

อิทธิพลของปัจจัยต่อการปล่อยฝุ่นละอองที่ไม่ได้มาจากไอเสียของรถจักรยานยนต์

Influence of Factors on Non-Exhaust PM Emissions from Motorcycle

วรวัฒน์ ทรงกิตติ¹, ศิริศักดิ์ พงษ์ยอดมณี¹, เฉลิมพล เปล่งสะอาด¹ และ เอกไท วิโรจน์สกุลชัย^{1,*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร
กรุงเทพมหานคร 10900

Worawat Songkitti¹, Sirasak Pong-a-mas¹, Chalermpon Plengsa-ard¹ and Ekathai Wirojsakunchai^{1,*}

¹Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Lat Yao,
Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

*Corresponding Author E-mail: fengeka@ku.ac.th

Received: Oct 19, 2021; Revised: Jan 21, 2022; Accepted: Jan 27, 2022

บทคัดย่อ

ในหลายปีที่ผ่านมาทั่วโลกพบกับปัญหามลพิษทางอากาศโดยเฉพาะปัญหาเกี่ยวกับฝุ่น PM เป็นอย่างมากซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะฝุ่น PM ที่มาจากการสันดาปของเครื่องยนต์ (Exhaust PM emissions) อย่างไรก็ตามยังมีฝุ่น PM บางส่วนที่ไม่ได้มาจากการสันดาปของเครื่องยนต์ แต่เกิดขึ้นจาก ยาง (Tyre wear) เบรก (Brake wear) และการตะกุก (Resuspension) ซึ่งถือเป็นกลุ่มฝุ่น PM ที่ไม่ได้มาจากไอเสีย (Non-exhaust PM emissions) โดยฝุ่น PM ทั้งสามประเภทนี้มีที่มาจากทั้งจากรถยนต์และรถจักรยานยนต์ โดยจากข้อมูลของกรมการขนส่งทางบกปีพ.ศ. 2562 พบว่าในประเทศไทยมีจำนวนการจดทะเบียนรถจักรยานยนต์อยู่สูงถึง 62% จากจำนวนรถที่จดทะเบียนทั้งหมดดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการวัด PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในกลุ่ม Non-Exhaust PM Emissions ที่เกิดจากรถจักรยานยนต์ โดยได้ติดตั้งอุปกรณ์วัด PM ไว้ที่ตำแหน่งล้อหน้าเพื่อวัดการฟุ้งกระจายของ PM ในขณะที่ทำการเบรก รถจักรยานยนต์ จากการทดสอบพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของ PM ได้แก่ ลักษณะการขับขี่ พบว่าเมื่อมีการเบรกที่รุนแรงจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของ PM มากขึ้น สภาพอากาศที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของ PM โดยเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ปริมาณ PM จากการฟุ้งกระจายสูงขึ้น เมื่อมีการเบรกบนรถจักรยานยนต์ที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณการฟุ้งกระจายของ PM เพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้พื้นผิวสภาพถนนยังส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของ PM เมื่อพื้นผิวถนนขรุขระจะส่งผลให้การฟุ้งกระจายของ PM เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองจากรถจักรยานยนต์, ฝุ่นละอองที่ไม่ได้มาจากไอเสีย, การวัดฝุ่นละอองแบบ Real-time

Abstract

Over past several years, many countries all around the world have encountered air pollution problems. PM (Particulate Matter) is one of the most problematic air pollutants that seriously harms human health and the environment. The major source of PM emissions is from automobiles due to the combustion process emitted via tailpipe. However, PM can also emit from non-exhaust sources, such as tyre wear, brake wear, and resuspension, which are referred to as non-exhaust PM emissions. These types of PM are not only emitted from automobiles but also from motorcycles. Based on statistics data from Department of Land Transport, it was shown that in 2019,

Thailand had motorcycles registered about 62% of total registered vehicles. This research study is aimed on measuring non-exhaust PM emissions including PM_1 , $PM_{2.5}$ and PM_{10} that emitted by motorcycles. An onboard PM measuring device is attached on the front wheel of the tested motorcycle to monitor PM diffusion while braking. Based on experimental results, it is found out that the main factor that affects the diffusion of non-exhaust PM emissions is the braking behavior. With harder braking, more PM diffusions are produced. Different weather conditions also affect the accumulation of PM. High relative air humidity results in higher PM diffusions. When the payload of a motorcycle increases, the amount of PM diffusion increases as well. Lastly, road conditions also affect the amount of emitted PM. When the road surface is rough, it clearly increases PM diffusion.

Keywords: Particulate Matter from motorcycle, Non-Exhaust PM Emissions, Real-time PM Measurement

1. บทนำ

ปัญหาฝุ่นละออง Particulate Matter (PM) เป็นหนึ่งในมลพิษทางอากาศที่ถือเป็นปัญหามลพิษรุนแรงในแง่ของอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไป PM มักถูกแบ่งออกเป็น PM_1 , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ซึ่งใช้แทนในการเรียกอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 μm , 2.5 μm และ 10 μm ตามลำดับ [1],[2] แหล่งที่มาหลักของ PM สามารถพบได้ในเขตเมือง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการจราจรแออัดหนาแน่น ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิด PM นั้นก็คือการปล่อยไอเสียที่เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์ ซึ่งการปล่อยฝุ่นละอองจากไอเสียส่วนใหญ่ประกอบด้วย PM และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ที่สามารถนำไปสู่โรคระบบทางเดินหายใจ หรืออาจส่งผลให้เกิดโรคมะเร็งได้ [3],[4]

อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากรถยนต์ทุกชนิดนั้นไม่ได้มาจากไอเสียของรถยนต์เพียงอย่างเดียว (Exhaust PM) แต่มาจากยาง (Tyre wear) ระบบเบรก (Brake wear) และการตะกุก (Resuspension of road dust) หรือที่รวมเรียกกันว่า Non-Exhaust PM Emission [5-8] โดยคุณลักษณะของ PM จะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มา ซึ่งสามารถแบ่งขนาดได้เป็น PM_1 , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} [9],[10] อีกทั้งในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะมีผู้ใช้รถจักรยานยนต์มากขึ้นในแต่ละปี โดยกรมการขนส่งทางบกได้ทำการเปิดเผยตัวเลขยอดจดทะเบียนรถใหม่ประจำปี 2562 โดยสรุปตัวเลขรวมทั้งปีทั่วประเทศได้ 3,038,943 คัน ซึ่งเป็นการจดทะเบียนรถจักรยานยนต์ใหม่มาก

ที่สุดรวมทั้งสิ้น 1,876,710 คัน หรือประมาณ 62% ของการจดทะเบียนรถใหม่ทั้งหมด [11] จากการตรวจสอบเอกสารที่กล่าวมาข้างต้น ยาง, ระบบเบรก และการตะกุกของรถจักรยานยนต์กับฝุ่นละอองถนนมีแนวโน้มที่จะเป็นแหล่งสำคัญในการปล่อย PM เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของรถจักรยานยนต์ในประเทศไทยที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จากการตรวจสอบเอกสารเบื้องต้นในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศในทวีปยุโรปพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อ Non-Exhaust PM Emission ได้แก่ ลักษณะของการเบรก [12], สภาพสิ่งแวดล้อม [13], น้ำหนักที่ใช้ในการบรรทุก [14],[15] และสภาพพื้นผิวที่แตกต่างกัน [16] แต่เน้นการศึกษาเฉพาะรถยนต์นั่งขนาดไม่เกิน 7 ที่นั่งเท่านั้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการปล่อย PM_1 , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แบบ Non-Exhaust PM Emission ที่เกิดจากรถจักรยานยนต์ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันดังนี้ ลักษณะการเบรก (Braking behavior), สภาพแวดล้อม, น้ำหนักที่ใช้ในการบรรทุก (Payloads) และสภาพพื้นที่ผิวถนนที่แตกต่างกัน โดยจะทำการวัดแบบ Real-Time ขณะรถจักรยานยนต์ขับเคลื่อนแล้วทำการเบรกเพื่อดูพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและการฟุ้งกระจายของ PM จากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยฝุ่นละอองที่ไม่ได้มาจากไอเสียของรถจักรยานยนต์

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 รถจักรยานยนต์ที่ใช้ทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รถจักรยานยนต์ที่นิยมใช้ในประเทศไทยโดยมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์

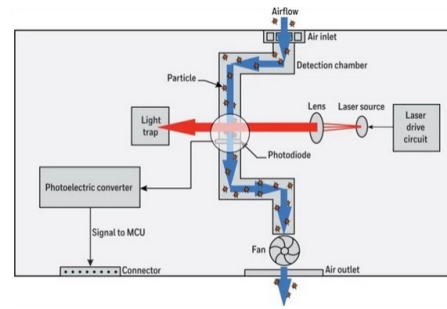
โครงสร้าง	
ชนิดของเฟรม	Underbone
ความสูงจากพื้นถึงเบาะ	790 มม.
น้ำหนัก (รวมน้ำมันเครื่องและน้ำมันเชื้อเพลิงเต็มถัง)	99 กก.
ระบบการสิ้นสะท้อน หน้า/หลัง	เทเลสโคปิก/ยูนิตสวิง
ระบบเบรก หน้า/หลัง	ดิสเบรกกลูกสูบเดี่ยว/ดรัมเบรก
ยาง หน้า-หลัง	110/70-12 47L
เครื่องยนต์	
ปริมาตรกระบอกสูบ	125 ซีซี
อัตราส่วนกำลังอัด	11.0:1
กระบอกสูบ × ระยะชัก	52.4 × 57.9 มม.
ความจุน้ำมันเชื้อเพลิง	4.4 ลิตร

2.2 เครื่องมือวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PMS3003

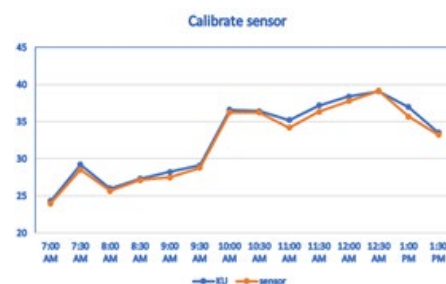
PMS3003 เป็นชุดเซ็นเซอร์ใช้สำหรับตรวจจับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กให้ผลการวัดเป็นข้อมูลแบบ Real Time PMS3003 สามารถตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้งระดับ PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ $PM_{1.0}$ ได้ในชุดเดียวกัน โดยสามารถปรับโหมดการวัดให้สัมพันธ์สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการวัดที่เที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้นโดยอัตโนมัติ กล่าวคือ ถ้าผลการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมีค่าสูง โหมดการวัดจะถูกเปลี่ยนเป็นแบบ Fast Mode เพื่อให้การตรวจวัดเป็นไปอย่างรวดเร็วทันกับการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าสภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยโหมดการวัดจะเปลี่ยนเป็นแบบ Stable Mode เพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำเที่ยงตรง

หลักการทำงานของ PMS 3003 ลักษณะตัวเครื่องจะเป็นกล่องขนาดเล็กภายในเครื่องจะมีอุปกรณ์ปล่อยแสงเลเซอร์และอุปกรณ์ตรวจจับค่าการสะท้อนแสงถูกวางไว้ให้ลำแสงของทั้งสองอุปกรณ์ตัดกันตรงรูปพอดี (Light Scattering) โดยหลักการการตรวจจับอนุภาคฝุ่นละอองนั้นจะทำได้ด้วยการใช้พัดลมดูดอากาศเข้าไปในตัวเซนเซอร์แล้วใช้เลเซอร์

ตรวจจับ เมื่อเลเซอร์ตรวจพบอนุภาคฝุ่นละออง แสงเลเซอร์ที่กระทบตัวอนุภาคจะหักเหอยู่ในรูปคลื่นแสงที่มีลักษณะแตกต่างกันตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองดังรูปที่ 1 และทำการทดสอบเทียบเครื่องมือวัด (<https://airq.ku.ac.th/>) ได้ผลสอดคล้องกันดังแสดงในรูปที่ 2



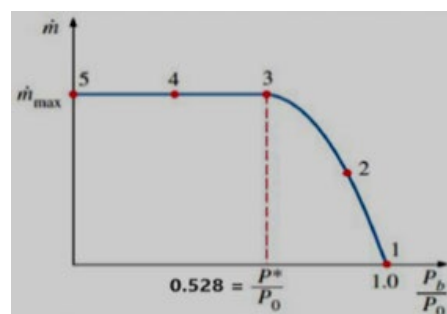
รูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องมือวัด PMS3003



รูปที่ 2 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด

2.3 ระบบดูดเก็บตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้คำนึงถึง 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ส่วนของปั๊มลมสูญญากาศและส่วนของท่อดูดอากาศ โดยส่วนของปั๊มลมสูญญากาศได้มีการกำหนดความดันที่ต้องการโดยใช้หลักการ Choked flow [17] ซึ่งจะได้ค่า Back pressure หรือความดันที่ส่วน Discharge ของ Throat ออกมาเท่ากับ 53.5 kPa ดังแสดงในรูปที่ 3 (ดัดแปลงมาจาก [18])

รูปที่ 3 ผลกระทบของ P_0 ต่อ $\dot{m}$

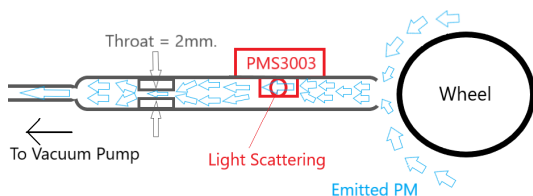
หากพิจารณา **รูปที่ 3** จะเห็นได้ว่าหากลดความดันที่ Throat จนกระทั่ง critical pressure ratio น้อยกว่า 0.528 แล้ว อัตราการไหลภายในท่อก็จะไม่เพิ่มมากไปกว่าที่จุดที่เป็น critical pressure ratio หรือเป็นไปตามทฤษฎี Choked flow condition ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (1) และ (2) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ปั๊มสุญญากาศตัวที่มีค่า Pressure คือ -85 kPa และมีอัตราการไหลคือ 40 L/min

$$\frac{P_T}{P_0} \leq \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 0.528, @ \gamma = 1.4 \quad (1)$$

$$\dot{m}_{air} = \frac{C_D A_T P_0}{\sqrt{RT_0}} \cdot \gamma^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}} \quad (2)$$

เมื่อ C_D คือ Discharge Coefficient, A_T คือ Throat Area (Minimum flow area or Restriction area, mm²), P_0 คือ Upstream Pressure (Pa), T_0 คือ Upstream Temperature (Kelvin), P_T คือ Pressure Downstream of the Throat (or the restriction, Pa), γ คือ specific heat ratio, R คือ Gas Constant

ในส่วนของท่อดูดอากาศได้ออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางของทางเข้าท่อดูดอากาศประมาณ 11 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของ Throat ประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยต้องขับรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วประมาณ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเพื่อให้ความเร็วลมที่เข้ามายังหน้าท่อดูดอากาศมีความเร็วที่เหมาะสมตามทฤษฎี Isokinetic Sampling [19] ซึ่งแผนผังทำงานของระบบดูดเก็บตัวอย่างทั้งหมดแสดงดัง **รูปที่ 4** และติดตั้งเครื่องมือวัดไว้ที่ตำแหน่งล้อย่นาดัง **รูปที่ 5**



รูปที่ 4 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัด

2.4 การกำหนดตัวแปรในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบโดยการขับจักรยานยนต์ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยมีผู้ขับขี่น้ำหนัก 100 kg และมีคนนั่งซ้อนด้านหลังหนัก 52 kg โดยกำหนดตัวแปรในการทดลองดังต่อไปนี้

1. ทดสอบการเบรกจากความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จนรถจักรยานยนต์หยุดนิ่ง โดยทำการทดสอบเป็นสองลักษณะการเบรกล่วงคือ ลักษณะแรกจะเบรกให้รถจักรยานยนต์หยุดภายใน 5 วินาทีสำหรับเบรกเบาและหยุดภายใน 2 วินาทีสำหรับเบรกหนัก

2. ทดสอบโดยสภาพอากาศที่แตกต่างกันโดยทดสอบในช่วงเช้าที่อุณหภูมิประมาณ 28°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 87% เปรียบเทียบกับการทดสอบในช่วงบ่ายที่มีอุณหภูมิประมาณ 33°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 64%

3. ทดสอบโดยทำการเพิ่มภาระโหลด (Payload) ของรถจักรยานยนต์ประมาณ 20% โดยจะเพิ่มจากน้ำหนักรถจักรยานยนต์จาก 152 กิโลกรัมเป็น 182 กิโลกรัม (ผู้ขับขี่หนัก 100 kg เท่าเดิม แต่เปลี่ยนผู้โดยสารจากน้ำหนัก 52 kg เป็น 82 kg)

4. ทดสอบพื้นผิวถนนที่แตกต่างกัน ได้แก่ พื้นผิวถนนที่เป็นยางมะตอยและพื้นผิวถนนที่เป็นเลนจักรยานที่มีลักษณะเป็นผิวที่ค่อนข้างขรุขระและปริมาณฝุ่นค่อนข้างมากกว่าถนนที่เป็นยางมะตอย

โดยตัวแปรต่างๆ ที่กล่าวมาได้ถูกกำหนดไว้ใน การทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

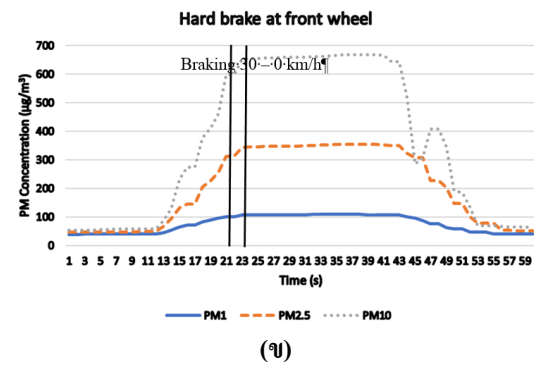
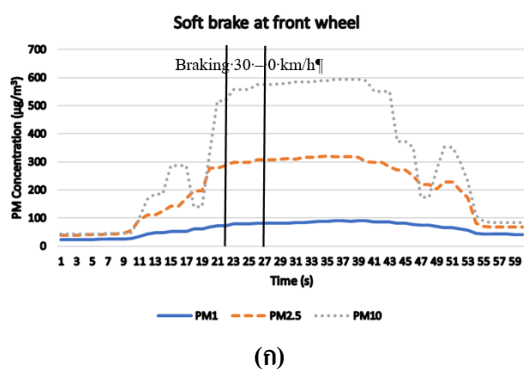
ตารางที่ 2 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ลักษณะการทดสอบ
ลักษณะการเบรก	เบรกเบา
	เบรกหนัก
สภาพแวดล้อม	ช่วงเช้า
	ช่วงบ่าย
น้ำหนักของรถจักรยานยนต์ (Payload)	152 กิโลกรัม
	182 กิโลกรัม
พื้นผิวถนน	ผิวเรียบ
	ผิวขรุขระ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

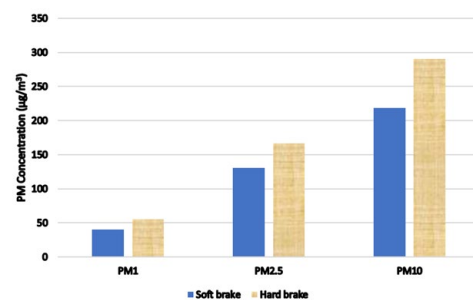
3.1 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM ที่วัดได้จากลักษณะของการเบรกที่แตกต่างกัน

การทดสอบนี้เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของการเบรกที่แตกต่างกัน เพื่อดูพฤติกรรมและปริมาณของฝุ่นอนุภาคโดยจะแบ่งการเบรกเป็น 2 รูปแบบคือการเบรกแบบเบา (Soft brake) และการเบรกแบบหนัก (Hard brake) โดยการเบรกแบบเบานั้นจะทำให้ความเร็วของรถจักรยานยนต์นั้นลดลงอย่างช้า ๆ โดยจะเริ่มหยุดรถที่วินาทีที่ 22 และให้รถหยุดในวินาทีที่ 27 (รูปที่ 6(ก)) ส่วนการเบรกแบบแรงนั้นจะเป็นการลดความเร็วของรถจักรยานยนต์อย่างกะทันหัน โดยจะเริ่มหยุดรถที่วินาทีที่ 20 และให้รถหยุดในวินาทีที่ 22 (รูปที่ 6(ข)) และนำมาเปรียบเทียบกันไปจนถึงวินาทีที่ 60 จากการทดลองจะได้พฤติกรรมการเกิด PM ต่อการเบรกแบบเบาและแบบหนักดังรูปที่ 6



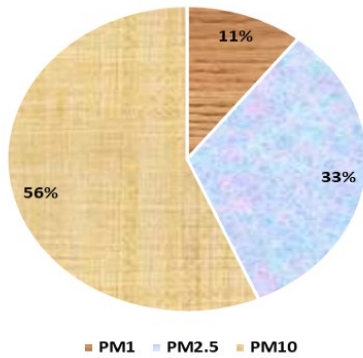
รูปที่ 6 พฤติกรรมเบรกที่ส่งผลต่อ PM: (ก) การเบรกแบบเบา (ข) การเบรกแบบหนัก

จากนั้นทำการหาพื้นที่ใต้กราฟของผลการทดลองและหาค่าเฉลี่ยออกมาเพื่อประเมินปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสุทธิของฝุ่นอนุภาคที่มีการฟุ้งกระจายขึ้นมาจากรถจักรยานยนต์และได้ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสุทธิดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ PM สุทธิจากการเบรกแบบเบาและแบบหนัก

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าในการเบรกแบบหนักนั้นมีการตะกุกฝุ่นขึ้นมาจากพื้นและรุนแรงกว่าการเบรกแบบเบาที่เป็นการค่อย ๆ ลดความเร็วลงจนกระทั่งรถหยุดนิ่งอยู่ประมาณ 30% โดยมีฝุ่นอนุภาค $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เป็นหลักดังรูปที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ [12] จึงสรุปได้ว่าการเบรกหนักทำให้ฝุ่นจากพื้นถูกยางของรถจักรยานยนต์ถูกตะกุกขึ้นมาอย่างรุนแรงและฉับพลัน ส่งผลให้มีปริมาณความเข้มข้นของ PM โดยสุทธิออกมาได้มากกว่าการเบรกแบบเบาที่มีลักษณะการหยุดรถที่นุ่มนวลกว่า

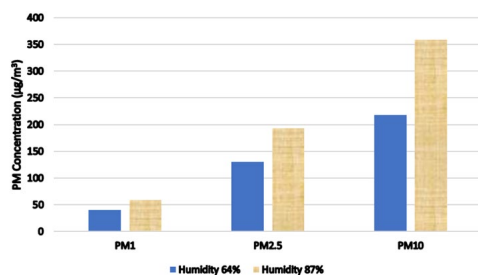


รูปที่ 8 อัตราส่วนของ PM_1 , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการเบรก

สำหรับการทดลองต่อ ๆ ไปนั้น ผู้วิจัยจะใช้การเบรกแบบเบาเป็นลักษณะการทดสอบหลักเนื่องจากการเบรกแบบเบา นั้น สอดคล้องกับการใช้รถจักรยานยนต์ในชีวิตประจำวันมากกว่าการเบรกแบบหนัก

3.2 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM ที่วัดได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การทดสอบนี้เป็นการทดลองเพื่อดูปัจจัยเรื่องอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งวันว่าจะส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของ PM หรือไม่ อย่างไร โดยจะแบ่งช่วงเวลาการทดลองเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้าและช่วงบ่าย ซึ่งได้ผลการทดลองได้แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ PM สุทธิจากสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 9 พบว่าถ้าความชื้นในอากาศสูงจะส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของ PM โดยสุทธิที่วัดได้ โดยมีค่าสูงกว่าสภาพอากาศที่มีความชื้นต่ำกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในสภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูง ในการทดสอบพบว่าปริมาณความเข้มข้นของ PM โดยสุทธิที่ฟุ้งกระจาย

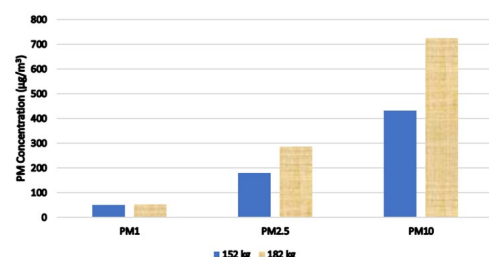
ขณะขับที่สูงกว่าสภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า โดยคาดว่าอาจเป็นผลของละอองน้ำในอากาศ เนื่องด้วยสาเหตุที่สามารถสันนิษฐานออกมาเป็น 2 กรณีดังนี้

1. ตัวเซนเซอร์นั้นได้วัดอนุภาคน้ำขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศเข้ามาด้วย จึงส่งผลให้เมื่อทำการวัดในสภาวะที่อากาศมีความชื้นสูงทำให้เครื่องมือวัดสามารถวัดปริมาณฝุ่นอนุภาคออกมาได้ในปริมาณที่สูง

2. อนุภาคของน้ำที่มีอยู่ในอากาศมากในสภาวะที่อากาศมีความชื้นสูง ได้จับตัวกับฝุ่นอนุภาคและส่งผลให้ฝุ่นอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าที่ควรจะเป็น จึงทำให้ค่าปริมาณโดยสุทธิของฝุ่นละอองที่วัดออกมาได้ในสภาวะที่มีความชื้นสูงจะมีค่าสูงกว่าสภาวะที่มีความชื้นเป็นปกติอย่างเห็นได้ชัดเจน

3.3 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ PM จากการปรับเปลี่ยนน้ำหนักที่บรรทุกบนรถจักรยานยนต์

การทดสอบนี้เป็นการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุก (Payload) ระหว่างผู้โดยสารที่มีน้ำหนัก 52 กิโลกรัม และ 82 กิโลกรัม ทำให้รถจักรยานยนต์มี Payload เมื่อรวมผู้ขับขี่และผู้โดยสาร อยู่ที่ 152 และ 182 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างระหว่างผู้โดยสารทั้งสองคนจึงมีค่าอยู่ที่ 30 กิโลกรัม เพื่อสังเกตถึงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณของ PM ที่ออกมาจากการขับขี่ โดยได้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 10



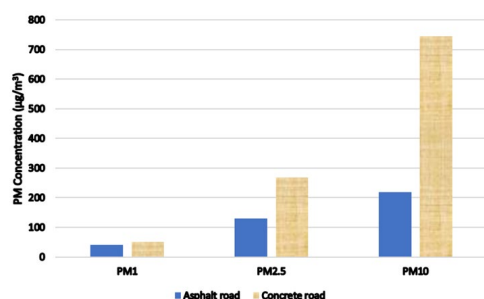
รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ PM สุทธิจากน้ำหนักการบรรทุกที่แตกต่างกัน

ปริมาณความเข้มข้นของ PM_1 ที่ออกมาจากรถจักรยานยนต์โดยสุทธินั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หาก

พิจารณาไปที่ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จะแปรผันโดยตรงกับการเพิ่มน้ำหนักบนรถจักรยานยนต์อย่างชัดเจน โดยสามารถสรุปได้ว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีผลโดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของ PM ที่ถูกตะกอยขึ้นมาจากรถจักรยานยนต์ กล่าวคือเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น ปริมาณการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจะมีค่าสูงขึ้นตาม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [14],[15]

3.4 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM ที่วัดได้ในสภาพพื้นผิวของถนนที่ต่างกัน

การทดสอบนี้เป็นการทดลองบนพื้นผิวถนนที่มีสภาพแตกต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ ถนนยางมะตอยที่มีลักษณะเรียบและมีช่องว่างเล็กน้อยระหว่างตัวยางมะตอย กับ ถนนปูนที่มีลักษณะขรุขระ มีช่องว่างที่ใหญ่กว่า มีเศษกรวดและทรายเยอะ จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเบรกรถจักรยานยนต์บนพื้นผิวถนนแบบปูน ปริมาณฝุ่นอนุภาคของทั้ง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่วัดได้จะมีค่ามากกว่าพื้นผิวถนนยางมะตอยอย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่ PM_1 มีค่าค่อนข้างคงที่ดังแสดงในรูปที่ 11 ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวถนนแบบปูนมีช่องว่างค่อนข้างกว้างและมากจึงมีการสะสมของเศษกรวดและทรายที่มีอนุภาคขนาดใหญ่มากกว่า 2.5 ไมครอนอยู่ค่อนข้างมากเช่นกัน เมื่อรถจักรยานยนต์วิ่งผ่านจะส่งผลให้มีฝุ่นฟุ้งกระจายขึ้นมามากขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นผิวถนนยางมะตอย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการขับขึ้นบนพื้นผิวถนนที่มีลักษณะพื้นผิวขรุขระจะมีปริมาณความเข้มข้นของ PM ที่ถูกตะกอยขึ้นมามากกว่าการขับขึ้นบนพื้นผิวถนนที่มีลักษณะเรียบอย่างชัดเจน



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ PM สุทธิจากพื้นผิวถนนที่ต่างกัน

4. สรุป

งานวิจัยเรื่องอิทธิพลของปัจจัยต่อการปล่อยฝุ่นละอองที่ไม่ได้มาจากไอเสียของรถจักรยานยนต์สามารถสรุปได้ดังนี้

I. ฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายจากการเบรกของรถจักรยานยนต์ประมาณครึ่งหนึ่งเป็น PM_{10} ส่วน $PM_{2.5}$ มีประมาณ 30% PM_1 คิดเป็นประมาณ 10% ของปริมาณ PM ที่วัดได้ทั้งหมด

II. เมื่อมีการเบรกที่รุนแรงจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของ PM มากขึ้น

III. สภาพอากาศที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมและฟุ้งกระจายของ PM ในอากาศ โดยเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ปริมาณ PM ที่วัดได้ขณะเบรกมีค่าสูงขึ้น

IV. เมื่อมีการเบรกรถจักรยานยนต์ที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณการฟุ้งกระจายของ PM ที่วัดได้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

V. สภาพถนนส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของ PM โดยเมื่อพื้นผิวถนนขรุขระจะส่งผลให้การฟุ้งกระจายของ PM เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ นนทชัย พิเชิธรสวัสดิ, พชรพล นกอยู่ และ พีรวัส มหิทธิหาญ สำหรับการเก็บข้อมูลผลการทดลอง ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทางการเงิน ผ่านทุนวิจัยรหัสโครงการวิจัยเลขที่ 62/09/ME/D.Eng

เอกสารอ้างอิง

- [1] European Environmental Agency, "Air Quality in Europe-2014 Report," EEA, Copenhagen, Denmark, 5/2014, Aug. 3, 2015. [Online] Available: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>.
- [2] U. Gehring, R. Beelen, M. Eeftens, et al, "Particulate matter composition and respiratory health: the

- PIAMA Birth Cohort Study,” *Epidemiology*, vol. 26, no. 3, 2015, doi: 10.1097/EDE.0000000000000264.
- [3] R. O. Salonen, A. I. Hälinen, A. S. Pennanen et al, “Chemical and in vitro toxicologic characterization of wintertime and springtime urban-air particles with an aerodynamic diameter below 10 μ m in Helsinki,” *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, vol. 30, no. 2, pp. 80–90.
- [4] B. Brunekreef, B. Forsberg, “Epidemiological evidence of coarse airborne particles on health,” *European Respiratory Journal*, vol. 26, no. 2, pp. 309–318, doi: 10.1183/09031936.05.00001805.
- [5] P. G. Boulter, “A Review of Emission Factors and Models for Road Vehicle Nonexhaust Particulate Matter,” TRL Limited, Berkshire, United Kingdom, PPR065, 2005.
- [6] A. Thorpe, R. M. Harrison, “Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review,” *Science of the Total Environment*, vol. 400, no. 1–3, pp. 270–282, 2008, doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.007.
- [7] M. Mathissen, V. Scheer, R. Vogt, T. Benter, “Investigation on the potential generation of ultrafine particles from the tire-road interface,” *Atmospheric Environment*, vol. 45, no. 34, pp. 6172–6179, 2011, doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.032.
- [8] V. R. J. H. Timmers and P. A. J. Archten, “Non-exhaust PM Emissions from Electric Vehicles,” *Atmospheric Environment*, vol. 134, pp. 10–17, 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.03.017.
- [9] R. M. Harrison, A. M. Jones, J. Gietl, J. Yin, D. C. Green, “Estimation of the contributions of brake dust, tire wear, and resuspension to non-exhaust traffic particles derived from atmospheric measurements,” *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 12, pp. 6523–6529, 2012, doi: 10.1021/es300894r.
- [10] J. H. J. Hulskotte, G. D. Roskam, H. A. C. Denier van der Gon, “Elemental composition of current automotive braking materials and derived air emission factors,” *Atmospheric Environment*, vol. 99, pp. 436–445, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.10.007.
- [11] Transport Statistics, Transport Statistics Sub-Division, Aug. 5, 2020, [Online]. Available: <https://web.dlt.go.th/statistics/>
- [12] H. Hagino, M. Oyama and S. Sasaki, “Laboratory testing of airborne brake wear particle emissions using a dynamometer system under urban city driving cycles,” *Atmospheric Environment*, vol. 131, pp. 269–278, 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.02.014
- [13] H. German, T. -A. Berry, W. Shannon and P. David, “Temperature and Humidity Effects on Particulate Matter Concentrations in a Sub-Tropical Climate during Winter,” in *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 2017, pp. 41–49 doi:10.7763/IPCBE.2017.V102.10.
- [14] A. Simons, “Road transport: new life cycle inventories for fossil-fuelled passenger cars and non-exhaust emissions in ecoinvent v3,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, no. 9, pp. 1–5, 2013, doi: 10.1007/s11367-013-0642-9.
- [15] J. Gillies, V. Etyemezian, H. Kuhns, D. Nikolic and D. A. Gillette, “Effect of vehicle characteristics on unpaved road dust emissions,” *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 13, pp. 2341–2347, doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.05.064.
- [16] Determinants of rear-of-wheel and tire-road wear particle emissions by light-duty vehicles using on-road and test track experiments
- [17] *Choked flow*, Nertrium, 2015 [Online]. Available: <https://nertrium.net/fluid-flow/choked-flow/>

-
- [18] R. Trentini, E. Guilherme, C. Alexandre, S. S. Antonio, "Modeling and parameter identification of a pneumatic pressure valve using least squares and particle swarm optimization methods," in *22nd International Congress of Mechanical Engineering*, SP, Brazil, Nov. 3–7, 2013.
- [19] Don't Be Fazed By Multiphase Sampling, S. Andrew , 2012 [Online]. Available: <https://www.chemicalprocessing.com/articles/2012/don-t-be-fazed-by-multiphase-sampling/>