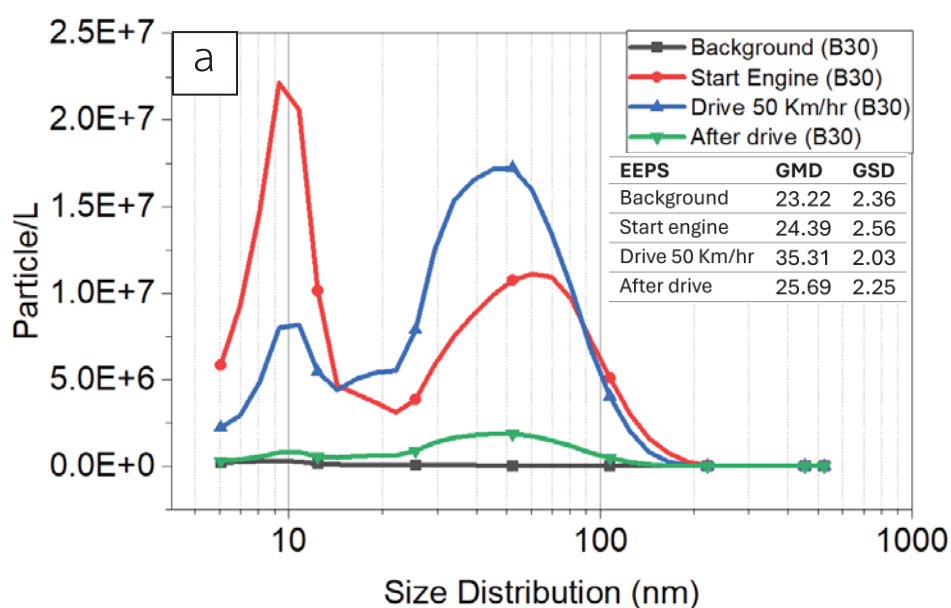
2) การตรวจวัดอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อไอเสีย

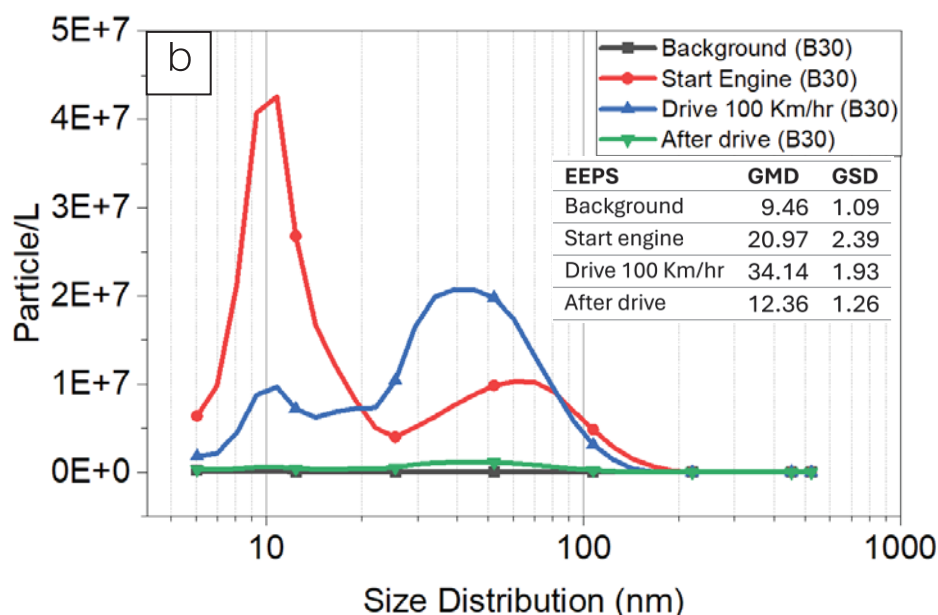
อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขึ้น ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย (Inside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสถานะความเร็วต่ำ พบว่ามีความเข้มข้นสูงสุด (Peak) อยู่ 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกอยู่ระหว่าง 6-20 nm และในช่วงที่ 2 อยู่ระหว่าง 25-100 nm

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.49×10^5 particles/cm³ (GMD=23.22 nm, GSD=2.36 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 2.21×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 9.31 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.22×10^7 particles/cm³ (GMD=24.39 nm, GSD=2.56 nm) ในขณะที่ช่วงการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 Km/hr (Drive 50 Km/hr) พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ 1.72×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 52.30 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขึ้นเท่ากับ 1.20×10^7 particles/cm³ (GMD=35.31 nm, GSD=2.03 nm)

หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.34×10^6 particles/cm³ (GMD=25.69 nm, GSD=2.25 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.21a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับชี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย ในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 6.72×10^4 particles/cm³ (GMD=9.46 nm, GSD=1.09 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดเท่ากับ 4.26×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 10.8 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.74×10^7 particles/cm³ (GMD=20.97 nm, GSD=2.39 nm) ในขณะในช่วงการขับชี้ที่ความเร็ว 100 Km/hr พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด เท่ากับ 2.07×10^7 particles/cm³ ที่ขนาดอนุภาค 39.20 nm โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับชี้เท่ากับ 1.38×10^7 particles/cm³ (GMD=34.14 nm, GSD=1.93 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 8.52×10^5 particles/cm³ (GMD=12.36 nm, GSD=1.26 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.21b





รูปที่ 4.21 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B30

- a) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

2.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลก่อนการทดสอบ, ขับที่ความเร็ว 100 km/hr และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.52

ตารางที่ 4.52 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อที่ความเร็ว 50 km/hr

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.710	6	1.49E+05	6.96E+03	0.008
ขณะติดเครื่องยนต์	0.855	6	1.22E+07	9.11E+05	0.173*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.622	9	1.20E+07	4.07E+05	0.000
หลังการทดสอบ	0.588	12	1.34E+06	5.31E+05	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงจำนวน โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของขั้นตอนก่อนการทดสอบและการทดสอบขณะติดเครื่องยนต์ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.53

ตารางที่ 4.53 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงจำนวนภายในท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.939	6	6.72E+04	6.38E+03	0.649*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.838	6	1.74E+07	4.14E+06	0.125*
ขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr	0.750	9	1.38E+07	7.28E+05	0.005
หลังการทดสอบ	0.609	12	8.52E+05	4.31E+05	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคก่อนการทดสอบ มีความเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยการทดสอบที่สภาวะความเร็วต่ำมีความเข้มข้นเชิงจำนวนเท่ากับ 1.49×10^5 particles/cm³ มากกว่าการทดสอบที่สภาวะความเร็วสูง (P-value = 0.004*)

ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr แตกต่างจาก 100 km/hr (P-value = 0.038*) โดยการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเชิงจำนวน เท่ากับ 1.38×10^7 มากกว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่ความเร็ว 50 km/hr

หลังการทดสอบ มีความเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยการทดสอบที่สภาวะความเร็วต่ำมีความเข้มข้นเชิงจำนวนเท่ากับ 1.34×10^6 มากกว่าการทดสอบที่สภาวะความเร็วต่ำ (P-value = 0.0134*) ดังแสดงในตารางที่ 4.54

ตารางที่ 4.54 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	1.49E+05	6.96E+03	9.50	0.000	0.004*
ทดสอบ	ความเร็วสูง	6	6.72E+04	6.38E+03	3.50		
ข้อชี้ที่	ความเร็วต่ำ	9	1.20E+07	4.07E+05	6.89	17.000	0.038*
ความเร็ว	ความเร็วสูง	9	1.38E+07	7.28E+05	12.11		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	1.34E+06	5.31E+05	15.42	37.000	0.043*
ทดสอบ	ความเร็วสูง	12	8.52E+05	4.31E+05	9.58		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับซีตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคในขั้นตอนขณะติดเครื่องยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำไม่มีความแตกต่างกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง (P -value = 0.249) ดังแสดงในตารางที่ 4.55

ตารางที่ 4.55 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm ³)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1.22E+07	9.11E+05	5.19E+06	4.24E+06	0.249
	ความเร็วสูง	6	1.74E+07	4.14E+06			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

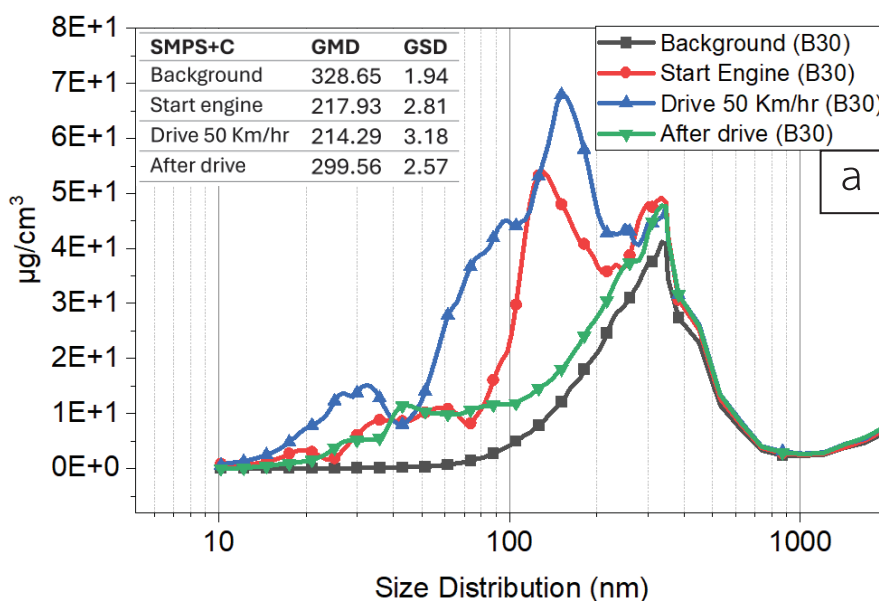
4.3.3. การวิเคราะห์การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวล

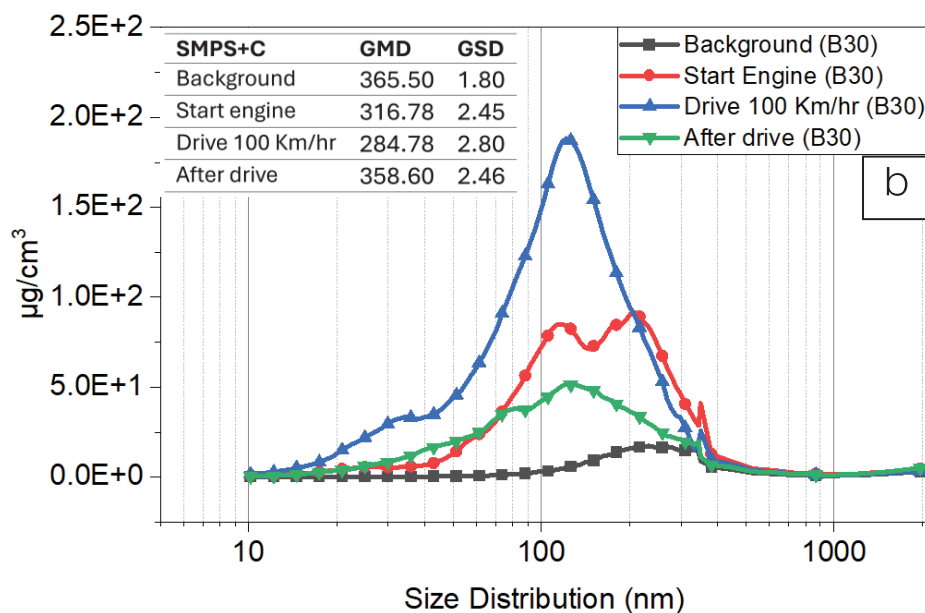
1) การตรวจวัดอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับชี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสีย (Outside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง Scanning mobility particle sizer with condensation particle counter (SMPS+C) และ Photoelectric aerosol sensor (PAS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $15.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=328.65 nm, GSD=1.94 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $74.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=217.93 nm, GSD=2.81 nm) ในขณะที่ช่วงการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr (Drive 50 km/hr) พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ $67.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 151.25 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับชี้เท่ากับ $154.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=214.29 nm, GSD=3.18 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $60.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=299.56 nm, GSD=2.57 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.22a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับชี้ ทำการตรวจวัดบริเวณภายนอกท่อไอเสียในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $25.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=365.50 nm, GSD=1.80 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $47.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=316.78 nm, GSD=2.45 nm) ในขณะที่ช่วงการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุดเท่ากับ $188.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 121.88 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับชี้เท่ากับ $83.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=284.78 nm, GSD=2.80 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $62.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=358.60 nm, GSD=2.46 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.22b





รูปที่ 4.22 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B30

- a) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ
b) อนุภาคภายนอกท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

1.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะการขับที่ความเร็ว 50 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลก่อนการทดสอบ, ขณะติดเครื่องยนต์ และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.56

ตารางที่ 4.56 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.660	6	15.63	2.48	0.002
ขณะติดเครื่องยนต์	0.765	6	74.64	25.13	0.028
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.924	9	154.67	8.07	0.425*
หลังการทดสอบ	0.700	12	60.85	19.28	0.001

หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงมวล โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบและข้อมูลการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลของสภาวะขณะติดเครื่องยนต์และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.57 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.915	6	25.63	3.09	0.501*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.751	6	47.98	10.46	0.020
ขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr	0.935	9	83.28	10.91	0.535*
หลังการทดสอบการขับชี้	0.758	12	62.48	15.41	0.003

*หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายนอกท่อ ของการขับชี้ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบมีความเข้มข้นเชิงมวลตามการทดสอบที่สภาวะความเร็วสูงแตกต่างกันกับสภาวะความเร็วต่ำ (P-value = 0.044*) โดยการทดสอบที่สภาวะความเร็วสูงมีความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $25.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยของสภาวะความเร็วต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.58 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	15.63	2.48	4.17	4.000	0.044*
	ความเร็วสูง	6	25.63	3.09	8.20		
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	74.64	25.13	6.50	18.000	1.000
	ความเร็วสูง	6	47.98	10.46	6.50		
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	60.85	19.28	10.25	45.000	0.119
	ความเร็วสูง	12	62.48	15.41	14.75		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับชี้ตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนการขับชี้ที่ความเร็วตามสภาวะความเร็วต่ำมีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.031^*$) โดยการทดสอบที่สภาวะความเร็วต่ำมีความเข้มข้นเชิงมวลเท่ากับ $154.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการทดสอบที่สภาวะความเร็วสูง

ตารางที่ 4.59 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test						
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE. $P\text{-value}$
			Mean	SD		
ขับชี้ที่	ความเร็วต่ำ	9	154.67	8.07	10.008	3.909 0.031*
ความเร็ว	ความเร็วสูง	9	83.28	10.91		

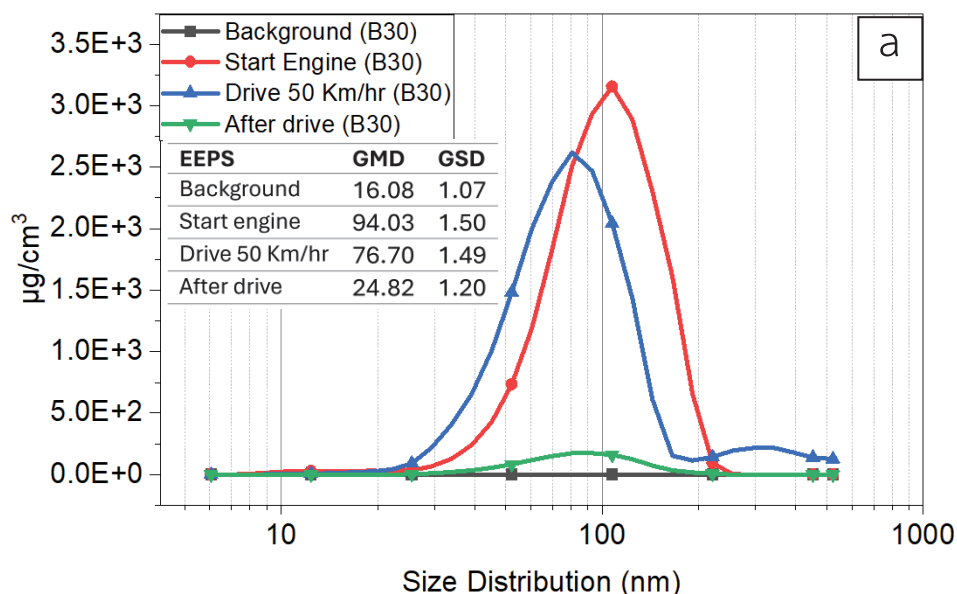
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

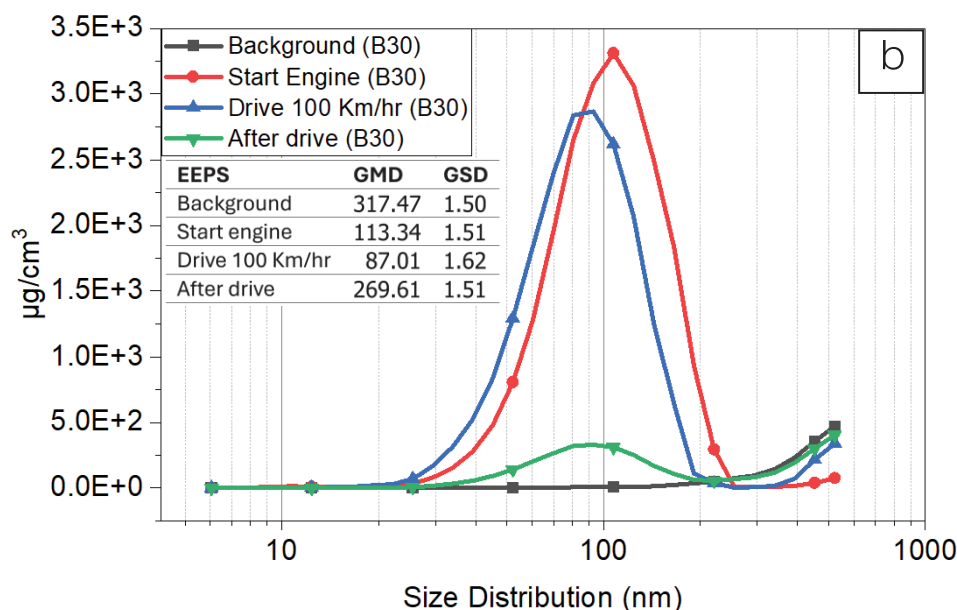
2) การตรวจวัดอนุภาคเชิงมวลภายในท่อไอเสีย

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย (Inside the exhaust pipe) โดยใช้เครื่อง TSI 3090 Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS) ในการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะก่อนการทดลอง (Background) มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $0.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=16.08 nm, GSD=1.07 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ (Start engine) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $1,313.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=94.03 nm, GSD=1.50 nm) ในช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 50 Km/hr (Drive 50 Km/hr) พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด (Peak number concentration) เท่ากับ $2,618.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 80.60 nm โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ $1,189.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=76.70 nm, GSD=1.49 nm) หลังการดับเครื่องยนต์ (After drive) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $78.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=24.82 nm, GSD=1.20 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.23a

อนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะจำลองการขับขี่ ทำการตรวจวัดบริเวณภายในท่อไอเสีย ในสภาวะความเร็วสูง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะก่อนการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $97.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=317.47 nm, GSD=1.50 nm) และเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $1,436.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=113.34 nm, GSD=1.51 nm) ในช่วงการขับขี่ที่ความเร็ว 100 Km/hr พบความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุดเท่ากับ $2,865.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขนาดอนุภาค 93.1 nm โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงของการขับขี่เท่ากับ $1,289.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=87.01 nm, GSD=1.64 nm) หลังการดับเครื่องยนต์มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $225.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GMD=269.61 nm, GSD=1.51 nm) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.23b





รูปที่ 4.23 การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อของอนุภาคจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิง B30

a) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำ

b) อนุภาคภายในท่อของการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูง

2.1) ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลของอนุภาคเชิงมวลภายในท่อไอเสีย

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายในท่อที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบและขณะติดเครื่องยนต์มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลการขับที่ความเร็ว 50 km/hr และหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ แสดงในตารางที่ 4.60

ตารางที่ 4.60 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.881	6	0.23	0.06	0.272*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.875	6	1313.19	65.66	0.249*
ขับที่ความเร็ว 50 km/hr	0.702	9	1189.51	56.95	0.001
หลังการทดสอบ	0.610	12	78.68	43.25	0.000

หมายเหตุ : P-value > 0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของความเข้มข้นเชิงมวล โดยใช้สถิติการทดสอบ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าข้อมูลของสภาวะก่อนการทดสอบ, ขณะติดเครื่องยนต์ และการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ในขณะที่ข้อมูลหลังการทดสอบมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.61

ตารางที่ 4.61 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นเชิงมวลภายในท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
ขั้นตอนการทดสอบ	Statistic	df	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
ก่อนการทดสอบ	0.892	6	97.48	6.57	0.326*
ขณะติดเครื่องยนต์	0.847	6	1436.21	45.09	0.148*
ขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr	0.954	9	1289.22	22.00	0.729
หลังการทดสอบ	0.628	12	225.84	71.80	0.000

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนขณะติดเครื่องยนต์มีความเข้มข้นเชิงมวลตามการทดสอบที่สภาวะความเร็วสูงไม่แตกต่างกันกับสภาวะความเร็วต่ำ (P-value = 0.078) ดังแสดงในตารางที่ 4.62

ตารางที่ 4.62 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Rank	Mann-Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
ขณะติดเครื่องยนต์	ความเร็วต่ำ	6	1,313.19	65.66	4.67	7.00	0.078
	ความเร็วสูง	6	1,436.21	45.09	8.33		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อ ของการขับขึ้นตามสภาวะการทดสอบความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนก่อนการทดสอบตามสภาวะความเร็วต่ำมีความแตกต่างกันกับการทดสอบตามสภาวะความเร็วสูง ($P\text{-value} = 0.000^*$) โดยการทดสอบที่สภาวะความเร็วสูงมีความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ $97.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยของสภาวะความเร็วต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.63

ตารางที่ 4.63 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนระหว่าง ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

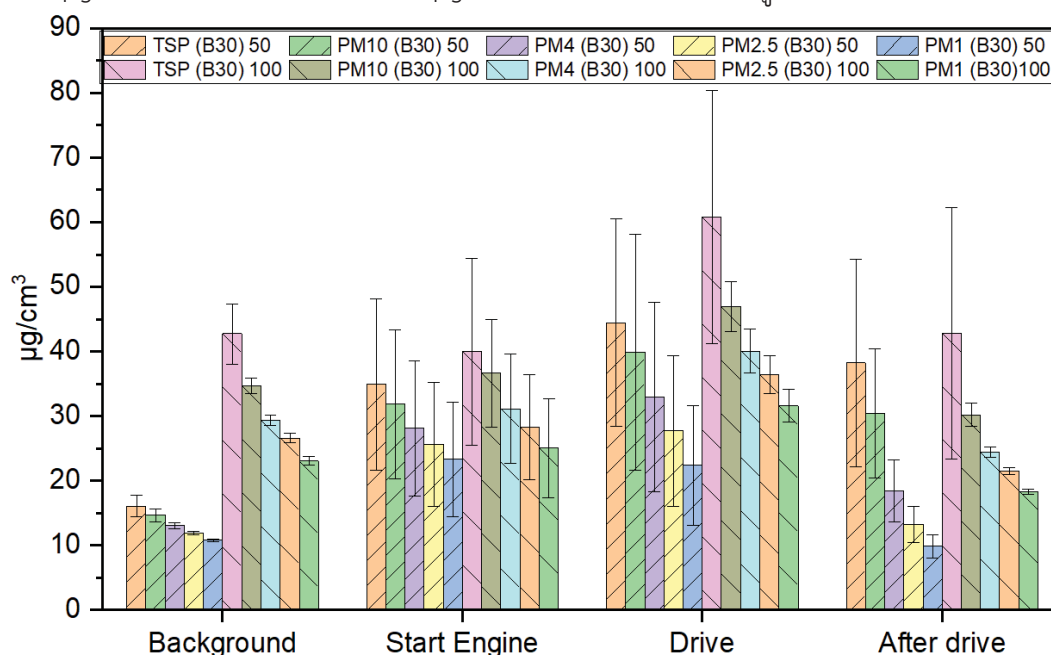
การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
ขั้นตอนการทดสอบ	การทดสอบตามสภาวะ	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE.	$P\text{-value}$
			Mean	SD			
ก่อนการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	6	0.23	0.06	97.243	6.573	0.000*
	ความเร็วสูง	6	97.48	6.57			
ขับขึ้นที่ความเร็ว	ความเร็วต่ำ	9	1,189.51	56.95	99.716	61.051	0.122
	ความเร็วสูง	9	1,289.22	22.00			
หลังการทดสอบ	ความเร็วต่ำ	12	78.68	43.25	147.163	83.819	0.093
	ความเร็วสูง	12	225.84	71.80			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2) การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) และด้านอาชีพอนามัย (Occupational Parameters)

ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำดังตารางทดสอบที่ 3.10 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบ พบว่าปริมาณอนุภาคมีลำดับความเข้มข้นเชิงมวลจากมากไปน้อยดังนี้ TSP, PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} และ PM₁ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการขับซึ่งที่ความเร็ว 50 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดโดยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ 44.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ 39.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ 32.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ 27.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ 22.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

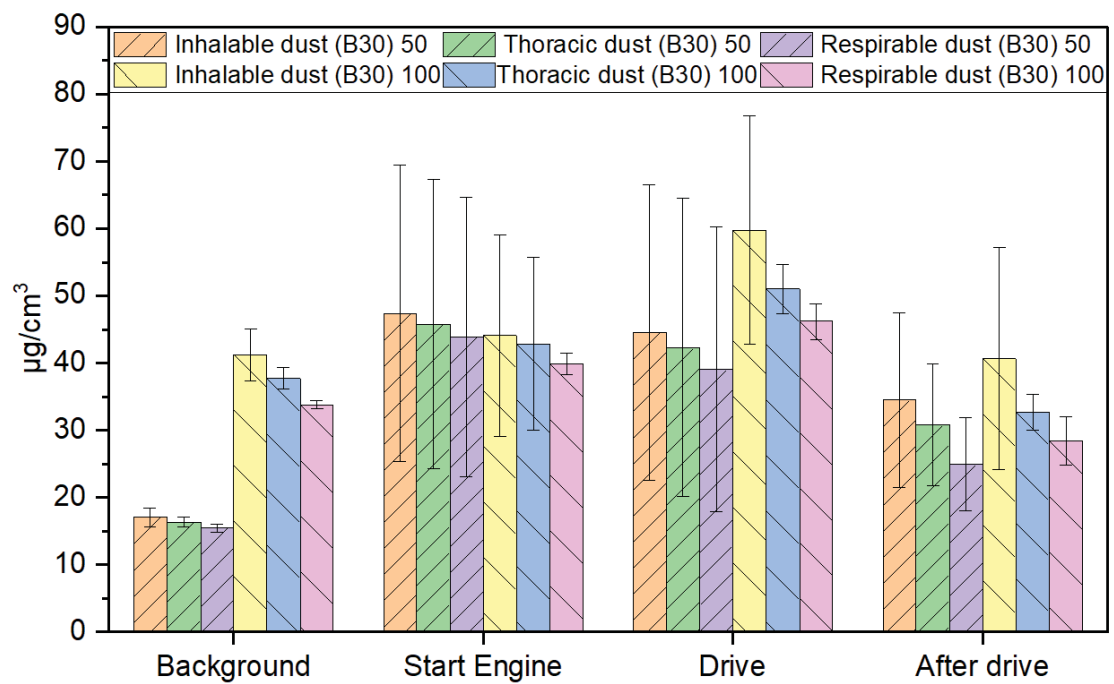
ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูงดังตารางทดสอบที่ 3.11 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบ พบว่าปริมาณอนุภาคมีลำดับความเข้มข้นเชิงมวลจากมากไปน้อยดังนี้ TSP, PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} และ PM₁ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการขับซึ่งที่ความเร็ว 100 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดโดยมีค่าแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า TSP เท่ากับ 60.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ เท่ากับ 46.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₄ เท่ากับ 40.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} เท่ากับ 36.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM₁ เท่ากับ 31.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกที่จำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameters) ของน้ำมัน B30

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพอนามัย (Occupational parameters) พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วต่ำดังตารางทดสอบที่ 3.10 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบสูงสุดคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ (Inhalable dust) รองลงมาคือพารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (Thoracic dust) และต่ำที่สุดคือพารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด (Respirable dust) ตามลำดับ ถึงแม้ว่าแนวโน้มดังกล่าวจะพบในทุกกระบวนการทดสอบ แต่ในมุมมองของกระบวนการทดสอบจะพบว่า กระบวนการสตาร์ทเครื่องยนต์นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $47.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $45.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $43.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 50 km/hr มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลรองลงมา โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $44.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $42.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $39.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพอนามัย พบว่าการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะความเร็วสูงดังตารางทดสอบที่ 3.11 ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 4 กระบวนการทดสอบสูงสุดคือ พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ รองลงมาคือพารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และต่ำที่สุดคือพารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด ตามลำดับ โดยในทุกกระบวนการทดสอบพบแนวโน้มในลักษณะคล้ายกัน อย่างไรก็ตามในมุมมองของกระบวนการทดสอบทั้ง 4 กระบวนการจะพบว่า กระบวนการขับขึ้นที่ความเร็ว 100 km/hr นั้นมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด โดยอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ $21.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เท่ากับ $22.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำที่สุดคืออนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอดเท่ากับ $21.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพน้ำมัน (Occupational Parameters) ของน้ำมัน B30

2.2) ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของอนุภาคจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ PM2.5, PM1, Inhalable dust, Thoracic dust และ Respirable dust มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.64

ตารางที่ 4.64 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ โดยจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	เข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
Environmental Parameters					
TSP	0.757	6	44.44	16.06	0.023
PM10	0.746	6	39.89	18.23	0.018
PM4	0.773	6	32.93	14.65	0.033
PM2.5	0.816	6	27.66	11.7	0.081*
PM1	0.873	6	22.37	9.31	0.238*
Occupational Parameters					
Inhalable dust	0.930	6	44.56	21.98	0.582*
Thoracic dust	0.939	6	42.3	22.18	0.649*
Respirable dust	0.949	6	39.08	21.18	0.732*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ TSP, PM10, PM4, PM2.5, PM1, Inhalable dust, Thoracic dust และ Respirable dust มีการกระจายตัวแบบปกติแสดงในตารางที่ 4.65

ตารางที่ 4.65 การทดสอบการกระจายตัวความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลภายนอกท่อ โดยจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters ที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	เข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P-value
			Mean	SD	
Environmental Parameters					
TSP	0.958	6	60.79	19.64	0.804*
PM10	0.925	6	46.93	3.88	0.545*
PM4	0.940	6	40.08	3.45	0.658*
PM2.5	0.943	6	36.39	2.92	0.683*
PM1	0.944	6	31.57	2.51	0.695*
Occupational Parameters					
Inhalable	0.930	6	59.79	17	0.582*
Thoracic	0.913	6	51.03	3.7	0.459*
Respirable.	0.949	6	46.18	2.62	0.733*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters โดยใช้สถิติการทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าพารามิเตอร์ TSP มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนกระบวนการทดสอบขับซีที่ความเร็ว 50 km/hr มีความแตกต่างจากกระบวนการทดสอบขับซีที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดย TSP (P -value = 0.037*) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $60.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับซีที่ความเร็ว 50 km/hr $44.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในตารางที่ 4.66

ตารางที่ 4.66 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยแบ่งตามพารามิเตอร์ระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test							
parameter	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิง มวล (µg/m³)		Mean Rank	Mann- Whitney U Test	P-value
			Mean	SD			
Environmental Parameters							
TSP	50 km/hr	6	44.44	16.06	4.33	5.00	0.037*
	100 km/hr	6	60.79	19.64	8.67		
PM10	50 km/hr	6	39.89	18.23	8.50	6.00	0.055
	100 km/hr	6	46.93	3.88	0.00		
PM4	50 km/hr	6	32.93	14.65	8.50	6.00	0.055
	100 km/hr	6	40.08	3.45	0.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อจำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่า พารามิเตอร์ PM1 มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในขั้นตอนกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr มีความแตกต่างจากกระบวนการทดสอบการขับชี้ที่ความเร็ว 100 km/hr อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดย PM1 (P -value = 0.045*) มีความเข้มข้นเชิงมวลที่ความเร็ว 100 km/hr เท่ากับ $36.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มากกว่าการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr $27.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในตารางที่ 4.67

ตารางที่ 4.67 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยแบ่งตามพารามิเตอร์ระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ของน้ำมัน B30 โดยใช้สถิติ Independent T-Test

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
parameter	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	ความเข้มข้นเชิงมวล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mean Difference	SE.	P- value
			Mean	SD			
Environmental Parameters							
PM2.5	50 km/hr	6	27.66	11.70	8.73	8.78	0.061
	100 km/hr	6	36.39	2.92			
PM1	50 km/hr	6	22.37	9.31	9.20	6.80	0.045*
	100 km/hr	6	31.57	2.51			
Occupational Parameters							
Inhalable dust	50 km/hr	6	44.56	21.98	15.23	4.98	0.163
	100 km/hr	6	59.79	17.00			
Thoracic dust	50 km/hr	6	42.30	22.18	8.73	18.48	0.296
	100 km/hr	6	51.03	3.70			
Respirable dust	50 km/hr	6	39.08	21.18	7.10	18.56	0.465
	100 km/hr	6	46.18	2.62			

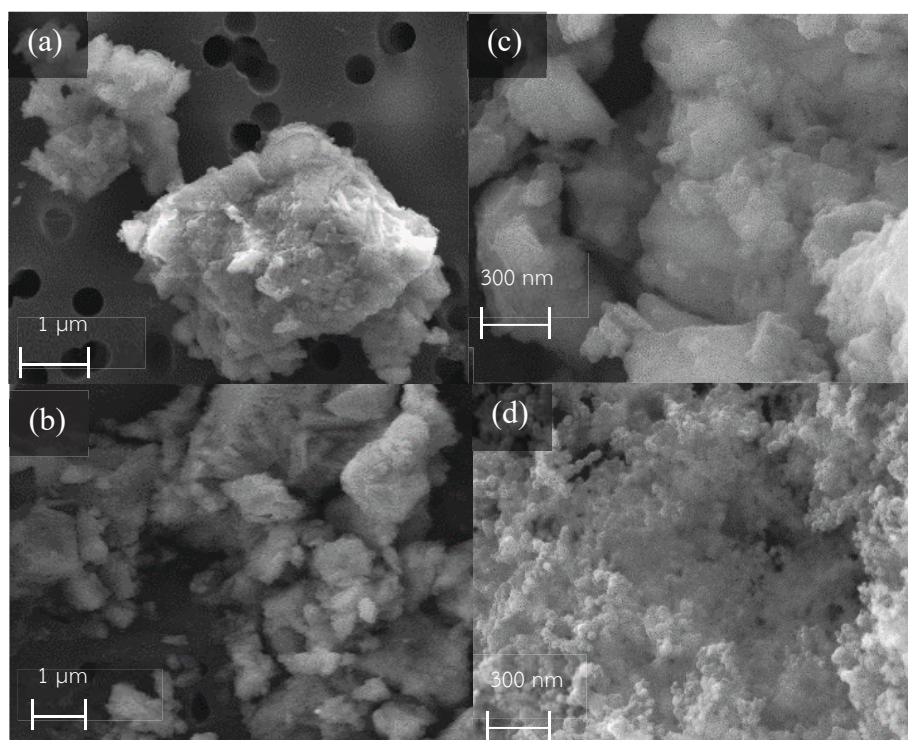
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาค

3.1) สัณฐานวิทยาของอนุภาค

ลักษณะรูปร่างของอนุภาคที่ปล่อยออกจากการเผาไหม้ B30 ถูกตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยสนามเปล่ง (Field Emission Scanning Electron Microscopy; FESEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 30,000 เท่า โดยภาพตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4

ในสภาวะการขับเคลื่อนด้วยความเร็วต่ำ (50 km/hr) อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดระหว่าง 110–175 nm และมักรวมตัวกันเป็นกลุ่มที่หลวม แสดงดังรูปที่ 4.25(c) พื้นผิวอนุภาคค่อนข้างเรียบและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างบ่งชี้ถึงการหลอมรวมบางส่วนหรือการรวมตัวที่ไม่สมบูรณ์ในระหว่างกระบวนการก่อตัว ในทางตรงกันข้าม เมื่อทดสอบที่ความเร็วสูง (100 km/hr) อนุภาคมีขนาดเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญ คือระหว่าง 40–70 nm และแสดงให้เห็นรูปร่างที่แน่นขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.25(d) ซึ่งสังเกตโหมดการรวมตัวของอนุภาคได้สองลักษณะ ได้แก่ Aggregation อนุภาคจับกลุ่มกันอย่างหลวม มีช่องว่างระหว่างกันค่อนข้างกว้าง Agglomeration อนุภาคหลอมรวมเป็นก้อนแน่น มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ความแตกต่างด้านรูปร่างเหล่านี้มีผลต่อพิษวิทยาและพฤติกรรมในสิ่งแวดล้อม อนุภาคที่รวมตัวหลวมมักมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ส่งผลให้สามารถดูดซับสารพิษหรือเข้าร่วมปฏิกิริยารองในบรรยากาศได้มากกว่า ขณะที่ก้อนอนุภาคที่หลอมรวมแน่น แม้อาจมีขนาดใหญ่กว่า แต่มีปฏิกิริยาพื้นผิวน้อยกว่า เนื่องจากการเข้าถึงผิวน้อยและมีความหนาแน่นในทั้งสองสภาวะความเร็ว อนุภาคที่พบส่วนใหญ่มีลักษณะทรงกลมหรือใกล้เคียงทรงกลม พื้นผิวไม่เรียบและเป็นรูพรุน คุณสมบัติของพื้นผิวประกอบด้วยโครงสร้างขนาดเล็ก หยาบ และขอบเขตไม่คมชัด

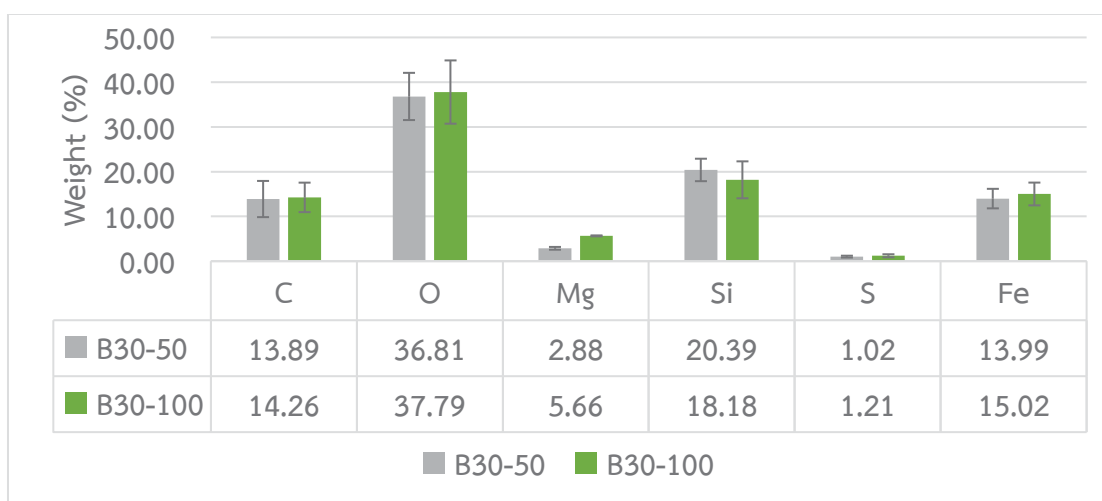


รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาภายนอกของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมัน B30
 a) ความเร็ว 50 km/hr กำลังขยาย 5,000 เท่า b) ความเร็ว 100 km/hr กำลังขยาย 5,000 เท่า
 c) ความเร็ว 50 km/hr กำลังขยาย 10,000 เท่า d) ความเร็ว 100 km/hr กำลังขยาย 10,000 เท่า

3.2) องค์ประกอบธาตุของอนุภาค

องค์ประกอบธาตุของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ไบโอดีเซล B30 ในเครื่องยนต์ดีเซลรุ่นเก่า วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับระบบ EDS (FESEM-EDS) ภายใต้สภาวะการขับขี่ที่ความเร็วต่ำ 50 km/hr และความเร็วสูง 100 km/hr ผลการวิเคราะห์สรุปแสดงในรูปที่ 4.27

การขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr องค์ประกอบหลักตามสัดส่วนโดยน้ำหนัก ได้แก่ ออกซิเจน 36.81% ซิลิกอน 20.39% คาร์บอน 13.89% และเหล็ก 13.99% ขณะที่ในการขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr พบว่าออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 37.79% ซิลิกอนลดลงเป็น 18.18% คาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 14.26% และเหล็กเพิ่มขึ้นเป็น 15.02% เมื่อพิจารณาในเชิงอัตราส่วน พบว่าออกซิเจน คาร์บอน เหล็ก แมกนีเซียม และกำมะถันภายใต้ความเร็ว 100 km/hr มีค่าสูงกว่าสภาวะ 50 km/hr เท่ากับ 1.03, 1.03, 1.07, 1.97 และ 1.19 เท่าตามลำดับ ในขณะที่ซิลิกอน ภายใต้ความเร็ว 100 km/hr มีค่าน้อยกว่าสภาวะ 50 km/hr เท่ากับ 0.28 เท่า



รูปที่ 4.27 องค์ประกอบธาตุภายนอกต่อการเผาไหม้เครื่องยนต์ไบโอดีเซล B30 ของกระบวนการทดสอบในช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูง

3.3) ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลขององค์ประกอบธาตุ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ขององค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 50 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าการกระจายตัวของธาตุ C, O, Mg, Si, S และ Fe มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.68

ตารางที่ 4.68 การทดสอบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อที่ความเร็ว 50 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		P-value
			Mean	SD	
C	0.963	3.000	13.89	1.395	0.628*
O	0.974	3.000	36.81	6.404	0.688*
Mg	0.873	3.000	2.88	5.413	0.304*
Si	0.933	3.000	20.39	2.155	0.499*
S	0.822	3.000	1.02	0.786	0.168*
Fe	0.768	3.000	13.99	5.333	0.140*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล ขององค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันประเภท B30 จากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะความเร็ว 100 km/hr โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95 เปอร์เซนต์ พบว่าการกระจายตัวของธาตุ C, O, Mg, Si, S และ Fe มีการกระจายตัวแบบปกติ แสดงในตารางที่ 4.69

ตารางที่ 4.69 การทดสอบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อที่ความเร็ว 100 km/hr ของน้ำมัน B30

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test					
พารามิเตอร์	Statistic	df	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		P-value
			Mean	SD	
C	0.950	3.000	14.26	4.149	0.571*
O	0.976	3.000	37.79	2.551	0.703*
Mg	0.959	3.000	5.66	0.846	0.610*
Si	0.977	3.000	18.18	4.186	0.708*
S	0.999	3.000	1.21	0.243	0.948*
Fe	0.965	3.000	15.02	2.251	0.639*

หมายเหตุ : P-value >0.05 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุ โดยใช้สถิติการทดสอบ Independent T-Test พบว่าองค์ประกอบธาตุของการขับชี้ที่ความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.70

ตารางที่ 4.70 การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุภายนอกท่อระหว่างความเร็ว 50 km/hr และ 100 km/hr

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ Independent T-Test							
พารามิเตอร์	ความเร็ว	จำนวน (ครั้ง)	องค์ประกอบธาตุ (ร้อยละ)		Mean Difference	SE.	P-value
			Mean	SD			
C	50 km/hr	3	13.89	1.40	0.37	2.754	0.304
	100 km/hr	3	14.26	4.15			
O	50 km/hr	3	36.81	6.40	0.98	3.853	0.525
	100 km/hr	3	37.79	2.55			
Mg	50 km/hr	3	2.88	5.41	2.78	4.567	0.478
	100 km/hr	3	5.66	0.85			
Si	50 km/hr	3	20.39	2.16	2.21	2.031	0.901
	100 km/hr	3	18.18	4.19			
S	50 km/hr	3	1.02	0.79	0.19	0.543	0.614
	100 km/hr	3	1.21	0.24			
Ca	50 km/hr	3	13.99	0.82	1.03	0.186	0.815
	100 km/hr	3	15.02	1.00			
Fe	50 km/hr	3	13.89	5.33	0.37	3.082	0.963
	100 km/hr	3	14.26	2.25			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.4. การวิเคราะห์เปรียบเทียบอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิง 3 ประเภท ได้แก่ B7, B20 และ B30

4.4.1. การวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนของน้ำมัน 3 ประเภท

การกระจายตัวของความเข้มข้นเชิงจำนวนของทั้ง 3 น้ำมัน ภายในท่อมีขนาดของการตรวจวัดเริ่มในช่วงขนาด 6.04-523.3 nm โดยอนุภาค จะมีพีคเกิดขึ้น 2 ช่วง คือช่วงแรก 6-20 nm และในช่วงที่ 2 พบว่าอยู่ในช่วง 25-100 nm ในขณะที่การกระจายตัวของความเข้มข้นเชิงจำนวนภายนอกท่อ มีขนาดในช่วงในการตรวจวัด 10.18-1,000 nm โดยอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 10.18-200 nm

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายนอกท่อไอเสีย พบว่า B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (8.61×10^5 particles/cm³) รองลงมาคือ B30 (6.21×10^5 particles/cm³) และ B7 มีค่าต่ำสุด (3.86×10^5 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 2.23 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.39 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.61 เท่า ขนาดอนุภาค ค่า GMD ของ B20 (21.45 nm) สูงกว่า B30 (21.30 nm) และ B7 (20.37 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (a)

ที่ความเร็ว 50 km/hr ภายนอกท่อไอเสีย B30 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (2.04×10^6 particles/cm³) รองลงมาคือ B7 (1.24×10^6 particles/cm³) และ B20 มีค่าต่ำสุด (1.24×10^6 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B30 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.65 เท่า และสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.81 เท่า ขณะที่ B7 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.10 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B20 (29.50 nm) สูงกว่า B7 (26.70 nm) และ B30 (22.10 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (b)

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายนอกท่อไอเสีย พบว่า B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (1.04×10^6 particles/cm³) รองลงมาคือ B30 (4.58×10^5 particles/cm³) และ B7 มีค่าต่ำสุด (3.07×10^5 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 3.39 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 2.27 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.49 เท่า ขนาดอนุภาค ค่า GMD ของ B7 (24.40 nm) สูงกว่า B20 (26.63 nm) และ B30 (20.44 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (c)

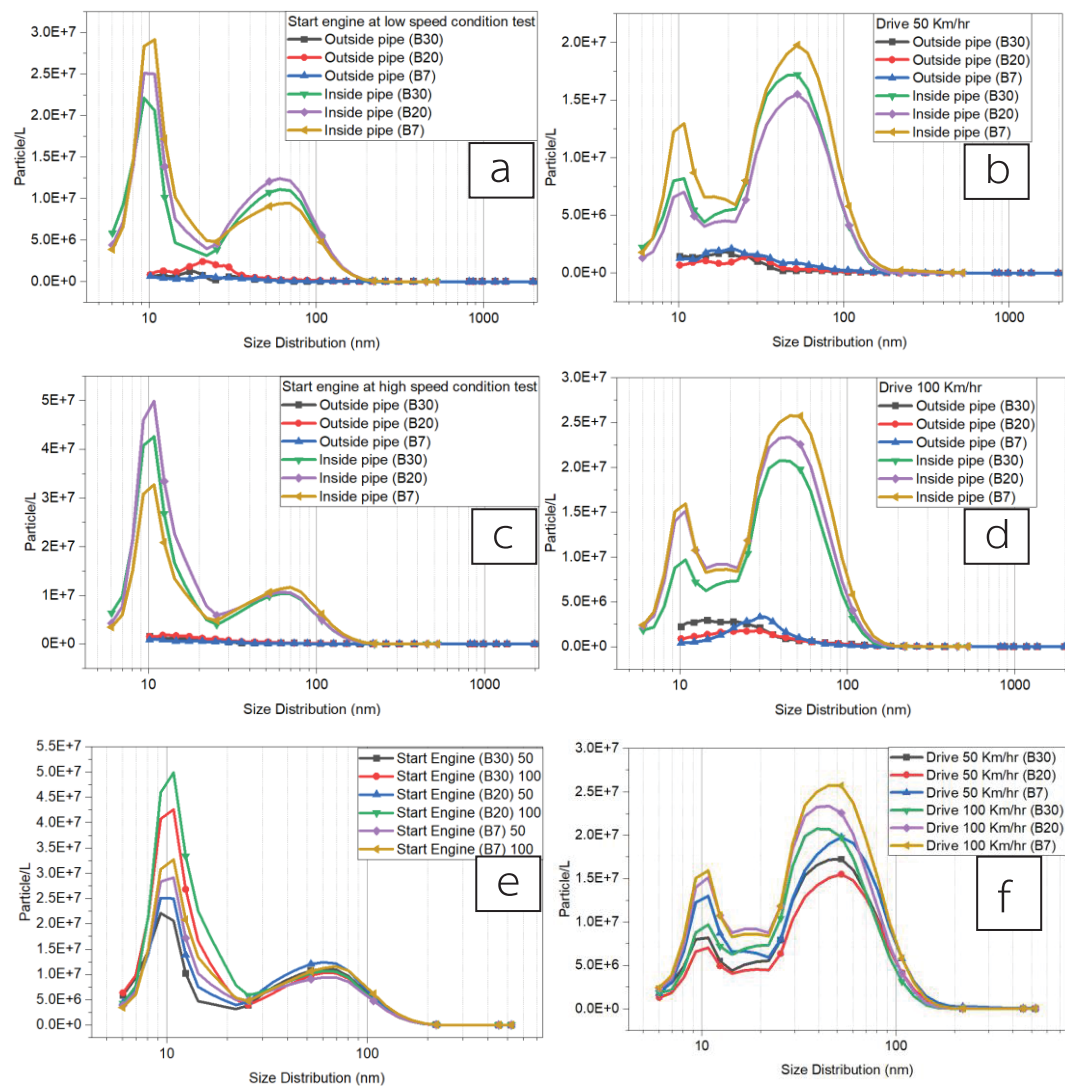
ที่ความเร็ว 100 km/hr ภายนอกท่อไอเสีย B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (1.37×10^6 particles/cm³) รองลงมาคือ B30 (8.68×10^5 particles/cm³) และ B20 มีค่าต่ำสุด (7.45×10^5 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.84 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.58 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.17 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (d)

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายในท่อไอเสีย พบว่า B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (1.38×10^7 particles/cm³) รองลงมาคือ B7 (1.35×10^7 particles/cm³) และ B30 มีค่าต่ำสุด (1.22×10^7 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.02 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.13 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 0.9 เท่า ขนาดอนุภาค ค่า GMD ของ B20 (24.99 nm) สูงกว่า B30 (24.39 nm) และ B7 (22.83 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (a)

ที่ความเร็ว 50 km/hr ภายในท่อไอเสีย B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1.47×10^7 particles/cm³) รองลงมาคือ B30 (1.20×10^7 particles/cm³) และ B20 มีค่าต่ำสุด (1.06×10^7 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.30 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.23 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.13 เท่า ขนาดอนุภาค ค่า GMD ของ B20 (36.60 nm) สูงกว่า B7 (36.22 nm) และ B30 (35.31 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (b)

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายในท่อไอเสีย พบว่า B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1.99×10^7 particles/cm³) รองลงมาคือ B30 (1.74×10^7 particles/cm³) และ B7 มีค่าต่ำสุด (1.55×10^7 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.28 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.14 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.12 เท่า ขนาดอนุภาค ค่า GMD ของ B7 (25.58 nm) สูงกว่า B30 (20.97 nm) และ B20 (20.01 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (c)

ที่ความเร็ว 100 km/hr ภายในท่อไอเสีย B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1.87×10^7 particles/cm³) รองลงมาคือ B20 (1.70×10^7 particles/cm³) และ B30 มีค่าต่ำสุด (1.38×10^7 particles/cm³) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.10 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.36 เท่า ขณะที่ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.2 เท่า ค่า GMD ของ B30 (34.14 nm) สูงกว่า B20 (33.79 nm) และ B7 (33.74 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (b)



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบการกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค ภายในท่อ และ ภายนอกท่อ โดยใช้เชื้อเพลิง 3 ประเภทที่แตกต่างกัน

- a) การทดสอบขณะติดเครื่องยนต์ b) ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr
c) ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr d) หลังการทดสอบ

การทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนทั้ง 3 น้ำมัน ได้แก่ B7 B20 และ B30 โดยใช้สถิติการทดสอบ One-Way ANOVA พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค ในขณะติดเครื่องยนต์โดยการการตรวจวัดภายนอกท่อ มีความแตกต่างกันของทั้ง 3 น้ำมัน (P -value = 0.000*) และความเข้มข้นเชิงจำนวนของการขับชี้ที่ความเร็วโดยการตรวจวัดภายในท่อ มีความแตกต่างกันของทั้ง 3 น้ำมัน (P -value = 0.004*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.71

ตารางที่ 4.71 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนโดยแบ่งตามพารามิเตอร์น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA							
พารามิเตอร์	การตรวจวัด		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
ก่อนการทดสอบ	ภายนอกท่อ	Between Groups	8.51E+10	2	4.26E+10	0.635	0.536
		Within Groups	2.21E+12	33	6.71E+10		
		Total	2.30E+12	35			
ขณะติดเครื่องยนต์	ภายนอกท่อ	Between Groups	2.29E+12	2	1.14E+12	14.709	0.000*
		Within Groups	2.57E+12	33	7.78E+10		
		Total	4.86E+12	35			
ขับชี้ที่ความเร็ว	ภายนอกท่อ	Between Groups	2.56E+12	2	1.28E+12	2.595	0.084
		Within Groups	2.52E+13	51	4.94E+11		
		Total	2.78E+13	53			

ตารางที่ 4.58 (ต่อ) ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนโดยแบ่งตามพารามิเตอร์ น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA							
พารามิเตอร์	การตรวจวัด		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
หลังการทดสอบ	ภายนอกท่อ	Between Groups	1.41E+11	2	7.03E+10	0.143	0.867
		Within Groups	3.38E+13	69	4.90E+11		
		Total	3.40E+13	71			
ก่อนการทดสอบ	ภายในท่อ	Between Groups	2.00E+12	2	9.99E+11	1.001	0.378
		Within Groups	3.29E+13	33	9.97E+11		
		Total	3.49E+13	35			
ขณะติดเครื่องยนต์	ภายในท่อ	Between Groups	5.27E+13	2	2.63E+13	0.582	0.564
		Within Groups	1.49E+15	33	4.52E+13		
		Total	1.55E+15	35			
ข้อชี้ที่ความเร็ว	ภายในท่อ	Between Groups	1.56E+14	2	7.79E+13	6.039	0.004*
		Within Groups	6.58E+14	51	1.29E+13		
		Total	8.13E+14	53			
หลังการทดสอบ	ภายในท่อ	Between Groups	1.17E+13	2	5.84E+12	0.782	0.462
		Within Groups	5.16E+14	69	7.47E+12		
		Total	5.27E+14	71			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าของความเข้มข้นเชิงจำนวนทั้ง 3 น้ำมัน ได้แก่ B7 B20 และ B30 มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ ในขณะที่ติดเครื่องยนต์ ที่การตรวจวัดภายนอกท่อ และการขับขึ้นที่ความเร็วโดยตรวจวัดภายในท่อ จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD

พบว่า พารามิเตอร์ในขณะที่ติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B7 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงจำนวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B20 (9.52×10^5 particles/cm³) มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงกว่าน้ำมัน B7 (3.47×10^5 particles/cm³) และความเข้มข้นเชิงจำนวนของน้ำมัน B20 กับ B30 มีความเข้มข้นเชิงจำนวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B20 (9.52×10^5 particles/cm³) มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงกว่าน้ำมัน B30 (5.04×10^5 particles/cm³) เมื่อเรียงลำดับความเข้มข้นเชิงจำนวนในขณะที่ติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อพบว่าน้ำมัน B20 (9.52×10^5 particles/cm³) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด รองลงมาคือ B30 (5.04×10^5 particles/cm³) และน้อยที่สุดคือ B7 (3.47×10^5 particles/cm³)

ในการขับขึ้นที่ความเร็วการตรวจวัดภายในท่อระหว่างน้ำมัน B7 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงจำนวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B7 (1.69×10^7 particles/cm³) มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงกว่าน้ำมัน B20 (1.38×10^7 particles/cm³) และความเข้มข้นเชิงจำนวนของน้ำมัน B7 กับ B30 มีความเข้มข้นเชิงจำนวนแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B7 (1.69×10^7 particles/cm³) มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงกว่าน้ำมัน B30 (1.29×10^7 particles/cm³) โดยการขับขึ้นที่ความเร็วจากการตรวจวัดภายในท่อน้ำมัน B7 มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด รองลงมาคือ B20 และน้อยที่สุดคือ B30 เมื่อเรียงลำดับความเข้มข้นเชิงจำนวนในการขับขึ้นที่ความเร็วจากการตรวจวัดภายในท่อพบว่าน้ำมัน B7 (1.69×10^7 particles/cm³) มีค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด รองลงมาคือ B20 (1.38×10^7 particles/cm³) และน้อยที่สุดคือ B30 (1.29×10^7 particles/cm³) ดังตารางที่ 4.72

ตารางที่ 4.72 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนโดยแบ่งตามพารามิเตอร์น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยแยกน้ำมัน โดยใช้ LSD สถิติ One-Way ANOVA						
พารามิเตอร์	การตรวจวัด			Mean Difference	Std. Error	Sig.
ขณะติดเครื่องยนต์	ภายนอกท่อ	B7	B20	-6.05+05	1.14E+05	0.000*
			B30	-1.93E+05	1.14E+05	0.100
		B20	B7	6.05+05	1.14E+05	0.000*
			B30	4.12+05	1.14E+05	0.001
		B30	B7	1.93E+05	1.14E+05	0.100
			B20	-4.12E+05	1.14E+05	0.001*
ข้อผิดพลาด	ภายในท่อ	B7	B20	30.89 E+05	1.20E+06	0.013*
			B30	39.57E+05	1.20E+06	0.002*
		B20	B7	-30.89E+05	1.20E+06	0.013*
			B30	8.68E+05	1.20E+06	0.472
		B30	B7	-39.57E+05	1.20E+06	0.002*
			B20	-8.68E+05	1.20E+06	0.472

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.4.2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลของน้ำมัน 3 ประเภท

การกระจายตัวของความเข้มข้นเชิงมวลของทั้ง 3 น้ำมัน ภายในท่อมีขนาดของการตรวจวัดเริ่มในช่วงขนาด 6.04-523.3 nm โดยอนุภาค จะมีฟีกเกิดขึ้น 2 ช่วง คือช่วงแรก 6-20 nm และในช่วงที่ 2 พบว่าอยู่ในช่วง 25-100 nm ในขณะที่การกระจายตัวของความเข้มข้นเชิงมวลภายนอกท่อ มีขนาดในช่วงในการตรวจวัด 10.18-1,000 nm โดยอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 10.18-200 nm

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายนอกท่อไอเสีย พบว่า B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด ($80.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B30 ($74.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B7 มีค่าต่ำสุด ($47.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.69 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.08 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.56 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B7 (258.3 nm) สูงกว่า B20 (217.9 nm) และ B20 (161.3 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (a)

ที่ความเร็ว 50 km/hr ภายนอกท่อไอเสีย พบว่า B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด ($184.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B30 ($154.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B20 มีค่าต่ำสุด ($105.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.74 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.19 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.46 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B7 (280.49 nm) สูงกว่า B30 (214.29 nm) และ B20 (175.28 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (b)

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายนอกท่อไอเสีย พบว่า B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด ($73.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B30 ($47.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B7 มีค่าต่ำสุด ($40.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.82 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.53 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.19 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B30 (316.8 nm) สูงกว่า B7 (253.8 nm) และ B20 (156.5 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (a)

ที่ความเร็ว 100 km/hr ภายนอกท่อไอเสีย B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด ($108.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B20 ($86.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B30 มีค่าต่ำสุด ($83.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.25 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.30 เท่า ขณะที่ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.04 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B30 (284.78 nm) สูงกว่า B20 (263.3 nm) และ B7 (200.31 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (a)

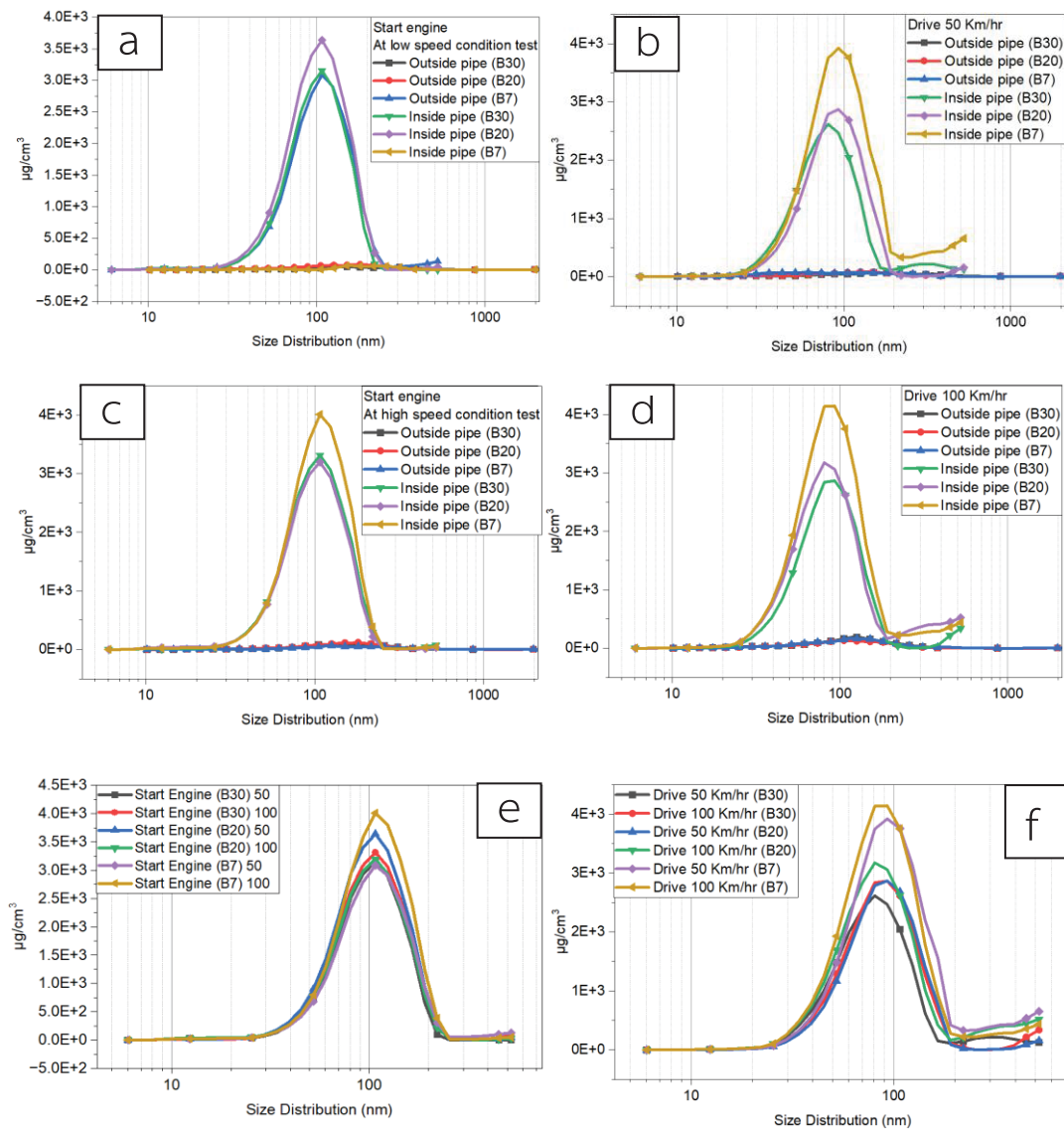
เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายในท่อไอเสีย B20 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด ($1,564.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B7 ($1,346.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B30 มีค่าต่ำสุด ($1,313.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B20 มีความเข้มข้นสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.16 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.19 เท่า ขณะที่ B7 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.03 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B7 (135.12 nm) สูงกว่า B20 (101.82 nm) และ B30 (94.03 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (a)

ที่ความเร็ว 50 km/hr ภายในท่อไอเสีย B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด ($2,644.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B20 ($1,247.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B30 มีค่าต่ำสุด ($1,189.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 2.12 เท่า และสูงกว่า B30

เท่ากับ 2.22 เท่า ขณะที่ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.05 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B20 (102.13 nm) สูงกว่า B7 (91.45 nm) และ B30 (76.7 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (b)

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ภายในท่อไอเสีย พบว่า B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1,686.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B30 (1,436.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B20 มีค่าต่ำสุด (1,375.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.23 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.17 เท่า ขณะที่ B30 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.04 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B7 (121.4 nm) สูงกว่า B30 (113.34 nm) และ B20 (99.83 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (b)

ที่ความเร็ว 100 km/hr ภายในท่อไอเสีย B7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1,952.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาคือ B20 (1,543.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ B30 มีค่าต่ำสุด (1,289.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณ พบว่า B7 มีความเข้มข้นสูงกว่า B20 เท่ากับ 1.26 เท่า และสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.51 เท่า ขณะที่ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.20 เท่า ขนาดอนุภาค GMD ของ B7 (87.22 nm) สูงกว่า B30 (85.96 nm) และ B20 (87.01 nm) ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (b)



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบการกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาค ภายในท่อ และภายนอกท่อ โดยใช้เชื้อเพลิง 3 ประเภทที่แตกต่างกัน
 a) การทดสอบขณะติดเครื่องยนต์ b) ขับขี่ที่ความเร็ว 50 km/hr
 c) ขับขี่ที่ความเร็ว 100 km/hr d) หลังการทดสอบ

การทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 3 น้ำมัน ได้แก่ B7 B20 และ B30 โดยใช้สถิติการทดสอบ One-Way ANOVA พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาค ขับขี่ที่ความเร็ว ที่การตรวจวัดภายในท่อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการใช้น้ำมัน 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4.73

ตารางที่ 4.73 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยแบ่งตามพารามิเตอร์น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA							
พารามิเตอร์	การตรวจวัด		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
ก่อนการทดสอบ	ภายนอกท่อ	Between Groups	7.20E+02	2	3.60E+02	0.821	0.449
		Within Groups	1.45E+04	33	4.38E+02		
		Total	1.52E+04	35			
ขณะติดเครื่องยนต์	ภายนอกท่อ	Between Groups	6.52E+03	2	3.26E+03	1.336	0.277
		Within Groups	8.05E+04	33	2.44E+03		
		Total	8.71E+04	35			
ขับเคลื่อนที่ความเร็ว	ภายนอกท่อ	Between Groups	2.27E+04	2	1.13E+04	2.689	0.078
		Within Groups	2.15E+05	51	4.22E+03		
		Total	2.38E+05	53			
หลังการทดสอบ	ภายนอกท่อ	Between Groups	1.69E+04	2	8.44E+03	2.092	0.131
		Within Groups	2.79E+05	69	4.04E+03		
		Total	2.95E+05	71			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.73 (ต่อ) ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยแบ่งตามพารามิเตอร์ น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA							
พารามิเตอร์	การ ตรวจวัด		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
ก่อนการ ทดสอบ	ภายในท่อ	Between Groups	3.10E+04	2	1.55E+04	0.805	0.456
		Within Groups	6.35E+05	33	1.92E+04		
		Total	6.66E+05	35			
ขณะติด เครื่องยนต์	ภายในท่อ	Between Groups	1.39E+05	2	6.96E+04	0.645	0.531
		Within Groups	3.56E+06	33	1.08E+05		
		Total	3.70E+06	35			
ข้อชี้ที่ ความเร็ว	ภายในท่อ	Between Groups	1.15E+07	2	5.74E+06	8.214	0.001*
		Within Groups	3.56E+07	51	6.98E+05		
		Total	4.71E+07	53			
หลังการ ทดสอบ	ภายในท่อ	Between Groups	2.80E+05	2	1.40E+05	1.215	0.303
		Within Groups	7.96E+06	69	1.15E+05		
		Total	8.24E+06	71			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าของความเข้มข้นเชิงมวลทั้ง 3 น้ำมัน ได้แก่ B7 B20 และ B30 มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ ในขณะติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อ จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD

พบว่าพารามิเตอร์ในขณะติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B7 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B20 ($76.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B7 ($44.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และความเข้มข้นเชิงมวลของน้ำมัน B7 กับ B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B20 ($76.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B30 ($61.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเรียงลำดับความเข้มข้นเชิงมวลในขณะติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อพบว่าน้ำมัน B7 ($44.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B20 ($76.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B30 ($61.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 4.74

ตารางที่ 4.74 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยแบ่งตามพารามิเตอร์น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยแยกน้ำมัน โดยใช้ LSD สถิติ One-Way ANOVA						
พารามิเตอร์	การตรวจวัด		Mean Difference		Std. Error	Sig.
ขณะติดเครื่องยนต์	ภายนอกท่อ	B7	B20	890.208*	278.57	0.002*
			B30	1,046.614*	278.57	0.000*
		B20	B7	-890.208*	278.57	0.002*
			B30	156.41	278.57	0.577
		B30	B7	-1,046.614*	278.57	0.000*
			B20	-156.41	278.57	0.577

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.4.3.การวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนของน้ำมัน 3 ประเภท

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental parameters) ขณะการขับขีที่ความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยเปรียบเทียบน้ำมัน 3 ประเภท ดังนี้

พารามิเตอร์ความเข้มข้นของฝุ่นรวม (Total Suspended Particles: TSP) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($44.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($28.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($16.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วสูงมีแนวโน้มในลักษณะคล้ายกัน ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($60.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($32.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($30.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(a)

พารามิเตอร์ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($39.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($17.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($15.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วสูง ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($46.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($30.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($26.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(b)

พารามิเตอร์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดไม่เกิน 4 ไมครอน (PM4) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($18.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($11.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วสูง ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($24.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($17.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($10.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(c)

พารามิเตอร์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($27.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($12.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($12.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วสูง ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($36.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($25.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($18.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(d)

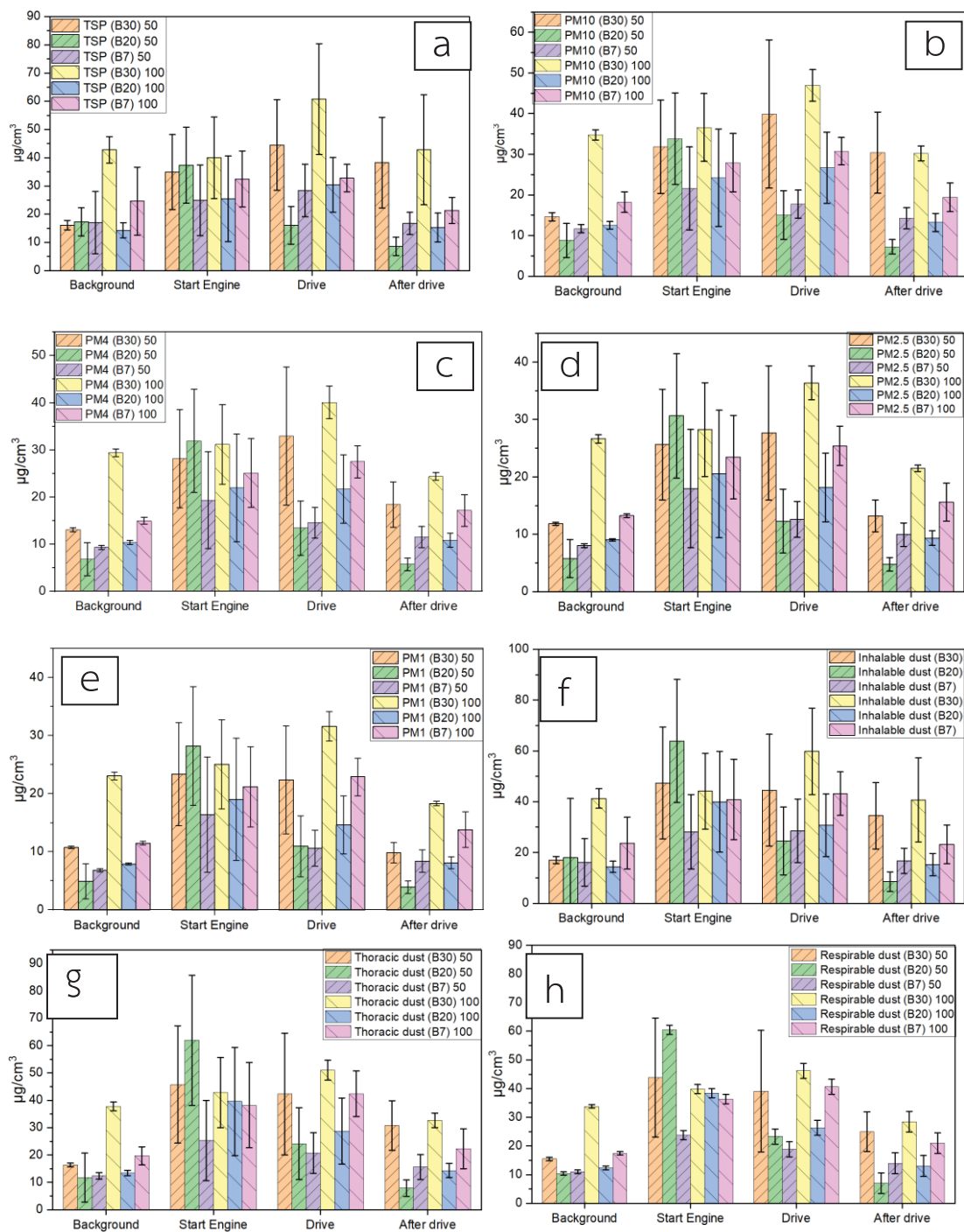
พารามิเตอร์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (PM1) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($22.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B20 ($10.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B7 ($10.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขับขีด้วยความเร็วสูง ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($31.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($22.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($14.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(e)

ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลในบรรยากาศจำแนกตามปัจจัยด้านอาชีพอนามัย (Occupational parameters) ขณะการขุดที่ความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยเปรียบเทียบน้ำมัน 3 ประเภท

ดังนั้น พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ (Inhalable dust) ในขณะการขุดด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($44.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B20 ($24.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B7 ($28.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขุดด้วยความเร็วต่ำมีแนวโน้มในลักษณะคล้ายกัน ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($59.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($43.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($30.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(f)

พารามิเตอร์อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (Thoracic dust) ในขณะการขุดด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($42.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B20 ($24.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B7 ($20.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขุดด้วยความเร็วต่ำ ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($51.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($42.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($28.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(g)

พารามิเตอร์อนุภาคที่สามารถเข้าถึงถุงลมปอด (Respirable dust) ในขณะการขุดด้วยความเร็วต่ำ พบความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($39.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B20 ($23.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B7 ($18.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะการขุดด้วยความเร็วต่ำ ความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลสูงที่สุด คือ น้ำมันประเภท B30 ($46.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) รองลงมาน้ำมันประเภท B7 ($40.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และต่ำที่สูदन้ำมันประเภท B20 ($26.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30(h)



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลจำแนกตามปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม และอาชีวอนามัย
ตรวจวัดภายนอกท่อ โดยใช้เชื้อเพลิง 3 ประเภท a) TSP b) PM10 c) PM4 d) PM2.5 e) PM1 f)
Inhalable dust g) Thoracic dust h) Respirable dust

การทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นเชิงมวลจากการตรวจวัดภายในท่อตามกระบวนการทดสอบขณะปั๊มซีที่ความเร็ว ของน้ำมัน 3 ประเภท ได้แก่ B7, B20 และ B30 จำแนกตาม Environmental และ Occupational Parameters โดยใช้สถิติการทดสอบ One-Way ANOVA Test พบว่าพารามิเตอร์ ดังนี้

TSP มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ TSP ($P\text{-value} = 0.035^*$) โดยน้ำมัน B30 ($38.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B7 ($30.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B7 ($20.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะปั๊มซีที่ความเร็วมีค่า TSP ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.004^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

PM10 มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ PM10 ($P\text{-value} = 0.017^*$) โดยน้ำมัน B30 ($32.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B7 ($24.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($18.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะปั๊มซีที่ความเร็วมีค่า PM10 ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.005^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

PM4 มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ PM10 ($P\text{-value} = 0.019^*$) โดยน้ำมัน B30 ($27.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B7 ($21.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($15.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะปั๊มซีที่ความเร็วมีค่า PM4 ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.005^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

PM2.5 มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ PM2.5 ($P\text{-value} = 0.014^*$) โดยน้ำมัน B30 ($24.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B7 ($19.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($13.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะปั๊มซีที่ความเร็วมีค่า PM2.5 ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.004^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

PM1 มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ PM1 ($P\text{-value} = 0.010^*$) โดยน้ำมัน B30 ($21.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B7 ($16.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($11.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะขับขี่ที่ความเร็วมีค่า PM1 ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.003^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

Inhalable dust มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Inhalable dust ($P\text{-value} = 0.012^*$) โดยน้ำมัน B30 ($41.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด รองลงมาคือ B7 ($36.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($25.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะขับขี่ที่ความเร็วมีค่า Inhalable dust ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.004^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20 และ พบว่าพารามิเตอร์ในขณะขับขี่ที่ความเร็วมีค่า Inhalable dust ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B7 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.049^*$) โดยน้ำมัน B7 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

Thoracic dust มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Thoracic dust ($P\text{-value} = 0.022^*$) โดยน้ำมัน B30 ($38.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด รองลงมาคือ B7 ($31.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($24.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะขับขี่ที่ความเร็วมีค่า Thoracic dust ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.006^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20

Respirable dust มีความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคในน้ำมัน 3 ประเภท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Respirable dust ($P\text{-value} = 0.035^*$) โดยน้ำมัน B30 ($35.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุด รองลงมาคือ B7 ($29.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B20 ($22.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าพารามิเตอร์ในขณะขับขี่ที่ความเร็วมีค่า Respirable dust ของการตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B30 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} = 0.010^*$) โดยน้ำมัน B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B20 ดังแสดงในตารางที่ 4.75

ตารางที่ 4.75 ตารางการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงมวลโดยแบ่งตามพารามิเตอร์น้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA (LSD)						
พารามิเตอร์				Mean Difference	Std. Error	Sig.
TSP	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	17.44	5.71	0.004*
PM10	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	13.71	4.55	0.005*
PM4	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	11.42	3.83	0.005*
PM2.5	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	10.41	3.33	0.004*
PM1	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	9.12	2.80	0.003*
Inhalable dust	ข้อซีที่ความเร็ว	B7	B20	10.87	5.33	0.049*
		B30	B20	16.71	5.33	0.004*
Thoracic dust	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	14.6	5.00	0.006*
Respirable dust	ข้อซีที่ความเร็ว	B30	B20	12.92	4.75	0.010*

4.4.4.การวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้ของน้ำมัน 3 ประเภท

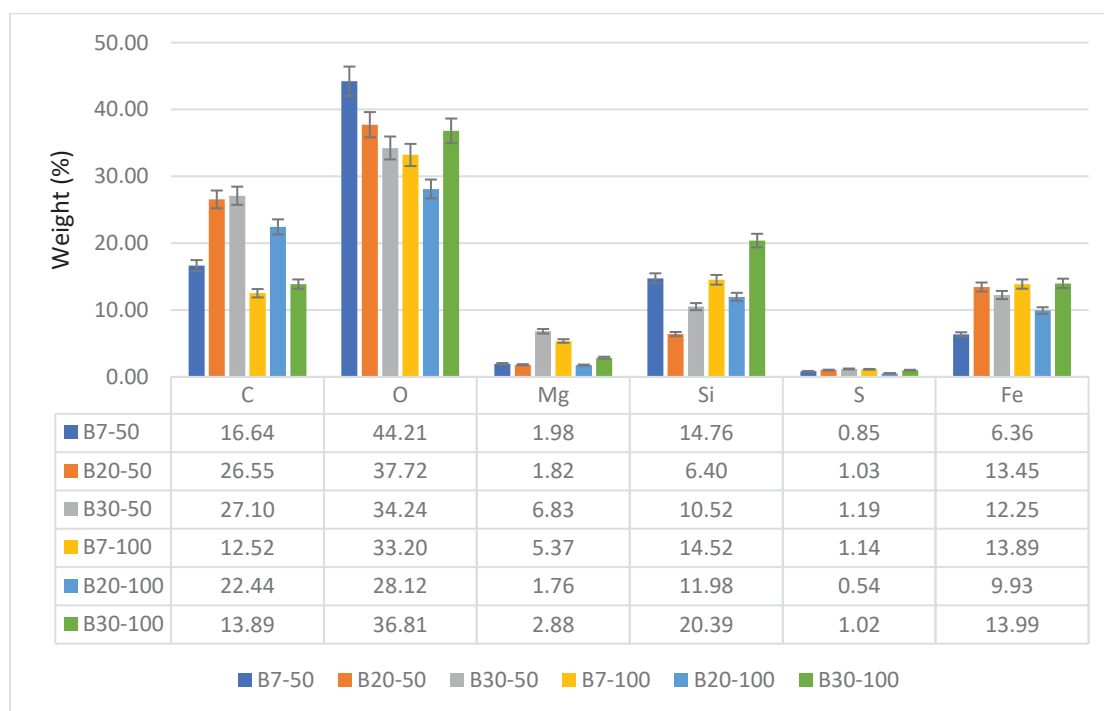
ภายใต้สภาวะการข้อซีที่ความเร็ว 50 และ 100 km/h พบว่า ที่ความเร็ว 50 km/h ธาตุคาร์บอน (C) มีค่า B30 มากที่สุด (27.10%) รองลงมาคือ B20 (26.55%) และน้อยที่สุดคือ B7 (16.64%) โดย B30 และ B20 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.63 และ 1.60 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ธาตุออกซิเจน (O) พบว่า B7 มากที่สุด (44.21%) รองลงมาคือ B20 (37.72%) และน้อยที่สุดคือ B30 (34.24%) โดย B7 และ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.29 และ 1.10 เท่า ตามลำดับ สำหรับธาตุแมกนีเซียม (Mg) พบว่า B30 มากที่สุด (6.83%) รองลงมาคือ B7 (1.98%) และน้อยที่สุดคือ B20 (1.82%) โดย B30 และ B7 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 3.75 และ 1.09 เท่า ตามลำดับ

ส่วนธาตุซิลิกอน (Si) พบว่า B7 มากที่สุด (14.76%) รองลงมาคือ B30 (10.52%) และน้อยที่สุดคือ B20 (6.40%) โดย B7 และ B30 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 2.31 และ 1.64 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ธาตุกำมะถัน (S) พบว่า B30 มากที่สุด (1.19%) รองลงมาคือ B20 (1.03%) และน้อยที่สุดคือ B7 (0.85%) โดย B30 และ B20 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 1.40 และ 1.21 เท่า ตามลำดับ

ในขณะที่ธาตุเหล็ก (Fe) พบว่า B20 มากที่สุด (13.45%) รองลงมาคือ B30 (12.25%) และน้อยที่สุดคือ B7 (6.36%) โดย B20 และ B30 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 2.11 และ 1.93 เท่า ตามลำดับ และธาตุไนโตรเจน (N) พบว่า B20 มากที่สุด (6.42%) รองลงมาคือ B7 (4.64%) และน้อยที่สุดคือ B30 (1.62%) โดย B20 และ B7 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 3.96 และ 2.86 เท่า ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ความเร็ว 100 km/h พบว่า ธาตุคาร์บอน (C) มีค่า B30 มากที่สุด (36.81%) รองลงมาคือ B20 (22.44%) และน้อยที่สุดคือ B7 (12.52%) โดย B30 และ B20 มีค่าสูงกว่า B7 เท่ากับ 2.94 และ 1.79 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ธาตุออกซิเจน (O) พบว่า B7 มากที่สุด (33.20%) รองลงมาคือ B20 (28.12%) และน้อยที่สุดคือ B30 (20.39%) โดย B7 และ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 1.63 และ 1.38 เท่า ตามลำดับ สำหรับธาตุแมกนีเซียม (Mg) พบว่า B30 มากที่สุด (13.99%) รองลงมาคือ B7 (5.37%) และน้อยที่สุดคือ B20 (1.76%) โดย B30 และ B7 มีค่าสูงกว่า B20 เท่ากับ 7.95 และ 3.05 เท่า ตามลำดับ

ส่วนธาตุซิลิกอน (Si) พบว่า B7 มากที่สุด (14.52%) รองลงมาคือ B20 (11.98%) และน้อยที่สุดคือ B30 (6.73%) โดย B7 และ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 2.16 และ 1.78 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ธาตุกำมะถัน (S) พบว่า B7 มากที่สุด (1.14%) รองลงมาคือ B20 (0.54%) และน้อยที่สุดคือ B30 (0.45%) โดย B7 และ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 2.53 และ 1.20 เท่า สำหรับธาตุเหล็ก (Fe) พบว่า B7 มากที่สุด (13.89%) รองลงมาคือ B20 (9.93%) และน้อยที่สุดคือ B30 (0.95%) โดย B7 และ B20 มีค่าสูงกว่า B30 เท่ากับ 14.62 และ 10.45 เท่า ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 องค์ประกอบธาตุจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ไบโอดีเซล B7, B20 และ B30 ของกระบวนการทดสอบในช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูง

ตารางที่ 4.76 ตารางการทดสอบความแตกต่างองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้ของน้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA					
พารามิเตอร์	น้ำมัน	N	Mean	SD	SE
C	B7	6	30.81	5.81	2.37
	B20	6	30.46	5.84	2.39
	B30	6	14.32	5.78	2.36
	Total	18	25.20	9.61	2.27
O	B7	6	46.34	9.73	3.97
	B20	6	41.58	5.49	2.24
	B30	6	37.96	15.43	6.30
	Total	18	41.96	10.92	2.57
Mg	B7	6	6.51	9.81	4.01
	B20	6	2.22	0.63	0.26
	B30	6	4.52	5.11	2.09
	Total	18	4.41	6.27	1.48
Si	B7	6	12.72	6.22	2.54
	B20	6	11.59	5.33	2.18
	B30	6	19.45	12.34	5.04
	Total	18	14.59	8.79	2.07
S	B7	6	1.22	1.15	0.47
	B20	6	1.01	0.65	0.27
	B30	6	1.14	1.25	0.51
	Total	18	1.12	0.99	0.23

ตารางที่ 4.67 (ต่อ) ตารางการทดสอบความแตกต่างองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้ของน้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA					
พารามิเตอร์	น้ำมัน	N	Mean	SD	Std. Error
Fe	B7	6	16.01	9.64	3.94
	B20	6	14.70	8.12	3.32
	B30	6	24.55	26.45	10.80
	Total	18	18.42-	16.52	3.89

การทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุของน้ำมัน 3 ประเภท ได้แก่ B7 B20 และ B30 โดยใช้สถิติการทดสอบ One-Way ANOVA พบว่าธาตุ คาร์บอน (C) ที่ตรวจวัดภายนอกท่อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการใช้น้ำมัน 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4.77

ตารางที่ 4.77 ตารางการทดสอบความแตกต่างองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้ของน้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA						
พารามิเตอร์		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
C	Between Groups	1,064.37	2.00	532.19	15.77	0.000*
	Within Groups	506.33	15.00	33.76		
	Total	1,570.70	17.00			
O	Between Groups	211.54	2.00	105.77	0.87	0.437
	Within Groups	1,815.25	15.00	121.02		
	Total	2,026.80	17.00			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.77 (ต่อ) ตารางการทดสอบความแตกต่างองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้ของน้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA						
พารามิเตอร์		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Mg	Between Groups	55.17	2.00	27.59	0.67	0.306
	Within Groups	614.17	15.00	40.94		
	Total	669.34	17.00			
Si	Between Groups	216.77	2.00	108.39	1.48	0.525
	Within Groups	1,096.63	15.00	73.11		
	Total	1,313.40	17.00			
S	Between Groups	0.13	2.00	0.07	0.06	0.259
	Within Groups	16.56	15.00	1.10		
	Total	16.69	17.00			
Fe	Between Groups	343.40	2.00	171.70	0.60	0.806
	Within Groups	4,293.79	15.00	286.25		
	Total	4,637.18	17.00			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้น้ำมัน 3 ประเภท ได้แก่ B7 B20 และ B30 มีความสัมพันธ์กับ ธาตุคาร์บอน (C) ที่การตรวจวัดภายนอกท่อ จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD

พบว่า พารามิเตอร์ธาตุคาร์บอน (C) ที่การตรวจวัดภายนอกท่อ ระหว่างน้ำมัน B7 กับ B30 และ B20 กับ B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยน้ำมัน B7 มีค่าปริมาณธาตุสูงที่สุด รองลงมาคือ B20 และน้อยที่สุดคือ B30 ดังแสดงในตารางที่ 4.69

พบว่าพารามิเตอร์ในขณะติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อระหว่างน้ำมัน B7 กับ B20 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B20 ($76.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B7 ($44.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และความเข้มข้นเชิงมวลของน้ำมัน B7 กับ B30 มีความเข้มข้นเชิงมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำมัน B20 ($76.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงกว่าน้ำมัน B30 ($61.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเรียงลำดับความเข้มข้นเชิงมวลในขณะติดเครื่องยนต์ที่การตรวจวัดภายนอกท่อพบว่าน้ำมัน B7 ($44.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด รองลงมาคือ B20 ($76.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และน้อยที่สุดคือ B30 ($61.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 4.78

ตารางที่ 4.78 ตารางการทดสอบความแตกต่างองค์ประกอบธาตุของอนุภาคจากการเผาไหม้ของน้ำมัน 3 ประเภท

การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยแยกน้ำมัน โดยใช้ LSD สถิติ One-Way ANOVA						
พารามิเตอร์	การตรวจวัด		Mean Difference		Std. Error	Sig.
ขณะติดเครื่องยนต์	ภายนอกท่อ	B7	B20	0.357	3.354	0.917
			B30	16.487*	3.354	0.000*
		B20	B7	-0.357	3.354	0.917
			B30	16.131*	3.354	0.000*
		B30	B7	-16.487*	3.354	0.000*
			B20	-16.131*	3.354	0.000*

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05