บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 รูปแบบวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยทำการจำลองการทดสอบการขับขี่ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาอนุภาคที่จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ณ ห้องปฏิบัติการ F4114 อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้จากเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและสภาวะนอกเมือง

3.2 ประชากร กลุ่มตัวอย่าง สถานที่ทำการวิจัย

3.2.1 กลุ่มตัวอย่าง

3.2.1.1 เครื่องยนต์ดีเซล : ประเภท 4 จังหวะ ความเร็วสูงสุด 98 mph (158 km/h) ความจุของกระบอกสูบ 2500 cc และแรงบิดสูงสุด 329 Nm ที่ 1,800 รอบ/นาที ใช้น้ำมันเครื่องเกรดสังเคราะห์ (Fully Synthetic) เบอร์ความหนืด SAE 10W-30 ระยะทางที่ใช้งาน 128,714 กิโลเมตร

3.2.1.2 เครื่องยนต์เบนซิน : บล็อก 4 สูบ 1.5 ลิตร I-VTEC ส่งระบบเกียร์อัตโนมัติ 5 สปีด พละกำลังสูงสุด 120 แรงม้า (PS) ที่ 6,600 รอบ/นาที แรงบิด 145 Nm ที่ 4,800 รอบ/นาที ใช้น้ำมันเกรดเครื่องสังเคราะห์ API SN 0W-20 ระยะทางที่ใช้งาน 270,459 กิโลเมตร

3.2.2 สถานที่ทำการศึกษา

3.2.2.1 ห้องปฏิบัติการ F4114 อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 3.3.1 เครื่องมือสำหรับการตรวจวัดการกระจายตัวและความเข้มข้นของอนุภาค

(1) เครื่อง Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D (รูปที่ 3.1) มีความสามารถวัดอนุภาคขนาดตั้งแต่ ขนาด 253 nm – 35.15 μm และมีความสามารถในการวัดอนุภาคที่หลากหลาย เช่น วัดการกระจายขนาดอนุภาค ความเข้มข้นเชิงจำนวนและความเข้มข้นเชิงมวลตามมาตรฐาน EN 481 คุณลักษณะของเครื่อง Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D แสดงดังใน ตาราง 3.1

ตาราง 3.1 คุณลักษณะของ Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D

ข้อมูลจำเพาะ	คำอธิบาย
การตรวจวัด	การกระเจิงของแสงที่อนุภาคเดี่ยวด้วยเลเซอร์ไดโอด
อัตราการไหล	1.2 l/min
ช่องการตรวจวัดขนาด	31 ช่อง (0.25 - 35 µm)
ความเข้มข้นเชิงมวล	0-100,000 µm/m^3
ความเข้มข้นเชิงจำนวน	0-3,000,000 particle/liter
การแสดงค่าอนุภาค	Inhalable dust Thoracic dust Respirable dust ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate; TSP) PM_{10}, PM_4, $PM_{2.5}$ และ PM_1
อุณหภูมิในการทำงาน	+4 °C ถึง +40 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	< 95%

รูปที่ 3.1 Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D

(2) Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) รุ่น GRIMM 5416 (รูปที่ 3.2) มีความสามารถวัดอนุภาคขนาดตั้งแต่ ขนาด 10 -1090 nm และสามารถวัด การกระจายขนาดอนุภาค ความเข้มข้นเชิงจำนวน โดยคุณลักษณะของเครื่อง Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) รุ่น GRIMM 5416 แสดงดังใน ตาราง 3.1

ตาราง 3.2 คุณลักษณะของ Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) รุ่น GRIMM 5416

ข้อมูลจำเพาะ	คำอธิบาย
การตรวจวัด	Condensation particle counter (CPC)
อัตราการไหล	0.3 l/min
ช่องการตรวจวัดขนาด	89 ช่อง (10-1094 nm)
ความเข้มข้นเชิงจำนวน	0-10,000,000 particle/cm^3
อุณหภูมิในการทำงาน	10 °C ถึง 40 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	< 95%

รูปที่ 3.2 Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) รุ่น GRIMM 5416

(3) เครื่องวัดความเร็วลมประเภท Hotwire รุ่น 9555-P (รูปที่ 3.3) มีความไวในการวัดค่อนข้างสูงและสามารถวัดความเร็วลมได้จาก 0–50 m/s

รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความเร็วลมประเภท Hotwire รุ่น 9555-P

ส่วนที่ 3.3.2 เครื่องมือสำหรับการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยา

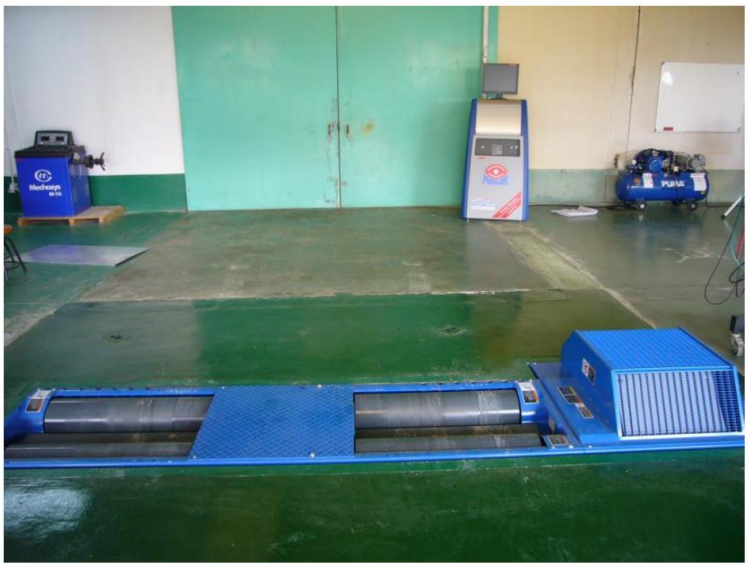
(1) GilAir Plus Personal Air Sampling Pump
(2) ชุดปรับเทียบมาตรฐานแบบ Gilibrator-2 Calibrator
(3) Nano Particle Sampler (NPS)
(4) กระดาษกรองชนิด Polycarbonate membrane 25 mm ,0.4 μm
(5) Forceps ปลายแหลม
(6) สายยาง
(7) ขาตั้ง
(8) เครื่องตัดกระดาษกรอง

ส่วนที่ 3.3.3 เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์

3.3.2.1 เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ Chassis dynamometer (รูปที่ 3.4) ชนิดดูดกลืนพลังงานหรือเบรกด้วยกระแสเหนี่ยวนำ รุ่น FPS 2700 สำหรับนำรถขึ้นจำลองการขับขี่ตามสภาวะในเมืองและการจำลองการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง

ตารางที่ 3.3 เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ Chassis dynamometer รุ่น FPS2700

ข้อมูลจำเพาะ	คำอธิบาย
น้ำหนักสูงสุดที่รับได้	1250 kg
น้ำหนักสูงสุดขณะบรรทุกของที่รับได้	1350 kg
รูปแบบของเครื่องทดสอบสมรรถนะ	Inground-and surface
Dimensions (LxW1/W2xH1/H2)	3539x718/980x450/725 mm
Power supply	230 V,500/600 Hz
ขนาดหน้าล้อขั้นต่ำที่ทดสอบได้	13 นิ้ว
ทิศทางการขับ	ทิศทางเดียว
ความเร็วสูงสุด	200 km/h



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ Chassis dynamometer รุ่น FPS 2700

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 การตรวจวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของอนุภาค

3.4.1.1 ขั้นตอนการติดตั้งและการตรวจวัดอนุภาคในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 3.5)

(1) นำรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบขึ้นเครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ (Chassis dynamometer) เปิดฝากระโปรงรถเพื่อระบายความร้อนและใช้สายรัดรถยนต์ยึดรถกับตะขอเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้รถยนต์อยู่กับที่ขณะทำการทดสอบ (รูปที่ 3.6)

(2) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ความเข้มข้นของอนุภาค ได้แก่ Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) และ Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) เก็บตัวอย่าง บริเวณพื้นที่การ

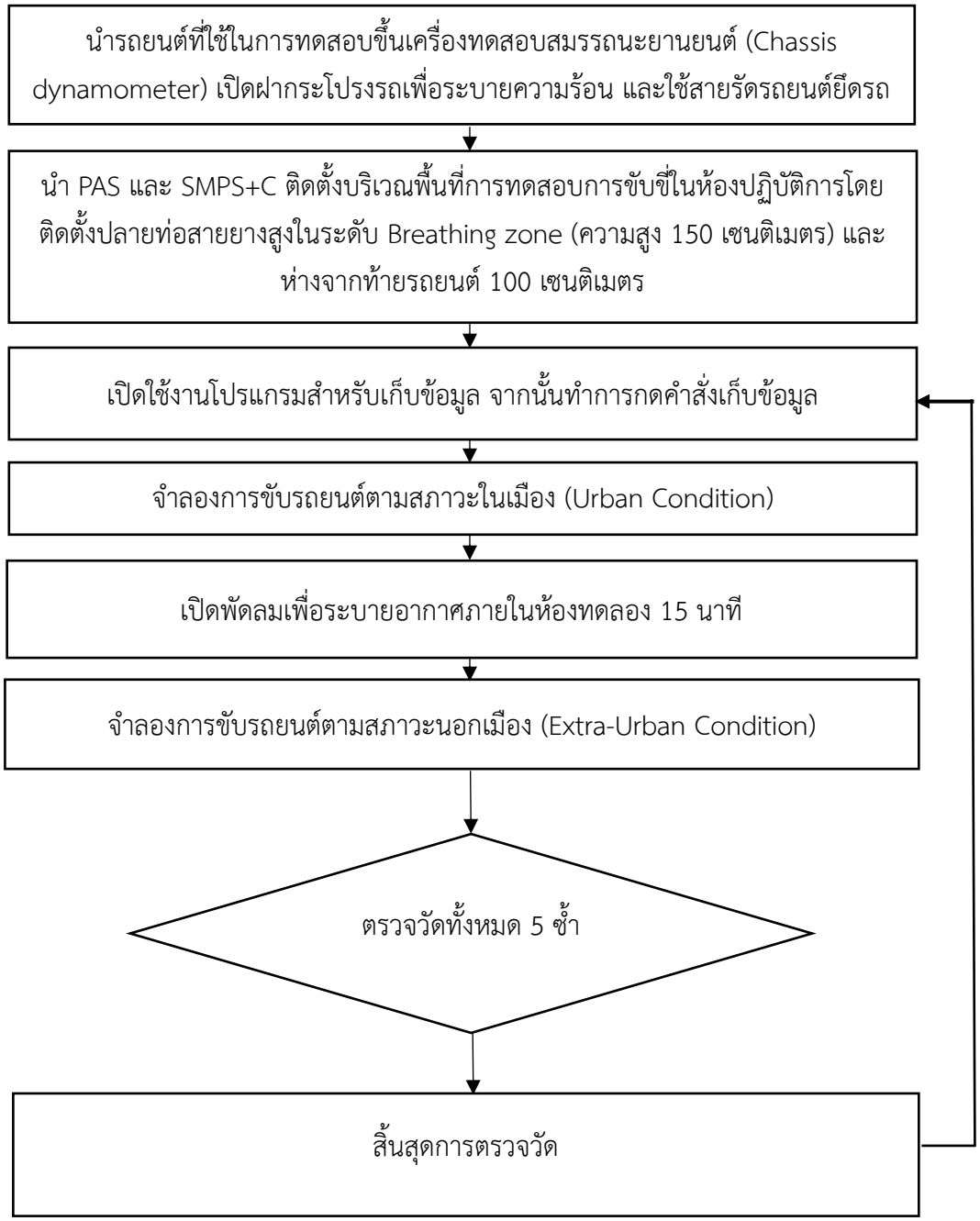
ทดสอบการขับขี่ในห้องปฏิบัติการโดยติดตั้งปลายท่อสายยางสูงในระดับ Breathing zone (ความสูง 150 cm) และห่างจากท้ายรถยนต์ 100 cm (รูปที่ 3.7)

(3) วัดความเร็วลมในบริเวณพื้นที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอนุภาคก่อนทำการจำลองการขับขี่ โดยความเร็วลมก่อนเริ่มการตรวจวัดควรอยู่ในช่วง 0-2 m/s

(4) เปิดใช้งานโปรแกรม Wide Range ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับประมวลผลข้อมูลอนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ที่ได้จาก SMPS และ PAS มาสรุปรวมกัน ทำการเปิดใช้งานโปรแกรม Nano Software สำหรับ SMPS เพื่อทำการตั้งค่าช่วงในการวัดอนุภาคขนาด 10 - 1090 nm และทำการเปิดใช้งานโปรแกรม Software 1179 สำหรับ PAS เพื่อตั้งค่าช่วงในการวัดอนุภาคขนาด 253 nm – 35.15 μm หลังจากนั้นทำการกดคำสั่งเก็บข้อมูลเพื่อเริ่มทำการเก็บข้อมูลในเครื่องมือทั้งสองเครื่อง

(5) ทดสอบการขับขี่รถยนต์ในห้องปฏิบัติการ โดยนำขั้นตอนการขับและความเร็วที่ใช้ขับขี่จาก มาตรฐาน United Nation Regulation 83 (UN R83) และ New European Driving Cycle (NEDC) มาประยุกต์ใช้ในการทดลอง โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อให้สัมพันธ์กับรอบในการเก็บข้อมูลของเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคและตัดขั้นตอนการเร่งความเร็วและคงความเร็วจาก 100-120 km/h ในสภาวะนอกเมืองเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องการระบายความร้อนของเครื่องยนต์ โดยการทดสอบเริ่มจากการจำลองการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง (ตารางที่ 3.2) หลังสิ้นสุดการทดสอบตามสภาวะในเมืองให้ทำการเปิดพัดลมเพื่อระบายอากาศ 15 นาที และเริ่มการจำลองการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง (ตารางที่ 3.3) ตามลำดับ

(6) ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 ซ้ำต่อเครื่องยนต์



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการติดตั้งและการตรวจวัดอนุภาคในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 3.6 การนำรถยนต์ขึ้นทดสอบบนเครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์

รูปที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่การทดสอบ

ตารางที่ 3.4 ขั้นตอนการการจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง (Urban Condition) ประยุกต์มาจาก (International Council on Clean Transportation, 2018; UNITED NATIONS, 2015)

ขั้นตอน	ลักษณะการขับ/การเก็บข้อมูล	ความเร็ว (km/h)	ระยะเวลา (นาที)	หมายเหตุ
1	ก่อนเริ่มทำงาน	0	10	Background particles
2	สตาร์ทรถยนต์และจอด	0	2	-
3	เร่งความเร็วและคงความเร็ว	0-15	4	-
4	ลดความเร็วและคงความเร็ว	15-0	2	-
5	เร่งความเร็วและคงความเร็ว	0-32	4	-
6	ลดความเร็วและคงความเร็ว	32-0	2	-
7	เร่งความเร็วและคงความเร็ว	0-50	4	-
8	ลดความเร็วและคงความเร็ว	50-35	2	-
9	ลดความเร็วและหยุดรถ	35-0	2	ดับเครื่องหลังครบ 2 นาที
10	หลังการขับ	0	16	ดับเครื่องยนต์
	ระยะเวลาทั้งสิ้น		48	เมื่อครบเวลาทำการหยุดอุปกรณ์ตรวจวัด

ตารางที่ 3.5 ขั้นตอนการการจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง (Extra-Urban Condition) ประยุกต์มาจาก (International Council on Clean Transportation, 2018; UNITED NATIONS, 2015)

ขั้นตอน	ลักษณะการขับ/การเก็บข้อมูล	ความเร็ว (km/h)	ระยะเวลา (นาที)	หมายเหตุ
1	ก่อนเริ่มทำงาน	0	10	Background particles
2	สตาร์ทรถยนต์และจอด	0	2	-
3	เร่งความเร็วและคงความเร็ว	0-70	4	-
4	ลดความเร็วและคงความเร็ว	70-50	2	-
5	เร่งความเร็วและคงความเร็ว	50-70	4	-
6	เร่งความเร็วและคงความเร็ว	70-100	4	-
7	ลดความเร็วและหยุดรถ	100-0	2	ดับเครื่องหลังครบ 2 นาที
8	หลังการขับ	0	16	ดับเครื่องยนต์
	ระยะเวลาทั้งสิ้น		44	เมื่อครบเวลาทำการหยุดอุปกรณ์ตรวจวัด

3.4.2 การเก็บตัวอย่างอนุภาคเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยา

การเตรียมเครื่องมือสำหรับการเก็บตัวอย่างองค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยามีขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 3.8)

3.4.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือ

(1) ปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศที่ให้มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.3 l/min

(2) ตัดกระดาษกรองโดยใช้เครื่องตัดกระดาษกรอง จากนั้นนำกระดาษกรองที่ผ่านการดูดความชื้น บรรจุใน Nano Particle Sampler (NPS)

3.4.2.2 การเก็บตัวอย่างองค์ประกอบธาตุ

(1) เปิดปั๊มดูดอากาศ ตรวจสอบอัตราการไหลของอากาศก่อนทำการเก็บตัวอย่าง 5 นาที เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ

(2) ต่อท่อสายยาง เข้ากับ Nano Particle Sampler (NPS) และปั๊มดูดอากาศ

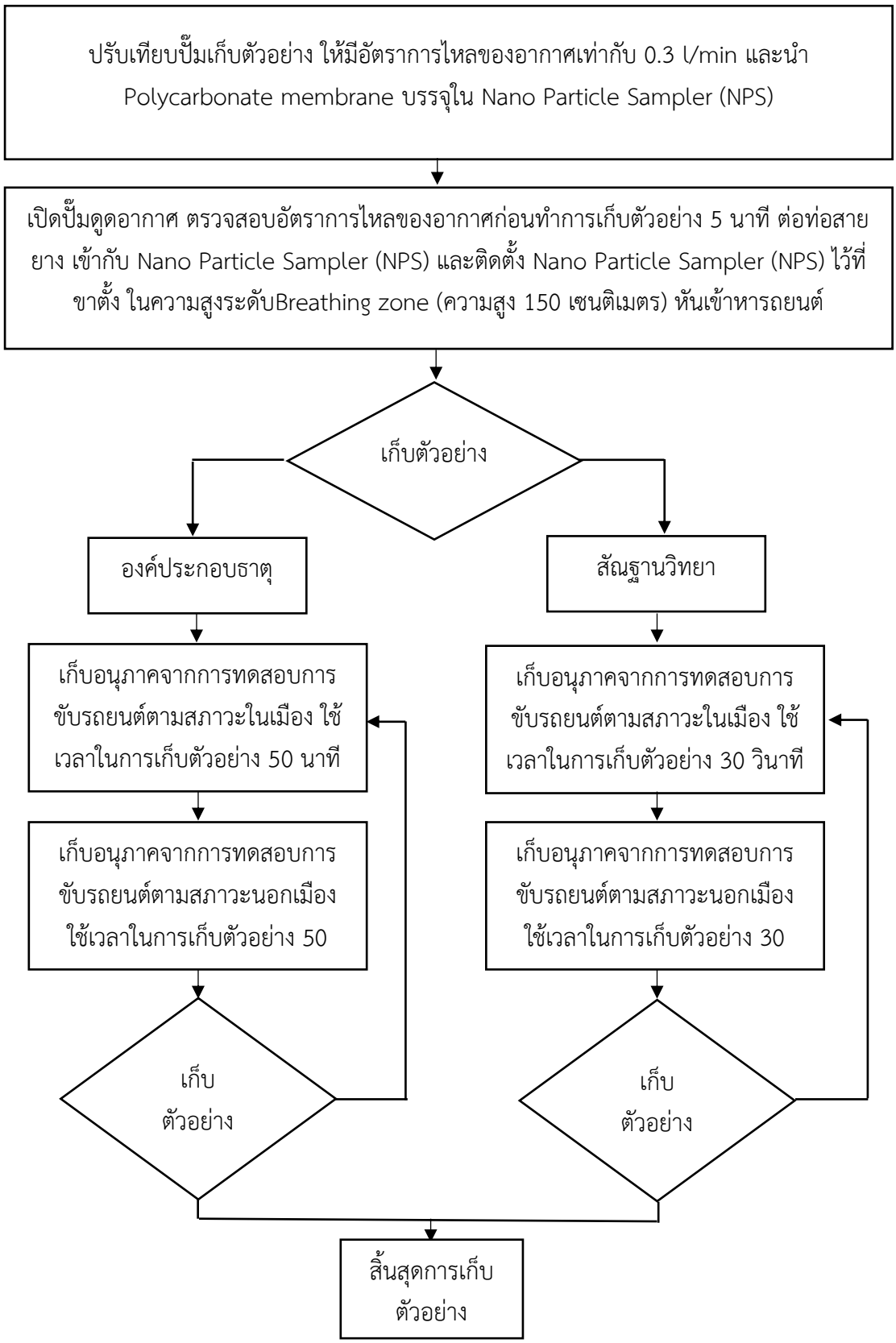
(3) ติดตั้ง Nano Particle Sampler (NPS) และปั๊มดูดอากาศไว้ที่ขาตั้ง (รูปที่ 3.9) โดยให้ Nano Particle Sampler (NPS) อยู่ในความสูงระดับ Breathing zone (ความสูง 150 cm) โดยหันเข้าหารถยนต์

(4) ทำการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บอนุภาคจากการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมืองหนึ่งตัวอย่าง ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 50 นาที หลังจากนั้น ทำการนำ Polycarbonate membrane ออกจาก Nano Particle Sampler (NPS) นำใส่ตลับเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำ Nano Particle Sampler (NPS) ที่มีกระดาษกรองติดตั้งกับปั๊มดูดอากาศและทำการเก็บตัวอย่างในสภาวะนอกเมืองอีกหนึ่งตัวอย่าง ใช้เวลา 50 นาที รวมเป็น 2 ตัวอย่าง

(5) ทำการเก็บตัวอย่าง 5 ซ้ำ ต่อเครื่องยนต์

3.4.2.3 การเก็บตัวอย่างสัณฐานวิทยา

(1) ขั้นตอนการเก็บสัณฐานวิทยาเหมือนกับขั้นตอนการเก็บองค์ประกอบธาตุ แตกต่างกันที่เวลาในการเก็บโดยจะใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างในการทดสอบการขับรถตามสภาวะในเมืองและนอกเมืองตัวอย่างละ 30 วินาที โดยทำการเก็บตัวอย่าง 5 ซ้ำ ต่อเครื่องยนต์



รูปที่ 3.8 การเก็บตัวอย่างองค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยา

รูปที่ 3.9 การติดตั้ง Nano Particle Sampler (NPS)

3.4.2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุและสัณฐานวิทยา(Morphology) โดยใช้เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM-EDS) เพื่อศึกษาองค์ประกอบธาตุของอนุภาคและสัณฐานวิทยาที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) แสดงถึงคุณลักษณะของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (Geometric standard deviation) ในการอธิบายการกระจายตัวเชิงจำนวนและการกระจายตัวเชิงมวลและค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าร้อยละ (Percentage) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่ออธิบายปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคและองค์ประกอบธาตุ

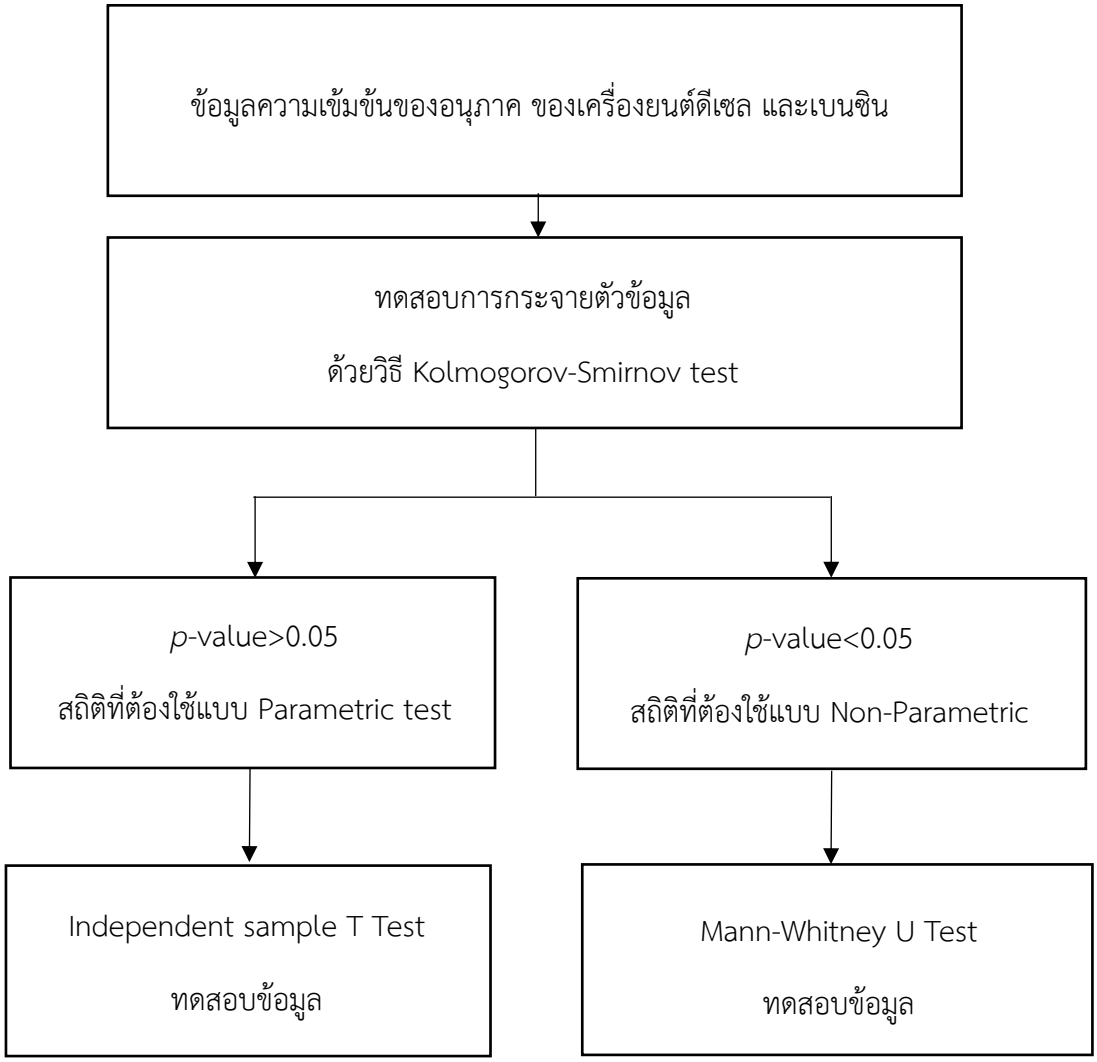
3.5.2 การใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) (รูปที่ 3.10)

3.5.2.1 ทดสอบการกระจายตัวข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test ในการทดสอบ

3.5.2.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดย

(1) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ใช้สถิติ Independent-Sample T Test ในการทดสอบ

(2) กรณีข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ใช้สถิติ Mann-Whitney U Test ในการทดสอบ



รูปที่ 3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics)