# การปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุการใช้งาน 10 ปี ภายใต้การจำลองการขับขี่ในห้องปฏิบัติการ

# Characteristics of particulate matter emissions from a ten-year-old diesel pickup truck in laboratory driving simulations

**ณัฐพงษ์ ไชยคำ[1] พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา[1] เกวลี พร้อมพิพัฒนพร[2] เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน[1*]**

**Natthaphong Chaiyakham[1] Pongsit Boonruksa[1] Kewalee Prompiputtanapon[2] Kiattisak Batsungnoen[1*]**

**(Received: February 10, 2024; Revised: April 2, 2024; Accepted: May 7, 2024)**

***Corresponding author: kiattisak@sut.ac.th**

**บทคัดย่อ**

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter, PM) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุการใช้งาน 10 ปี ภายใต้การจำลองการทดสอบการขับขี่สองสภาวะ ได้แก่ การขับขี่ในสภาวะในเมืองและสภาวะนอกเมือง ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน United Nation Regulation 83 (UN R83) การวิเคราะห์ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นขณะขับขี่ถูกตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D ทำการตรวจวัด TSP, PM10, PM4, PM2.5, PM1, Inhalable dust, Thoracic dust และ Respirable dust ผลการศึกษาพบว่าการขับขี่ในสภาวะในเมืองและสภาวะนอกเมืองปลดปล่อยค่าเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่นละอองสูงสุดคือฝุ่นประเภท TSP (46.72 μg/m³ และ 43.05 μg/m³ ตามลำดับ) และ Inhalable dust (46.25 μg/m³ และ 41.93 μg/m³ ตามลำดับ) โดยความเข้มข้นที่ถูกปลดปล่อยจากทั้งสองสภาวะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความเร่งที่ใช้ในการขับขี่และจะลดลงเมื่อลดความเร็ว แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนลดความเร็วจาก 100-0 km/h ในสภาวะนอกเมืองพบว่าความเข้มข้นของ TSP, Inhalable dust และ Thoracic dust มีค่าเพิ่มขึ้น แม้ว่าผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองระหว่างสองสภาวะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ลักษณะการขับขี่ที่มีการเร่งและชะลอความเร็วบ่อยครั้งส่งผลให้เครื่องยนต์ทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพก่อให้เกิดการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองที่สูงขึ้น ดังนั้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการขับขี่ที่ลดการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างฉับพลันและการปรับปรุงระบบจราจร รวมถึงการวางแผนเส้นทางการจราจรให้มีประสิทธิภาพมีส่วนช่วยในการลดการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากการขับขี่ยานพาหนะสู่บรรยากาศได้

**คำสำคัญ:** อนุภาคฝุ่นละออง, PM2.5, อนุภาคที่เกิดจากกระบะเครื่องยนต์ดีเซล, ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละออง, การจำลองการขับขี่

[1]สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[1]Institute of Public Health, Suranaree University of Technology

[2]ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[2]The Center for Scientific and Technological Equipment, Suranaree University of Technology

**Abstract**

This study aimed to investigate the emissions of particulate matter (PM) from the combustion of a 10-year-old diesel pickup truck under simulated driving conditions of urban and extra-urban cycles according to the United Nations Regulation 83 (UN R83) standard. The real-time monitoring of PM concentrations was measured using a Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS, GRIMM model 11D) for TSP, PM10, PM4, PM2.5, PM1, inhalable dust, thoracic dust, and respirable dust. The results showed that driving in urban and extra-urban conditions released high average concentrations of TSP (46.72 μg/m³ and 43.05 μg/m³, respectively) and inhalable dust (46.25 μg/m³ and 41.93 μg/m³, respectively). Most of the PM concentration emitted during both driving conditions increased when accelerating driving speeds and decreased when decelerating driving speeds. However, during a deceleration step of 100-0 km/h in extra-urban conditions, the concentrations of TSP, Inhalable dust, and Thoracic dust slightly increased. It may result from particle accumulations in the exhaust system and the PMs are released during deceleration. Although the concentration comparison showed no significant difference between urban and extra-urban conditions, driving patterns with frequently abrupt speed changes led to an inefficient engine operation, causing higher PM emissions. Therefore, reducing driving behavior with sudden and frequent speed changes, improving the traffic system, and efficiently planning traffic routes can reduce the release of PM emissions from vehicles into the atmosphere.

**Keywords:** Particulate matter, PM2.5, Particulate emissions from diesel pick-up truck engines, Particulate matter concentration, Driving simulation

**1. บทนำ**

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาด้านมลพิษอากาศจากอนุภาคฝุ่นละออง (Particulate Matters ,PM) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PM2.5 ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์[1-2] ผลการศึกษาของ Raza et al.[3] พบว่าในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองสูงกว่าบริเวณที่มีการจราจรเบาบาง รวมทั้งพบว่าขนาดและองค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจากการขับขี่ยานพาหนะ สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่มีโอกาสสัมผัสกับอนุภาคฝุ่นละอองดังกล่าว[4,5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การเกิดมะเร็งปอด ระบบหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น[6,7]

จากข้อมูลสถิติกรมการขนส่งทางบกพบว่ารถกระบะเป็นรถที่ได้รับความนิยมใช้เป็นยานพาหนะเนื่องจากเป็นรถยนต์อเนกประสงค์ที่สามารถใช้ในเชิงพาณิชย์ การขนส่งสินค้า การเกษตร และใช้เป็นรถโดยสารส่วนบุคคลได้[8,9] โดยร้อยละ 95.1 ของรถกระบะทั้งหมดใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการขับขี่ นอกจากนี้ยังพบว่ารถกระบะในประเทศไทยร้อยละ 66.11 (4,685,182 คัน) เป็นรถที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี ขึ้นไป[10] การศึกษาจากหลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าความเก่าของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน เป็นหนึ่งในตัวการที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษทางอากาศเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองประเภทต่าง ๆ เช่น PM10 และ PM2.5[11–14] นอกจากนั้นผลการศึกษาของ Yoann et al.[15] ยังพบว่าเครื่องยนต์สมัยใหม่มีการติดตั้งเทคโนโลยีที่ช่วยลดการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เช่น ระบบควบคุมการเผาไหม้ หรือ ระบบกรองเขม่า

นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเก่าของเครื่องยนต์ ผลการศึกษาของ Giechaskiel et al. [16] และ Jung et al.[17] ยังพบว่าลักษณะการขับขี่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองขณะขับขี่รถยนต์ และผลการศึกษาอื่น ๆ ที่ศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะทำการขับขี่ภายใต้การจำลองการขับขี่สภาวะในเมือง (Urban Condition) และสภาวะนอกเมือง (Extra-urban Condition) พบว่าลักษณะการขับขี่ที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยอนุภาคจากเครื่องยนต์[18–20]

จากข้อมูลที่กล่าวมาเบื้องต้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากการขับขี่ยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขับขี่รถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุการใช้งานมานาน รวมถึงลักษณะการขับขี่ที่หลากหลายส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองที่แตกต่างกัน ซึ่งการศึกษาในเรื่องดังกล่าวยังมีค่อนข้างจำกัดในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลอายุ 10 ปี ในสภาวะการขับขี่ที่แตกต่างกัน ได้แก่ สภาวะการขับขี่ในเมือง และสภาวะนอกเมือง ภายใต้การจำลองการขับขี่ในห้องปฏิบัติการ โดยข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลอายุ 10 ปี

**2. วิธีดำเนินการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยจำลองการขับขี่รถยนต์ในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานที่ประยุกต์จากมาตรฐาน United Nation Regulation 83 (UN R83) ที่ใช้ในการทดสอบมาตรฐานมลพิษตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย[21] การจำลองการขับขี่แบ่งออกเป็นสองสภาวะการขับขี่ได้แก่ การขับขี่ตามสภาวะในเมืองซึ่งเป็นการขับขี่ที่ทำความเร็วได้ต่ำ มีการเร่งความเร็วและหยุดรถบ่อยครั้งจากภาวะการจราจรที่ติดขัด และการขับขี่ตามสภาวะนอกเมืองซึ่งเป็นการจำลองการขับขี่บนทางหลวงด้วยความเร็วที่สูงขึ้น สภาพการขับขี่ในสภาวะคงที่และการหยุดรถน้อยลง ใช้ความเร็วสูงสุดที่ 100 km/h โดยทำการทดลองในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง (อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25- 35 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40 ถึง 70) ซึ่งเป็นอุณหภูมิความชื้นปกติตามสภาพอากาศทั่วไปของเมืองไทย โดยจะไม่ทำการทดลองเมื่อฝนตกที่จะทำให้ความชื้นสูงกว่าปกติและ

อาจส่งผลต่อความเข้มข้นของอนุภาค และขนาดของอนุภาค

รูปแบบการจำลองการขับขี่ตามสภาวะในเมืองมี 10 ขั้นตอนดังนี้ ก่อนเริ่มขับ สตาร์ทเครื่องยนต์ เร่งความเร็วจาก 0-15 km/h ลดความเร็วจาก 15-0 km/h เร่งความเร็วจาก 0-32 km/h ลดความเร็วจาก 32-0 km/h เร่งความเร็วจาก 0-50 km/h ลดความเร็วจาก 50-35 km/h ลดความเร็วจาก 35-0 km/h และหลังการขับขี่ ขณะที่การจำลองการขับขี่ตามสภาวะนอกเมืองมี 8 ขั้นตอนดังนี้ ก่อนเริ่มขับ สตาร์ทเครื่องยนต์ เร่งความเร็วจาก 0-70 km/h ลดความเร็วจาก 70-50 km/h เร่งความเร็วจาก 50-70 km/h เร่งความเร็วจาก 70-100 km/h ลดความเร็วจาก 100-0 km/h และหลังการขับขี่

อนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ขณะขับขี่ในครั้งนี้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองกลุ่มได้แก่ กลุ่มอนุภาคฝุ่นละอองในเชิงสิ่งแวดล้อม ประกอบไปด้วย ฝุ่นรวม (Total suspended particles, TSP) และฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 µm (PM10) ไม่เกิน 4 µm (PM4) ไม่เกิน 2.5 µm (PM2.5) และ ไม่เกิน 1 µm (PM1) ตามลำดับ และกลุ่มอนุภาคฝุ่นละอองที่แบ่งตามประเภทการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจ (Particles deposited in lung) ประกอบไปด้วย อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้น (Inhalable dust) อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนกลาง (Thoracic dust) และ อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจบริเวณแลกเปลี่ยนก๊าซ (Respirable dust)

**2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

**เครื่องมือสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาค** ใช้เครื่อง Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D ที่ใช้หลักการกระเจิงของแสงที่อนุภาคเดี่ยวด้วยเลเซอร์ไดโอด ในการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองจากการขับขี่รถยนต์ ในหน่วย µg/m$^3$ สามารถแสดงผลการตรวจวัดอยู่ในรูปแบบของ TSP, PM10, PM4, PM2.5, และ PM1 ที่เป็นกลุ่มอนุภาคฝุ่นละอองในเชิงสิ่งแวดล้อม และ Inhalable dust, Thoracic dust และ Respirable dust ที่เป็น กลุ่มอนุภาคฝุ่นละอองที่แบ่งตามประเภทการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจ ตามมาตฐาน EN481[22,23] โดยเครื่องมือดังกล่าวได้ทำการปรับเทียบก่อนทำการทดลองโดยใช้อนุภาค Poly styrene latex (PSL) ตามมาตรฐาน ISO 21501-1

**เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์** ใช้เครื่อง Chassis dynamometer รุ่น FPS 2700 เพื่อจำลองการขับขี่รถยนต์ตามสภาวะการขับขี่แบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ การขับขี่ตามสภาวะในเมืองและการขับขี่ตามสภาวะนอกเมือง โดยขณะทำการทดลองรถยนต์จะถูกนำขึ้นเครื่องทดสอบและทำการขับขี่ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในแต่ละรูปแบบการจำลอง

**รถยนต์**ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ คือรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซล ประเภท 4 จังหวะ ความจุของกระบอกสูบ 2500 cc แรงบิดสูงสุด 329 Nm ที่ 1,800 รอบ/นาที เครื่องยนต์สามารถทำความเร็วสูงสุดที่ 158 km/h รถกระบะมีอายุการใช้งาน 10 ปี (ผลิตปี 2013) และการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำมันดีเซล B7 เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์

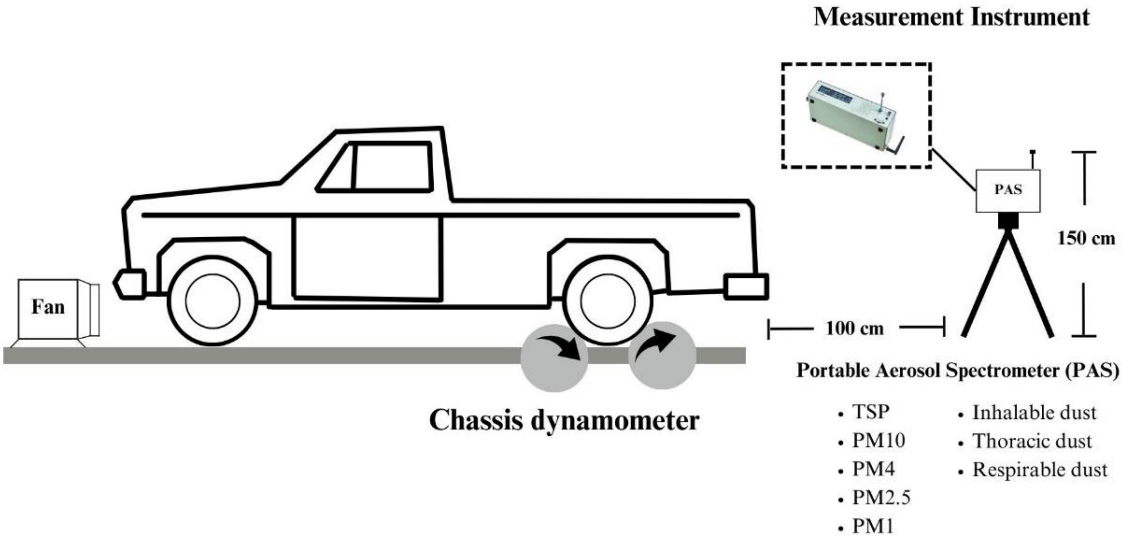
**2.2 ขั้นตอนการทดสอบ**

นำรถกระบะที่ใช้ในการทดสอบขึ้นเครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ภายในห้องปฏิบัติการ เปิดฝากระโปรงรถเพื่อระบายความร้อนและใช้สายรัดรถยนต์ยึดรถกับตะขอเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้รถยนต์อยู่กับที่ขณะทำการทดสอบ ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอนุภาค (PAS) ห่างจากท่อไอเสียของรถยนต์ 100 cm โดยเครื่องตรวจวัดอนุภาคอยู่ในตำแหน่งสูงจากพื้น 150 cm (Breathing zone) ตามคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับสถานตรวจสภาพรถในประเทศไทย และ OSHA Technical Manual (OTM)[24,25] ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จะถูกตรวจวัดและบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ทุก 1 นาที

ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการทดสอบทั้งหมด 5 ซ้ำในแต่ละรูปแบบการขับขี่ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดสอบในแต่ละครั้งจะเปิดพัดลมเพื่อระบายอากาศอย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าก่อนทำการทดสอบครั้งต่อไปอนุภาคฝุ่นละอองภายในห้องปฏิบัติการอยู่ในสภาวะก่อนเริ่มการขับขี่ โดยใช้ PAS ในการตรวจวัด (5,000 particles/cm$^3$)

**2.3 การแปลผลและวิเคราะห์ข้อมูล**

การศึกษาในครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนาได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าสูงสุด-ต่ำสุด เพื่ออธิบายปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการจำลองในแต่ละสภาวะการขับขี่ และใช้สถิติ Independent sample t-test ในการเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละประเภทที่เกิดในทั้งสองสภาวะ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05




**รูปที่ 1** การจำลองการขับขี่รถยนต์และการตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยฝุ่นละอองขณะขับขี่ภายในห้องปฏิบัติการ

**3. ผลการวิจัย**

การขับขี่รถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลในสภาวะในเมืองพบว่ามีการปลดปล่อยฝุ่นละอองเฉลี่ยประเภท TSP มากที่สุด (46.72 µg/m³) รองลงมาคือ PM10 (36.55 µg/m³) และ PM4 (27.79 µg/m³) และเมื่อพิจารณาอนุภาคของฝุ่นละอองตามการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่พบมากที่สุดคือ Inhalable dust (46.25 µg/m³) รองลงมาได้แก่ Thoracic dust (42.21 µg/m³) และ Respirable dust (34.83 µg/m³) ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

กรณีการขับขี่ในสภาวะนอกเมืองพบการปลดปล่อยฝุ่นละอองเฉลี่ยในรูปแบบที่คล้ายคลึงกับสภาวะในเมืองโดยพบฝุ่นละอองประเภท TSP มากที่สุด (43.05 µg/m³) รองลงมาคือ PM10 (33.60 µg/m³) และ PM4 (24.90 µg/m³) และพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Inhalable dust (41.93 µg/m³) มากที่สุด รองลงมาได้แก่ Thoracic dust (38.51 µg/m³) และ Respirable dust (34.14 µg/m³) ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจากการขับขี่ตามสภาวะในเมืองและนอกเมืองพบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นทุกประเภทจากการขับขี่ตามสภาวะในเมืองมากกว่าการขับขี่ในสภาวะนอกเมือง อย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าวไม่แตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ (P-value>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ผลการศึกษาลักษณะของความเข้มข้นฝุ่นละอองแบ่งตามขั้นตอนการขับขี่ในทั้งสองสภาวะดังแสดงในรูปที่ 2 (สภาวะในเมือง) และรูปที่ 3 (สภาวะนอกเมือง)พบว่าอนุภาคฝุ่นละอองประเภท TSP มีความเข้มข้นสูงสุดในทุกขั้นตอนการขับขี่รองลงมาคือ PM10, PM4, PM2.5 และ PM1 ตามลำดับ และ Inhalable dust พบความเข้มข้นสูงที่สุด รองลงมาคือ Thoracic dust และ Respirable

dust ตามลำดับในทุกขั้นตอนการขับขี่เมื่อพิจารณาอนุภาคของฝุ่นละอองตามการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจ

เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยปริมาณฝุ่นละอองตามขั้นตอนการขับขี่ตามสภาวะในเมือง โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนการเร่งความเร็วและขั้นตอนการลดความเร็ว พบว่า การเร่งความเร็วของเครื่องยนต์จะเพิ่มปริมาณการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองทุกประเภท โดยการเร่งความเร็วจาก 0-15 km/h, 0-32 km/h และ 0-50 km/h ก่อให้เกิดการปลดปล่อย TSP ที่ความเข้มข้น 49.62 $\mu g/m^3$, 51.73 $\mu g/m^3$ และ 53 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และ Inhalable dust 51.18 $\mu g/m^3$, 51.21 $\mu g/m^3$ และ 54.80 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ โดย TSP และ Inhalable dust ที่ขั้นตอนการเร่งสูงสุด (0-50 km/h) เทียบกับขั้นตอนการเร่งที่ความเร็วต่ำสุดที่ค่ามากกว่า 1.06 และ 1.07 เท่า ตามลำดับขณะที่ TSP และ Inhalable dust ในขั้นตอนลดความเร็วจาก 15-0 km/h, 32-0 km/h, 50-35 km/h และ 35-0 km/h พบว่ามีความเข้มข้นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนเร่งความเร็ว (รายละเอียดฝุ่นแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 2(ก) และ 2(ข)

ในส่วนของการจำลองการขับขี่ในสภาวะนอกเมือง พบว่าการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองทุกประเภทเช่นเดียวกันกับสภาวะในเมือง โดยการเร่งความเร็วจาก 0-70 km/h, 50-70 km/h และ 70-100 km/h ก่อให้เกิดการปลดปล่อย TSP ที่ความเข้มข้น 46.11 $\mu g/m^3$, 43.24 $\mu g/m^3$ และ 47.08 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และ Inhalable dust 45.22 $\mu g/m^3$, 42.42 $\mu g/m^3$ และ 46.84 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ โดย TSP และ Inhalable dust ที่ขั้นตอนการเร่งสูงสุด (70-100 km/h) มีค่าเพิ่มขึ้นเทียบกับขั้นตอนการเร่งก่อนหน้านี้ 1.09 และ 1.10 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ ขั้นตอนลดความเร็วจาก 70-50 km/h มีความเข้มข้นลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองยังคงสูงขึ้นเล็กน้อยในขั้นตอนลดความเร็วจาก 100-0 km/h ในอนุภาคฝุ่นละอองประเภท TSP, Inhalable dust และ Thoracic dust เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.62 $\mu g/m^3$ 0.49 $\mu g/m^3$ 0.22 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนอนุภาคฝุ่นละอองประเภทอื่น ๆ มีค่าความเข้มข้นที่ลดลง โดยรายละเอียดของข้อมูลแสดงในรูปที่ 3(ก) และ 3(ข)

**ตารางที่ 1** การปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากการขับขี่รถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้การขับขี่ในสภาวะในเมืองและนอกเมือง โดยพิจารณาประเภทอนุภาคเชิงสิ่งแวดล้อม

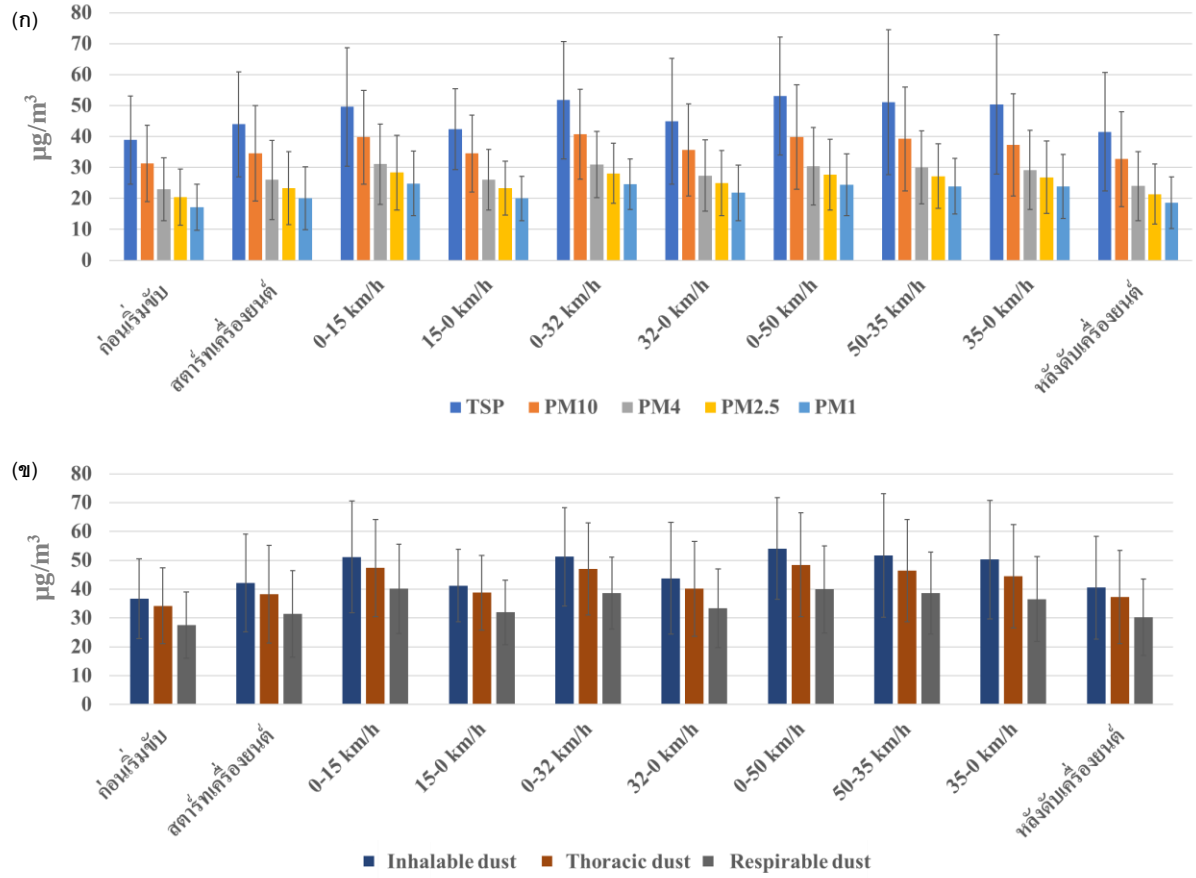
| พารามิเตอร์ | ลักษณะการขับขี่ | จำนวน (ครั้ง) | ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละออง ($\mu g/m^3$) | | | P-value* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mean | SD | Max - Min | |
| TSP | สภาวะในเมือง | 5 | 46.72 | 18.66 | 85.88 - 18.00 | 0.968 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 43.05 | 20.51 | 81.60 - 14.03 | |
| PM10 | สภาวะในเมือง | 5 | 36.55 | 15.04 | 63.55 - 14.15 | 0.939 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 33.60 | 15.46 | 63.45 - 12.64 | |
| PM4 | สภาวะในเมือง | 5 | 27.79 | 11.61 | 49.00 - 9.66 | 0.761 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 24.90 | 10.95 | 49.10 - 11.11 | |
| PM2.5 | สภาวะในเมือง | 5 | 25.16 | 10.51 | 44.50 - 8.36 | 0.700 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 22.23 | 9.51 | 44.35 - 10.05 | |
| PM1 | สภาวะในเมือง | 5 | 21.93 | 9.01 | 39.20 - 7.29 | 0.679 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 19.23 | 8.06 | 38.98 - 8.61 | |

* Independent sample t-test

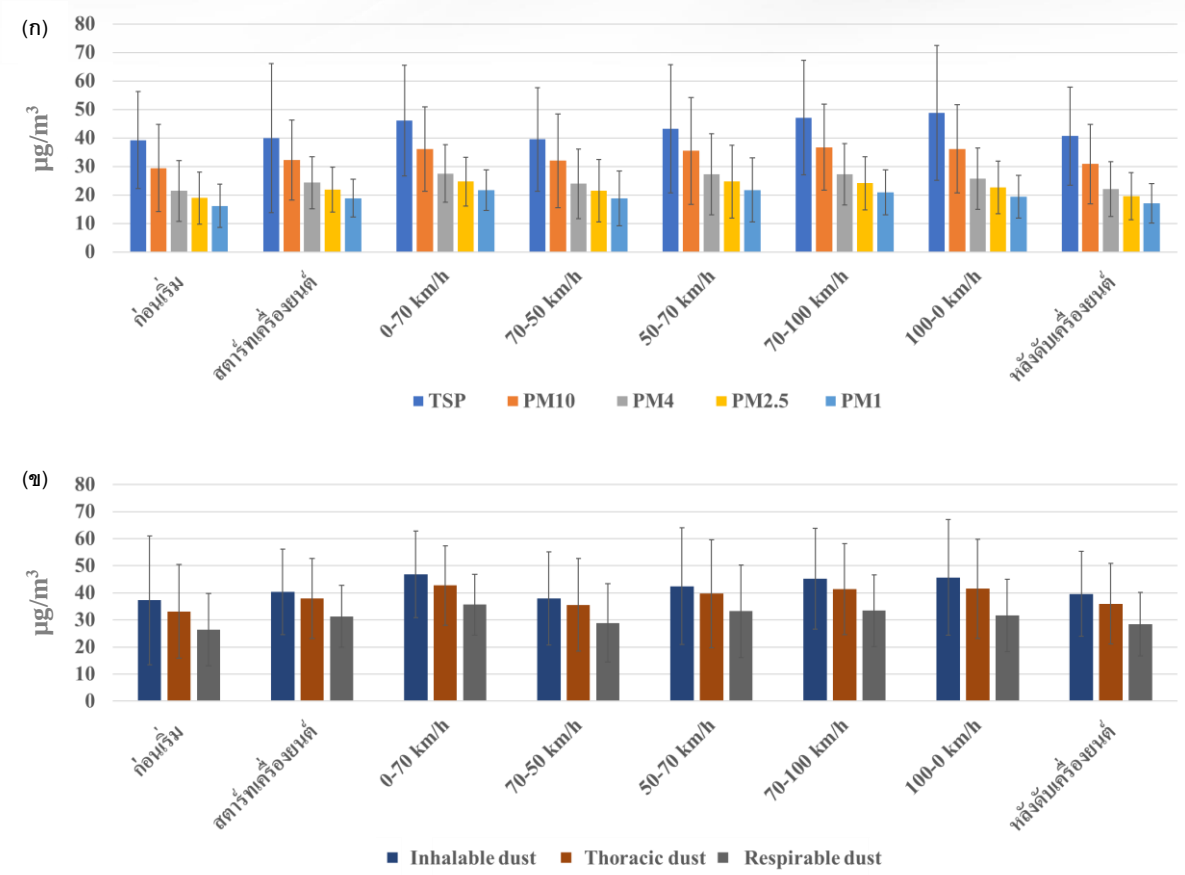
**ตารางที่ 2** การปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากการขับขี่รถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้การขับขี่ในสภาวะในเมืองและนอกเมือง โดยพิจารณาประเภทอนุภาคที่แบ่งตามประเภทการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจ

| พารามิเตอร์ | ลักษณะการขับขี่ | จำนวน (ครั้ง) | ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละออง (µg/m³) | | | P-value* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mean | SD | Max - Min | |
| Inhalable | สภาวะในเมือง | 5 | 46.25 | 17.65 | 80.58 - 17.60 | 0.951 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 41.93 | 18.78 | 75.07 - 13.76 | |
| Thoracic | สภาวะในเมือง | 5 | 42.21 | 16.24 | 73.00 - 16.90 | 0.954 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 38.51 | 16.74 | 69.08 - 13.34 | |
| Respirable | สภาวะในเมือง | 5 | 34.83 | 13.66 | 60.90 - 12.80 | 0.793 |
| | สภาวะนอกเมือง | 5 | 34.14 | 13.23 | 58.73 - 12.16 | |

* Independent sample t-test




**รูปที่ 2** การปลดปล่อยฝุ่นละอองประเภทต่าง ๆ แบ่งตาม 10 ขั้นตอนของการขับขี่ในสภาวะในเมือง **(ก)** ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองในเชิงสิ่งแวดล้อม **(ข)** ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่แบ่งตามประเภทการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจ




**รูปที่ 3** การปลดปล่อยฝุ่นละอองประเภทต่าง ๆ แบ่งตาม 8 ขั้นตอนของการขับขี่ในสภาวะนอกเมือง **(ก)** ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองในเชิงสิ่งแวดล้อม **(ข)** ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่แบ่งตามประเภทการถูกดักจับในระบบทางเดิน

## 4. อภิปรายผล

การปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองที่แบ่งตามกลุ่มอนุภาคฝุ่นละอองในเชิงสิ่งแวดล้อมทั้งในสภาวะการขับขี่ในเมืองและสภาวะการขับขี่นอกเมืองมีความเข้มข้นเฉลี่ยของ TSP สูงที่สุดรองลงมาคือ PM10, PM4, PM2.5 และ PM1 ตามลำดับ เนื่องจาก TSP เป็นพารามิเตอร์ที่รวมอนุภาคฝุ่นละอองทุกขนาดเข้าไว้ด้วยกัน (PM10, PM4, PM2.5 และ PM1) เช่นเดียวกันกับกลุ่มอนุภาคฝุ่นละอองที่แบ่งตามประเภทการถูกดักจับในระบบทางเดินหายใจที่พบว่า Inhalable dust มีความเข้มข้นสูงที่สุดในทุกขั้นตอน เนื่องจาก Inhalable dust ได้ครอบคลุมฝุ่นขนาด Thoracic dust และ Respirable dust

การปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากเครื่องยนต์ดีเซลมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามขั้นตอนการขับขี่ที่แตกต่างกัน[26,27] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าทั้งสองสภาวะการขับขี่ (ในเมือง และนอกเมือง) มีความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเร่งความเร็ว ซึ่งการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากท่อไอเสียที่เพิ่มมากขึ้นเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มากขึ้น ในทางกลับกันเมื่อมีการลดความเร็วหรือดับเครื่องยนต์จะส่งผลให้ปริมาณการเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลง ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองลดลงตามไปด้วย[14,17,28] นอกจากนั้นผลการศึกษาของ Bermúdez et al.[19] แสดงให้เห็นว่าอนุภาคฝุ่นละอองสามารถเกิดการสะสมในระบบท่อไอเสียขณะเร่งความเร็ว และสามารถปลดปล่อยออกมาจากท่อไอเสียเมื่อลดความเร็วในการขับขี่ ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยออกมาขณะลดความเร็วยังคงมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมได้ แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นขณะลดความเร็วนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (0.22-0.62 µg/m$^3$)

ถึงแม้ว่าผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าในทั้งสองสภาวะการขับขี่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นทุกประเภทนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอนุภาคฝุ่นละอองที่มาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่เป็นฝุ่นประเภทอนุภาคนาโน (<100 nm)[3] ส่งผลให้ความเข้มข้นเชิงมวล (mass concentration, μg/$m^3$) มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม Shen et al.[29] และ Yue et al.[30] ทำการศึกษาการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองขณะขับขี่ในสภาวะในเมืองและสภาวะนอกเมือง ซึ่งแสดงผลความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองเชิงจำนวน (number concentration, particles/$cm^3$) พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของสภาวะในเมืองนั้นสูงกว่าการขับขี่ในสภาวะนอกเมือง เนื่องจากการจราจรที่ติดขัด รวมไปถึงลักษณะการขับขี่ที่มีการเร่งความเร็ว ชะลอความเร็วและหยุดทำงานไปมาซ้ำๆทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพสามารถนำไปสู่การปล่อยอนุภาคนาโนที่สูงขึ้น และผลการศึกษาจากหลายงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการขับขี่รถยนต์เก่าในพื้นที่การจราจรติดขัดจะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ใหม่[11–13]

ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแผนการปรับปรุงหรือแนวทางป้องกันอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในบรรยากาศได้ดังนี้

1. ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการขับขี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างฉับพลันและบ่อยครั้ง เนื่องจากลักษณะการขับขี่ดังกล่าวนำไปสู่การปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองในปริมาณที่สูงขึ้น

2. ปรับปรุงระบบจราจรและการวางแผนเส้นทางการจราจรในเมืองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อช่วยลดการจราจรติดขัดที่อาจนำไปสู่การปลดปล่อยมลพิษฝุ่นละอองในอากาศ

3. ติดตั้งระบบกรองและดักจับอนุภาคในยานพาหนะเพื่อลดการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองขณะขับขี่โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถยนต์ที่มีอายุการใช้งาน 10 ปีขึ้นไป

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้กระบะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุ 10 ปี เพียง 1 คัน ซึ่งส่งผลให้ผลการศึกษาไม่ครอบคลุมถึงรถกระบะประเภทอื่นที่มีชนิดของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน และข้อจำกัดด้านระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ สามารถเร่งความเร็วได้สูงสุดเพียง 100 km/h จากมาตรฐานของ UN R83 ที่กำหนดค่าความเร่งสูงสุดที่ 120 km/h ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป ควรเพิ่มจำนวนรถกระบะที่ใช้ในการศึกษา และขยายการศึกษาไปยังรถยนต์ประเภทอื่น ๆ รวมทั้งมีการเปรียบเทียบการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองจากการขับขี่ระหว่างรถยนต์เก่าและรถยนต์ใหม่ และควรมีการศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองเชิงจำนวน สัณฐานวิทยา และองค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการขับขี่รถยนต์ เพื่อประเมินการรับสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น

## 5. สรุปผลการศึกษา

การปลดปล่อยปริมาณฝุ่นละอองจากรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุการใช้งาน 10 ปี ภายใต้การจำลองการขับขี่ในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าลักษณะของการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับลักษณะการขับขี่ ถึงแม้ความเข้มข้นระหว่างสองสภาวะจะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ลักษณะการขับขี่ตามสภาวะในเมืองที่มีลักษณะการขับที่ส่งผลให้เครื่องยนต์ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพส่งผลให้อนุภาคฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นได้สูงได้ จากข้อมูลดังที่ได้นั้น สามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงและเป็นแนวทางในการป้องกันมลพิษจากการขับขี่ รวมถึงควรมีความเข้มงวดในการตรวจสภาพรถยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละออง กรณีที่มีการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองมากกว่ามาตรฐานที่กำหนด ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์กรองหรือดักจับอนุภาค เพื่อให้ความเข้มข้นของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลอายุการใช้งาน 10 ปีอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 2536975) ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ F4114 อาคารเครื่องมือ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการศึกษาและอนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับการทำวิจัย

**7. เอกสารอ้างอิง**

1. Chuersuwan N, Nimrat S, Lekphet S, Kerdkumrai T. Levels and major sources of PM2.5 and PM10 in Bangkok Metropolitan Region. Environment international. 2008 Jul 1;34:671–7.
2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เรียนรู้อยู่กับฝุ่น PM2.5. [อินเทอร์เน็ต]. 2562. [สืบค้นเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2566]. แหล่งข้อมูล: https://www.chula.ac.th/wp-content/uploads/2019/10/Chula-PM25.pdf
3. Raza M, Chen L, Leach F, Ding S. A Review of Particulate Number (PN) Emissions from Gasoline Direct Injection (GDI) Engines and Their Control Techniques. Energies. 2018 Jun 1;6.
4. American Lung Association. Health Impact of Pollution | State of the Air [Internet]. 2022 [cited 2023 Jan 18]. Available from: https://www.lung.org/research/sota/health-risks
5. Deng X, Feng N, Zheng M, Ye X, Lin H, Yu X, et al. PM2.5 exposure-induced autophagy is mediated by lncRNA loc146880 which also promotes the migration and invasion of lung cancer cells. Biochim Biophys Acta Gen Subj. 2017 Feb;1861(2):112–25.
6. IARC. IARC: DIESEL ENGINE EXHAUST CARCINOGENIC [Internet]. 2012 [cited 2023 Jan 26]. Available from: https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf
7. US EPA O. Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM) [Internet]. 2016 [cited 2023 Jan 17]. Available from: https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm
8. ชนกนันท์ ก. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถกระบะดัดแปลง PPV ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร. [อินเทอร์เน็ต] 21 มกราคม 2060 [สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2566]. แหล่งข้อมูล: https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2016/TU_2016_5807011167_6755_5210.pdf
9. Punyaroj S. พฤติกรรมของผู้บริโภคในการเลือกซื้อและใช้รถยนต์กระบะ ในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง. วารสารการวิจัยกาสะลองคำ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. 2017;11(3):305–15.
10. กรมการขนส่งทางบก. กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2566]. แหล่งข้อมูล https://web.dlt.go.th/statistics/
11. Supasri T, Gheewala S, Macatangay R, Chakpor A, Sedpho S. Association between ambient air particulate matter and human health impacts in northern Thailand. Scientific Reports. 2023 Aug 7;13.
12. Guttikunda SK, Mohan D. Re-fueling road transport for better air quality in India. Energy Policy. 2014 May 1;68:556–61.
13. Singh V, Biswal A, Kesarkar AP, Mor S, Ravindra K. High resolution vehicular PM10 emissions over megacity Delhi: Relative contributions of exhaust and non-exhaust sources. Science of The Total Environment. 2020 Jan 10;699:134273.
14. Weber C, Sundvor I, Figenbaum E. Comparison of regulated emission factors of Euro 6 LDV in Nordic temperatures and cold start conditions: Diesel- and gasoline direct-

injection. Atmospheric Environment. 2019 Jun 1;206:208–17.

15. Yoann B, Tim D, Kaylin L, Isabel R, Uwe T. Evaluation of real-world vehicle emissions in Brussels. The Real Urban Emissions Initiative [Internet]. 2021 Nov [cited 2024 Mar 8]; Available from: https://www.trueinitiative.org/data/publications/evaluation-of-real-world-vehicle-emissions-in-brussels
16. Giechaskiel B. Solid Particle Number Emission Factors of Euro VI Heavy-Duty Vehicles on the Road and in the Laboratory. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018 Feb;15(2):304.
17. Jung S, Lim J, Kwon S, Jeon S, Kim J, Lee J, et al. Characterization of particulate matter from diesel passenger cars tested on chassis dynamometers. Journal of Environmental Sciences. 2017 Apr 1;54:21–32.
18. Peckham M, Finch A, Price P, Davies M. Study of Particle Number Emissions from a Turbocharged Gasoline Direct Injection (GDI) Engine Including Data from a Fast-Response Particle Size Spectrometer. SAE Technical Papers. 2011 Apr 12;
19. Bermúdez V, Luján JM, Ruiz S, Campos D, Linares WG. New European Driving Cycle assessment by means of particle size distributions in a light-duty diesel engine fuelled with different fuel formulations. Fuel. 2015 Jan 15;140:649–59.
20. Yang HH, Dhital NB, Wang LC, Hsieh YS, Lee KT, Hsu YT, et al. Chemical Characterization of Fine Particulate Matter in Gasoline and Diesel Vehicle Exhaust. Aerosol Air Qual Res. 2019;19(6):1349–449.
21. UN. UN R83 [Internet]. UNITED NATIONS; 2015 [cited 2023 Jan 27]. Available from: https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R083r5e.pdf
22. Jankowska E. Mass and Number Concentration and Size Distribution of Particles Emitted from Diesel Engine. IJTEE. 2010 Dec 15;3(2):109–12.
23. Kumar A, Srivastava D, Agrawal M, Goel A. Snapshot of PM Loads Evaluated at Major Road and Railway Intersections in an Urban Locality. International Journal of Environmental Protection. 2014;4.
24. ส่วนสถานตรวจสภาพรถสำนักวิศวกรรมยานยนต์ กรมการขนส่งทางบก. คู่มือการปฏิบัติงานสำหรับสถานตรวจสภาพรถ [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2565]. . แหล่งข้อมูล: http://www.sahavit.com/inspection/Downloads/การปฏิบัติงานสำหรับสถานตรวจสถาพรถ1.pdf
25. OSHA. OSHA Technical Manual (OTM) - Section II: Chapter 1 | Occupational Safety and Health Administration [Internet]. 2023 [cited 2024 Mar 23]. Available from: https://www.osha.gov/otm/section-2-health-hazards/chapter-1
26. Wang S, Zhu X, Somers LMT, de Goey LPH. Effects of exhaust gas recirculation at various loads on diesel engine performance and exhaust particle size distribution using four blends with a research octane number of 70 and diesel. Energy Conversion and Management. 2017 Oct 1;149:918–27.
27. Peckham M, Finch A. Analysis of Transient HC, CO, NOx and CO2 Emissions from a GDI Engine using Fast Response Gas Analyzers. SAE International Journal of Engines. 2011 Jun 15;4:1513–22.

28. Kim J, Choi K, Myung CL, Lee Y, Park S. Comparative investigation of regulated emissions and nano-particle characteristics of light duty vehicles using various fuels for the FTP-75 and the NEDC mode. Fuel. 2013 Apr 1;106:335–43.
29. Shen X, Shi Y, Kong L, Cao X, Li X, Wu B, et al. Particle number emissions from light-duty gasoline vehicles in Beijing, China. Science of The Total Environment. 2021 Jun 15;773:145663.
30. Yue DL, Hu M, Wang ZB, Wen MT, Guo S, Zhong LJ, et al. Comparison of particle number size distributions and new particle formation between the urban and rural sites in the PRD region, China. Atmospheric Environment. 2013 Sep 1;76:181–8.