

การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ PM1, PM2.5 และ PM10 จากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

A Comparison of PM1, PM2.5 and PM10 Concentrations from Agricultural Residue Burning

รติมา ศรีวรพันธุ์¹, ณัฐศักดิ์ บุญมี¹, ธเนศ อรุณศรี โสภณ¹ และ เอกไท วิโรจน์สกุลชัย^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Ratima Srivoraphantu¹, Nathasak Boonmee¹, Tanet Aroonsrisopon¹ and Ekathai Wirojsakunchai^{1,*}

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

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

Received: Jan 09, 2023; Revised: Apr 05, 2023; Accepted: Apr 21, 2023

บทคัดย่อ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการมาเก็บค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter, PM) จากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในพื้นที่โล่งพบว่าความแปรผันของข้อมูลค่อนข้างสูง เนื่องจากการเผาในที่โล่งไม่สามารถควบคุมตัวแปรได้ทั้งหมด ดังนั้นในงานนี้จึงศึกษา PM จากการเผาพืชสามชนิด ได้แก่ ฟางข้าว หญ้า และกาบมะพร้าว โดยเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 1, 2.5 และ 10 ไมครอน หรือ PM1 PM2.5 และ PM10 ตามลำดับ ที่วัดด้วยเซนเซอร์ PMS5003 ซึ่งวางที่ตำแหน่งได้ลมของถังเผาในพื้นที่โล่งที่ความเร็วลม 3 และ 4 m/s จากผลการทดลองพบว่าความเร็วลมมีอิทธิพลต่อ PM ที่วัดได้ในพืชต่างชนิดกัน โดย PM10 จากการเผาหญ้าที่ความเร็วลม 4 m/s มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าที่ 3 m/s แต่ในทางกลับกัน PM2.5 และ PM10 จากการเผาฟางข้าวที่ความเร็วลม 4 m/s นั้นมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าที่ 3 m/s ส่วนค่าความเข้มข้นของ PM ทั้งสามขนาดที่เก็บจากการเผา กาบมะพร้าว ในทั้งสองความเร็วลมนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็ก, การเผาเศษวัสดุทางการเกษตร, ความเร็วลม, การเผาในที่โล่ง

Abstract

Open agricultural burning has numerous factors that are not possible to control all parameters in the experiments thus this problem obviously impacts the variation of the data from literatures. Therefore, this research aims to collect and compare the three sizes of Particulate Matter (PM) concentrations which are particles less than 1, 2.5 and 10 micrometers in diameter (PM1, PM2.5 and PM10 respectively). The PM concentrations were measured by PMS5003 sensors at downstream from the smoke of burning rice straw, grass and coconut husk in the burning bucket which was set in an open area with simulated wind speeds at 3 m/s and 4 m/s. The experiment results show that PM10 concentrations from grass burning at a wind speed of 4 m/s are higher than those at a wind speed of 3 m/s. In contrast, PM10 concentrations from rice straw burning at a wind speed of 4 m/s are less than those at a wind speed of 3 m/s. Moreover, at different wind speeds, PM concentrations from coconut husk burning are nearly the same. As a result, both of wind speeds influenced to PM concentrations from selected residues.

Keywords: PM2.5, Agricultural residue burning, Wind speed, Open burning

1. บทนำ

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาคนในประเทศไทยได้ตระหนักถึงผลกระทบของปัญหาที่มาจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matters, PM) ที่ส่งผลไม่ว่าทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ทัศนวิสัย [1–2] ทางด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด [3–4] และทางด้านเศรษฐกิจ เช่น ธุรกิจการท่องเที่ยว [5–6] ซึ่งปัญหา PM พบได้ในหลายพื้นที่ด้วยกัน อาทิ พื้นที่จังหวัดทางภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดลำปาง เป็นต้น และพื้นที่กรุงเทพมหานคร [7] โดยแหล่งที่มาของ PM มีอยู่หลากหลายที่มาด้วยกัน [4],[8–10] ได้แก่ การจราจร การก่อสร้าง อุตสาหกรรม และการเผาในพื้นที่โล่ง เช่น ไฟไหม้ป่า และการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาแหล่งที่มาของ PM ที่มาจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในพื้นที่โล่ง โดยการเผาในพื้นที่โล่งเป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเตรียมดินเพื่อเพาะปลูก เพราะเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกและประหยัด [11] เช่น การเผาฟางข้าว เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ทำเกษตรกรรมอยู่ในทุกภาค โดยจากตามรายงานสถิติการเกษตรของประเทศไทยของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2564) [12–16] พบว่าเนื้อที่การเพาะปลูกข้าวนาปรังรวมทั้งประเทศประมาณ 59 ถึง 62 ล้านไร่ เนื้อที่การเพาะปลูกข้าวนาปรังประมาณ 6 ถึง 12 ล้านไร่ โดยค่าอัตราส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (Residue to Product Ratio, RPR) ของฟางข้าว 0.447 [17] จากการสำรวจชนิดและปริมาณวัสดุต่อชั่งในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทยปี พ.ศ. 2541 พบว่ามีปริมาณ 29.1 ล้านตันต่อปี [11]

โดยจากงานวิจัยของ [18] ที่ทำการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่มาจากข้าว ข้าวสาลี และข้าวโพด ซึ่งทำการเผาใน Cone calorimeter พบว่าแนวโน้มของค่าความเข้มข้นของ PM ที่มาจากข้าวสาลีมีย่านมากกว่าข้าวโพดและข้าว โดยค่าความเข้มข้นของ PM ที่มาจากข้าวน้อยกว่าข้าวสาลีและข้าวโพดอย่างชัดเจน และจากงานวิจัยของ [19] ที่ทำการเก็บ PM จากการเผาในพื้นที่จริงของข้าวโพดและข้าวสาลี พบว่าแนวโน้มของ PM2.5 จากข้าวโพดมากกว่าข้าวสาลี ซึ่งทั้งสองงานวิจัยนี้

เป็นตัวอย่างที่ชี้ให้เห็นว่าพืชต่างชนิดกันส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM อีกทั้งจากอิทธิพลของความเร็วลมมีผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM เช่นเดียวกัน ดังงานวิจัยของ [20] ที่ทำการทดลองวัด PM2.5–10 ในแต่ละพื้นที่ที่สนใจพบว่าแนวโน้มค่าความเข้มข้นลดลงไปจนถึงเมื่อความเร็วลมเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที แต่หากความเร็วลมสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ PM2.5–10 เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และจากงานวิจัยของ [21] ที่ศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของจีนพบว่าแนวโน้มของค่าความเข้มข้นของ PM2.5 สูงขึ้น ณ ที่ความเร็วลมต่ำ จึงเห็นได้ว่าความเร็วลมส่งผลต่อแนวโน้มของค่าความเข้มข้นของ PM ในแต่ละขนาดเช่นเดียวกัน เนื่องจากความเร็วลมช่วยในการเจือจางมลพิษ [22]

ดังนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นทำให้ทราบว่ายังไม่พบการเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นของ PM ที่แต่ละขนาด ได้แก่ PM1 PM2.5 และ PM10 ที่มาจากการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากพืชต่างชนิดกันที่ความเร็วต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำตัวอย่างพืชต่างชนิดกันซึ่งเป็นตัวแทนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นำมาเผาที่ ณ ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที และ 4 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยในประเทศไทย [23] เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์แนวโน้มของค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาดที่ความเร็วลมต่างกันจากพืชต่างชนิดว่ามี ความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยการทดลองแต่ละครั้งนั้นเผาพืชที่น้ำหนักเท่ากันในถังเผาที่ระบายควันออกสู่อากาศโดยรอบซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่โล่งเพื่อจำลองเสมือนการเผาในพื้นที่โล่งจริง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

พืชที่นำมาเผาสำหรั้งการทดลองในงานวิจัยนี้มีทั้งหมดสามชนิด ได้แก่ หญ้า ฟางข้าว และกาบมะพร้าว ดังรูปที่ 1 โดยฟางข้าว คือ เศษวัสดุทางการเกษตรที่สนใจเป็นหลัก ส่วนการเลือกหญ้าและกาบมะพร้าวนั้นมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่เห็นได้ว่าหญ้านั้นมีความคล้ายกับข้าว เช่น ที่ใบ กาบใบ และลำต้น อันเนื่องมาจากข้าวเป็นพืชล้มลุก

ตระกูลหญ้าที่สามารถกินเมล็ดได้และเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เหมือนกันกับหญ้า [24] ซึ่งแตกต่างจากกามมะพร้าวที่มี คุณลักษณะทางกายภาพเป็นขุยและเส้นใยอย่างชัดเจนเมื่อ มองเทียบกันกับฟางข้าวด้วยตาเปล่า โดยกามมะพร้าว ประกอบด้วยเส้นใย (Fiber) 30% และขุยมะพร้าว (Pith) 70% [25] โดยพืชแต่ละชนิดนั้น วางตากแห้งไว้ใน ห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส เมื่อ วัดค่าความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแล้วมีค่าความชื้น ดังนี้ หญ้า 4.0% ฟางข้าว 12.5% และกามมะพร้าว 13.5% รวมทั้ง น้ำหนักของพืชที่ต้องการนำมาเผาเท่ากันในทุกการทดลอง ที่ 100 กรัม จากนั้นนำไปใส่ลงในกระตาะแกรงเหล็กที่วางในถัง เผา โดยค่าความเข้มข้นของ PM เริ่มต้นเก็บค่าตั้งแต่เริ่มจุด ไฟเผาจนกระทั่งไฟมอดดับไม่มีควันเหลืออยู่ให้เห็น ซึ่งการ วัดค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาด คือ PM1 PM2.5 และ PM10 นั้น วัดด้วยเซนเซอร์ PlanTower Laser Dust Sensor PMS5003 ที่ต่อกับ ESP32 ดังรูปที่ 2 โดยคุณสมบัติ ทางเทคนิคของเซนเซอร์ [26] แสดงดังตารางที่ 1

ในการทดลองนี้ใช้เซนเซอร์ PMS5003 ทั้งหมดสามตัว ด้วยกันและเซนเซอร์แต่ละตัวมีการตั้งชื่อ ดังนี้ เซนเซอร์ตัว ที่ 1 คือ DEV1 เซนเซอร์ตัวที่ 2 คือ DEV2 และเซนเซอร์ตัว ที่ 3 คือ DEV3 ซึ่งแต่ละตัวเซนเซอร์วางอยู่บนเก้าอี้ที่ห่าง กัน 1 เมตร โดยเซนเซอร์ PMS5003 ตัวแรกวางห่างจากถัง

เผาเป็นระยะ 1 เมตร ระยะที่กำหนดเป็นการจำลองระยะ จากนาข้าวถึงไหล่ทาง ซึ่งความกว้างของไหล่ทางนั้นมี ระยะตั้งแต่ 1 ถึง 3 เมตร [27] โดยหลักการทำงานของ เซนเซอร์ PMS5003 นั้นอาศัยหลักการกระเจิงของแสงใน การวัดค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาด โดยภายในของ เซนเซอร์ PMS5003 มีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ซึ่งเมื่อ อากาศที่ถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลมขนาดเล็กผ่านแสงเลเซอร์ [26] ที่แสดงดังรูปที่ 3 และหน่วยของค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาด คือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ทั้งนี้ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมดสองค่า คือ ความเร็วลมเท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที และ 4 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วลมนี้วัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น (Hygro-Thermo-Anemometer) ที่ตำแหน่ง กึ่งกลางของถังเผาซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางกระตาะแกรงเหล็ก ที่ใส่วัสดุตัวอย่างที่นำมาทดลอง โดยเป็นการควบคุม ความเร็วลมที่กำหนดไว้ ณ ตำแหน่งนี้ตำแหน่งเดียวเท่านั้น ด้วยการปรับระยะห่างระหว่างถังเผากับพัดลมจนได้ ความเร็วลมที่ต้องการ และนอกจากนี้ลมทางด้านข้างอาจ ส่งผลต่อความเร็วลมที่ต้องการในการทดลองและการ กระเจิงตัวของควันจากการเผาจึงได้มีแผ่นกั้นลมด้านข้าง ทั้ง 2 ผัง ดังรูปที่ 4 อีกทั้งในทุกๆ การทดลองมีการทดลอง ซ้ำทั้งหมด 2 รอบ รวมจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 12 ครั้ง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเทคนิคของเซนเซอร์ PlanTower Laser Dust Sensor PMS5003

Parameter	Index	Unit
Range of measurement	0.3~1.0; 1.0~2.5; 2.5~10	Micrometer (μm)
Counting Efficiency	50% @ 0.3 μm 98% @ $\geq 0.5\mu\text{m}$	
Resolution	1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Maximum Range (PM2.5 standard data)	≥ 1000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Maximum Consistency Error (PM2.5 standard data)	$\pm 10\%$ @ 100~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ @ 0~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Single Response Time	< 1	Second (s)
Total Response Time	≤ 10	Second (s)
Working Temperature Range	-10~+60	$^{\circ}\text{C}$



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

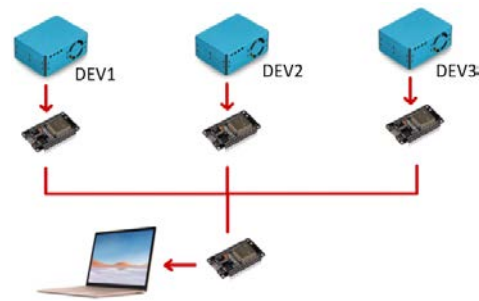
รูปที่ 1 ตัวอย่างของพืชทั้งสามชนิดที่นำมาทดลอง (ก) กล้วย (ข) ฟางข้าว และ (ค) กาบมะพร้าว (ง) ตัวอย่างของพืชที่ชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่กำหนด (จ) ตัวอย่างของพืชที่ใส่ในกรงตะแกรงเหล็กเพื่อนำไปเผา



(ก)

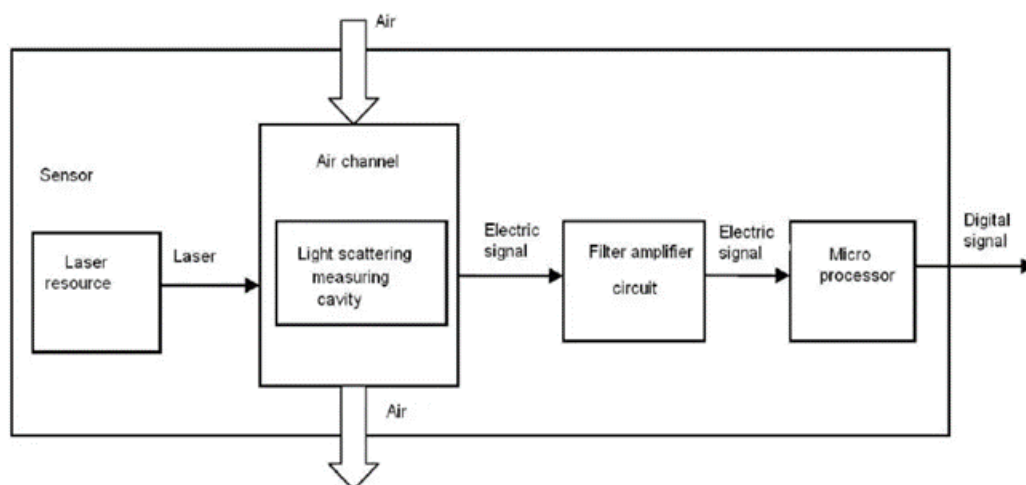


(ข)

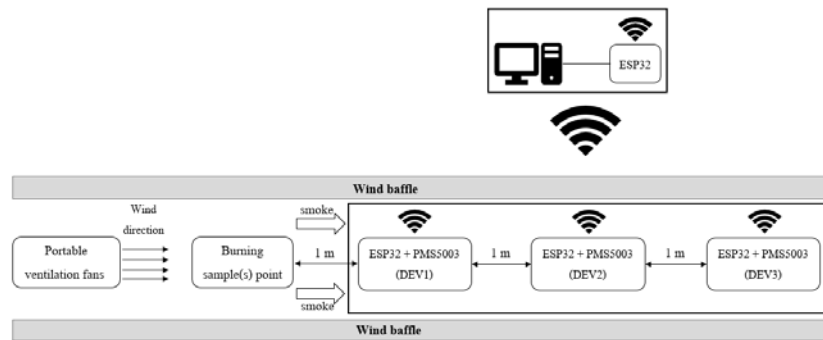


(ค)

รูปที่ 2 เซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นของ PM (ก) ESP32 (ข) PlanTower Laser Dust Sensor PMS5003 (ค) การต่อเซนเซอร์ PlanTower Laser Dust Sensor PMS5003 กับ ESP32



รูปที่ 3 Functional block diagram of sensor

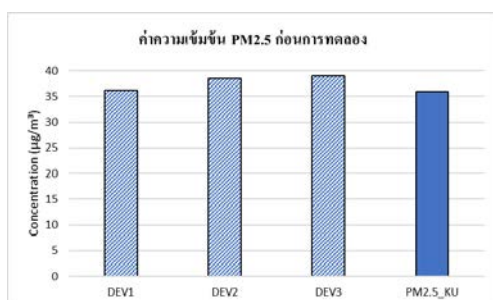


รูปที่ 4 แผนผังการทดลองที่ทำในพื้นที่บริเวณสวนหย่อมโรงหลังอาคารวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 ที่ตำแหน่งของ เซนเซอร์ต่างๆ จากการเผาพีชทดสอบแต่ละชนิด

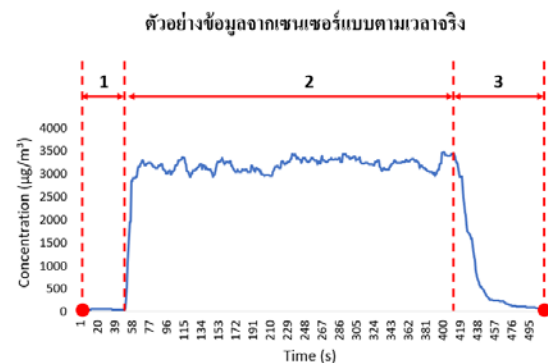
ก่อนการทดลองเผาพีชทดสอบได้มีการเก็บค่าความเข้มข้น PM2.5 จากเซนเซอร์ทุกตัว หรือค่า PM พื้นฐานในสถานที่ทดลอง (Background) อีกทั้งเพื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้น PM2.5 จากเว็บไซต์รายงานคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้น PM2.5 ทั้งจากเซนเซอร์แต่ละตัวรวมถึงจากเว็บไซต์รายงานคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ที่แสดงในกราฟแท่ง PM2.5_KU) นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่าของ PM พื้นฐานในสถานที่ทดลองมีค่าน้อยมากจนไม่มีผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM จากการทดลองในภาพรวม



รูปที่ 5 ค่าความเข้มข้น PM2.5 ที่เก็บก่อนการทดลอง

ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มข้นของ PM2.5 ที่ได้จากเซนเซอร์เมื่อทำการทดลองเผาพีชเป็นค่าแบบตามเวลาจริง (real time) ซึ่งเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ดังรูปที่ 6 โดยช่วงเวลา

ที่ 1 หมายถึง ช่วงตั้งแต่การจุดไฟจนค่าของ PM จากเซนเซอร์เริ่มมากขึ้นกว่าค่า PM พื้นฐานในสถานที่ทดลอง ช่วงเวลาที่ 2 หมายถึง ช่วงที่พีชกำลังถูกเผา และช่วงเวลาที่ 3 หมายถึง ช่วงที่ PM จากเซนเซอร์เริ่มลดลงและการเผาของพีชหมดดับ จนถึงไม่มีควันให้เห็นและสิ้นสุดการเก็บข้อมูล



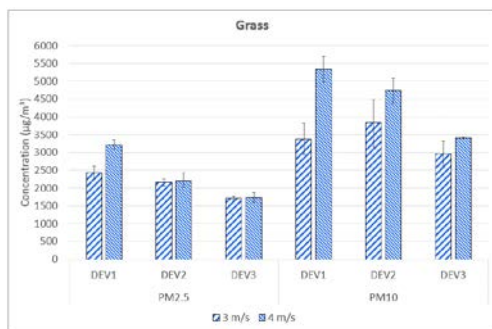
รูปที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ออกจากเซนเซอร์แบบตามเวลาจริง โดยจุดวงกลมแสดงถึงจุดที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บข้อมูล

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ในรูปที่ 6 มาหาค่าเฉลี่ยจากพื้นที่ใต้กราฟในช่วงเวลา 2 และ 3 โดยค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 จากการเผาหญ้าและฟางข้าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ของการทดลองพีชแต่ละชนิดอย่างละสองครั้งที่ความเร็วลม 3 และ 4 m/s ตามลำดับพร้อมทั้งใส่ค่าการกระจายของข้อมูล (Error bar)

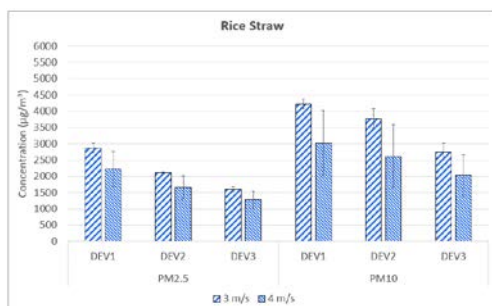
ผลจากการวัดด้วยเซนเซอร์แต่ละตัวโดยตัวแรกวางใกล้กับจุดที่เผามากที่สุดซึ่งห่างเป็นระยะ 1 เมตร เรียกว่า DEV1 และเซนเซอร์ที่อยู่ไกลจากจุดเผามากที่สุด เรียกว่า DEV3 โดยมี DEV2 วางอยู่ตรงกลาง โดยทั้งนี้แต่ละเซนเซอร์ถูกวางห่างกัน 1 เมตร พบว่าเซนเซอร์ที่วัดใกล้

จุดเผามีค่าสูงกว่าตัวที่วางห่างออกไป และมีค่า Error bar ในแต่ละการทดลองในช่วง 5–10% แสดงให้เห็นถึงความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัด ซึ่งในส่วนของการทดสอบจากการเผาไหม้พริกขี้หนูไม่ได้นำเสนอในหัวข้อนี้ เนื่องจากมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับหญ้าและฟางข้าว เพียงแต่มีค่า PM ที่วัดได้น้อยกว่ามาก

ดังนั้นภาพรวมส่วนใหญ่พบว่าค่าความเข้มข้นลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดเผาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของ PM จากแต่ละเซนเซอร์สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ดังนั้น จึงเลือกแสดงผล ณ ที่ตำแหน่งเซนเซอร์ตัวแรกซึ่งใกล้จุดที่เผามากที่สุด คือ DEV1



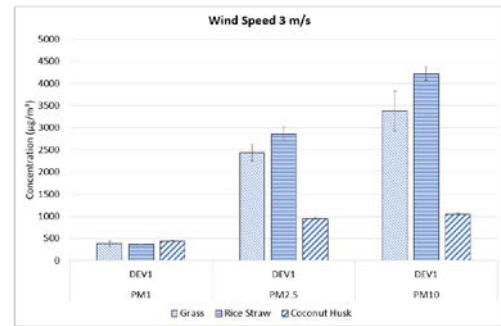
รูปที่ 7 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM2.5 และ PM10 จากเซนเซอร์แต่ละตัวจากการเผาหญ้า



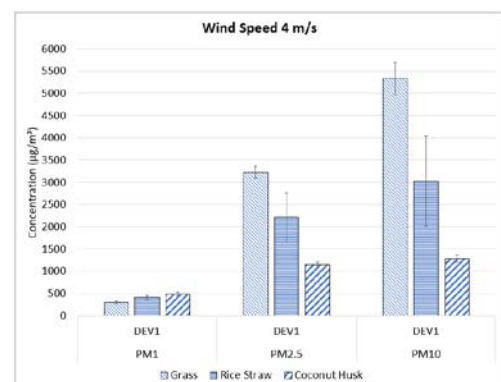
รูปที่ 8 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM2.5 และ PM10 จากเซนเซอร์แต่ละตัวจากการเผาฟางข้าว

3.2 การเผาพืชต่างชนิดกันที่มีผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาดในแต่ละความเร็วลม

ค่าความเร็วลมที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ความเร็วลมที่ 3 เมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 9 และ 4 เมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศไทย



รูปที่ 9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM1 PM2.5 และ PM10 จากการเผาหญ้า ฟางข้าว และกาบมะพร้าวที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 10 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM1 PM2.5 และ PM10 จากการเผาหญ้า ฟางข้าว และกาบมะพร้าวที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที

ในภาพรวมที่แต่ละความเร็วลมนั้นเป็นดังนี้ โดยที่ ณ ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาทีพบว่าการเผาไหม้พริกขี้หนูมีค่าความเข้มข้นของ PM1 มากกว่าจากการเผาหญ้าและฟางข้าว ส่วนค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 จากการเผาไหม้พริกขี้หนูมีค่าน้อยกว่าจากการเผาหญ้าและฟางข้าวอย่างชัดเจน และจากการทดลองที่ ณ ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีพบว่าค่าความเข้มข้นของ PM1 จากการเผาพืชทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งการเผาหญ้าที่ ณ ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีนั้นมีค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ PM10 กับ PM2.5 จากการเผาหญ้าพบว่าค่าความเข้มข้นของ PM10 ที่มากกว่า PM2.5 อย่างชัดเจน

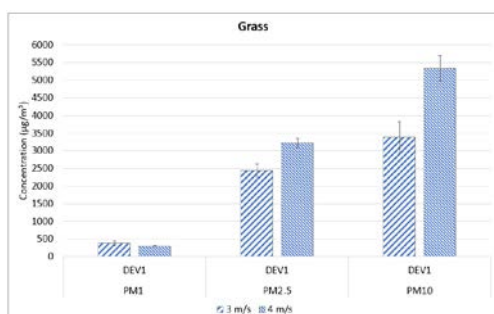
จากผลการทดลองพบว่าทั้งที่ทั้งสองความเร็วลมนั้น PM2.5 และ PM10 มีค่าความเข้มข้นจากการเผาหญ้าและ

ฟางข้าวมากกว่าจากการเผาถั่วอย่างชัดเจน แต่ในทางตรงกันข้ามค่าความเข้มข้นของ PM1 จากการเผาถั่วมีแนวโน้มที่มากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของ PM1 จากการเผาหญ้าและฟางข้าว ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากการทดลองนี้ไม่ได้ควบคุมความชื้นของหญ้า ฟางข้าว และ ถั่วอย่างชัดเจน โดยเป็นการวางตากแห้งไว้ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียสจึงอาจส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ PM นั้นแตกต่างกัน และจากงานวิจัยของ [28] พบว่าความชื้นของพืชส่งผลต่อการเผาไหม้ช่วง smoldering นานขึ้น ทั้งนี้การเผาไหม้ในของแข็งในทางทฤษฎีมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนด้วยกัน[29] ได้แก่ Ignition, Flaming และ Smoldering โดยจากงานวิจัยของ [30] และ[31] พบว่า PM2.5 จากการเผาไหม้ smoldering มากกว่าการเผาไหม้ในขั้น Flaming

ดังนั้นแนวโน้มของความชื้นของพืชส่งผลต่อแต่ละขั้นตอนของการเผาไหม้ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าของ PM เช่นเดียวกัน เห็นได้ว่าค่าของ PM จากการเผาหญ้า ฟางข้าว และถั่วมีความแตกต่างกัน

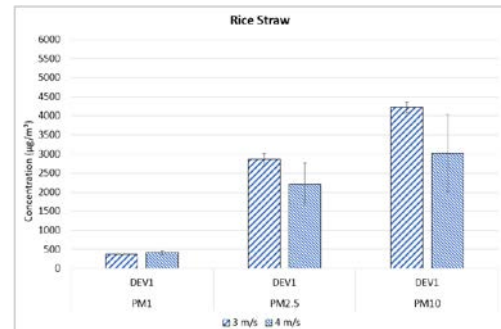
3.3 ความเร็วลมที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาดจากการเผาพืชแต่ละชนิด

ผลจากการเผาหญ้าแสดงดังรูปที่ 11 พบว่าค่าความเข้มข้น PM1 ในทั้งสองค่าความเร็วลมนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเช่นเดียวกันกับใน PM2.5 แต่ความเร็วลมส่งผลอย่างเห็นได้ชัดใน PM10 โดยที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาทีมีค่าความเข้มข้นของ PM10 มากกว่าที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที



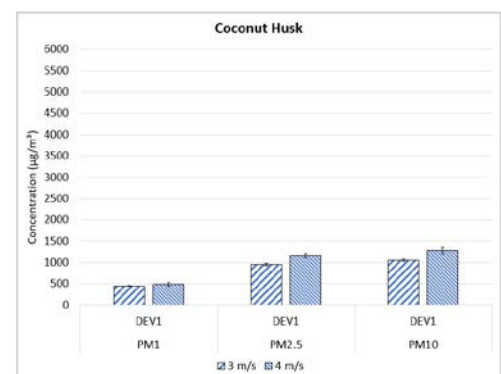
รูปที่ 11 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM1 PM2.5 และ PM10 จากการเผาหญ้า ที่ ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที และ 4 เมตรต่อวินาที

ในส่วนของผลจากการเผาฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 12 พบว่าอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 มีผลตรงกันข้ามกับการเผาหญ้า โดยที่ความเร็วลมที่ 4 เมตรต่อวินาทีมีค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 น้อยกว่าที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที แต่ที่ความเร็วลมทั้งสองไม่เห็นความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของ PM1



รูปที่ 12 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM1 PM2.5 และ PM10 จากการเผาฟางข้าว ที่ ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที และ 4 เมตรต่อวินาที

สำหรับผลจากการเผาถั่วได้แสดงไว้ดังรูปที่ 13 พบว่าทั้ง PM1 PM2.5 และ PM10 ในแต่ละความเร็วลมมีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกัน และค่าความเข้มข้นของ PM ทั้งสามขนาดจากเซนเซอร์แต่ละตัวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงไม่อาจสรุปแนวโน้มอย่างชัดเจนได้จากอิทธิพลของความเร็วลมที่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM ทั้งสามขนาดจากการเผาถั่วได้



รูปที่ 13 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM1 PM2.5 และ PM10 จากการเผาถั่ว ที่ ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที และ 4 เมตรต่อวินาที

โดยจากงานวิจัยของ [32] ทำการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของ PM10 ในช่วงของฤดูหนาวจำนวน 2 เดือน ตั้งแต่ปี 2009 ถึง 2015 พบว่าที่ความเร็วลมต่ำส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM10 ที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของ PM10 จากการเผาฟางข้าว ซึ่งจากงานวิจัยของ [33] ที่ศึกษาผลจากปริมาณน้ำฝนและความเร็วลมที่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 ตั้งแต่ปี 2016 ถึง 2018 พบว่าความเร็วลมส่งผลต่อการลดลง PM2.5 และ PM10 เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 2 เมตรต่อวินาที แต่หากเมื่อความเร็วลมมากกว่า 4 เมตรต่อวินาทีจะส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของ PM10 เพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วลมที่กำหนดในงานวิจัยนี้ คือ ที่ 3 และ 4 เมตรต่อวินาทีโดยอยู่ในช่วงระหว่างข้อสรุปจากงานวิจัย [33] จึงอาจเป็นที่มาที่ทำให้เห็นแนวโน้มตรงกันข้ามของค่า PM2.5 และ PM10 จากการเผาหญ้าและฟางข้าวที่แตกต่างกัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาด ได้แก่ PM1 PM2.5 และ PM10 จากการเผาพืชต่างชนิดที่ความเร็วลมเดียวกันมีความแตกต่างกันทั้งนี้สืบเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพในการเผาไหม้ ได้แก่ เฟสในการเผาไหม้ รวมถึงความชื้นในพืชแต่ละชนิด โดยในภาพรวมค่าความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 จากการเผาภาพมะพร้าว นั้นมีค่าน้อยที่สุด อีกทั้งความเร็วลมส่งผลโดยตรงต่อค่าความเข้มข้นของ PM เช่นกัน โดย PM2.5 และ PM10 จากการเผาหญ้าที่ความเร็วลม 4 m/s มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าที่ 3 m/s แต่ในทางกลับกัน PM2.5 และ PM10 จากการเผาฟางข้าวที่ความเร็วลม 4 m/s นั้นมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าที่ 3 m/s แต่ในส่วนของ PM1 นั้นในพืชทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทั้งสองความเร็วลม สำหรับค่าความเข้มข้นของ PM ทั้งสามขนาดที่เก็บจากการเผาภาพมะพร้าวในทั้งสองความเร็วลมนั้นก็มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลจากการทดลองนี้จึงได้ข้อสรุปอย่างชัดเจนว่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจจะทำให้ค่าความเข้มข้นของ PM แต่ละขนาดลดลงได้ตามหลักทฤษฎีการกระจายของควันทันที หากแต่ลักษณะกายภาพของการเผาพืชต่างชนิดกัน

น่าจะมีอิทธิพลที่สำคัญต่อการแพร่กระจายของความเข้มข้นของ PM เช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ขอขอบคุณนายชนาธิป นิภากรพันธ์, นายพิริวิชญ์ เหมนแก้ว และนายพิสิฐธรณ์ สุทธิสมบุญ สำหรับการเก็บข้อมูลผลการทดลองในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุนวิจัยคณะที่ 65/13/ME/D.ENG

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Zhao, H. Che, X. Zhang, Y. Ma, Y. Wang, H Wang and Y. Wang, "Characteristics of visibility and particulate matter (PM) in an urban area of Northeast China," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 4, no. 4, pp. 427–434, 2013, doi: 10.5094/APR.2013.049.
- [2] T. Jeensorn, P. Apichartwivat and W. Jinsart, "PM10 and PM2.5 from Haze Smog and Visibility Effect in Chiang Mai Province Thailand," *Applied Environmental Research*, vol. 40, no. 3, pp. 1–10, 2018, doi: 10.35762/AER.2018.40.3.1.
- [3] Y. -F. Xing, Y. -H. Xu, M. -H. Shi and Y. -X. Lian, "The impact of PM2.5 on the human respiratory system," *Journal of thoracic disease*, vol. 8, no. 1, pp. E69–E74, 2016, doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.
- [4] K. Singh and D. Tripathi, "Particulate Matter and Human Health," in *Environmental Health*, London, United Kingdom: IntechOpen, 2021, ch. 3, pp. 1–15. [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/79308>.
- [5] P. Srinamphon, S. Chernbumroong and K. Tippayawong, "The Effect of Small Particulate Matter on Tourism and Related SMEs in Chiang Mai, Thailand," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, 2022, Art. no. 8147, doi: 10.3390/su14138147.
- [6] T. Namcome and R. Tansuchat, "The Impact of Fine Particulate Matter (PM 2.5) Pollution on the Number of

- Foreign Tourists in Chiang Mai and Bangkok,” *Rajabhat Chiang Mai Research Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 19–35, 2021, doi: 10.14456/rcmrj.2021.247437.
- [7] T. Supasri and S. Sampattagul, “Haze Problem in the North of Thailand and DustBoy PM 2.5 Monitoring Systems,” presented at *the LASS Annual Meeting 2019*, Hsinchu, Taiwan, 2019, Paper 1001.
- [8] N. Chuersuwat, S. Nimrat, S. Lekphet and T. Kerdumrai, “Levels and major sources of PM2.5 and PM10 in Bangkok Metropolitan Region,” *Environment international*, vol. 34, no. 5, pp. 671–677, 2008, doi: 10.1016/j.envint.2007.12.018.
- [9] N. Kanjanasiranont, T. Butburee and P. Peerakiatkhajohn, “Characteristics of PM10 Levels Monitored in Bangkok and Its Vicinity Areas, Thailand,” *Atmosphere*, vol. 13, no. 2, 2022, doi: 10.3390/atmos13020239.
- [10] W. Wimolwattanapun, P. K. Hopke and P. Pongkiatkul, “Source apportionment and potential source locations of PM2.5 and PM2.5–10 at residential sites in metropolitan Bangkok,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 2, no. 2, pp. 172–181, 2011, doi: 10.5094/APR.2011.022.
- [11] Pollution Control Department, “National Master Plan for Open Burning Control,” Pollution Control Department, Bangkok, Thailand, Rep. no. c.p. 03-06-066, 2020, Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.pcd.go.th/publication/4692>.
- [12] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Thailand 2017,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2017, Accessed: Jan. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/yearbook60.pdf>.
- [13] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Thailand 2018,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2018, Accessed: Jan. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2562/yearbook2561.pdf>.
- [14] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Thailand 2019,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2019, Accessed: Jan. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2563/yearbook62edit.pdf>.
- [15] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Thailand 2020,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2020, Accessed: Jan. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2564/yearbook2563.pdf>.
- [16] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Thailand 2021,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2021, Accessed: Jan. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2565/yearbook2564.pdf>.
- [17] B. Sajjakulnukit, R. Yingyuad, V. Maneekhao, V. Pongnarintasut, S. Bhattacharya and P. Abdul Salam, “Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Thailand,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 29, no. 3, pp. 214–224, 2005, doi: 10.1016/j.biombioe.2005.03.009.
- [18] W. Song, Y. He, Y. Wu and W. Qu, “Characterization of Burning Behaviors and Particulate Matter Emissions of Crop Straws Based on a Cone Calorimeter,” *Materials*, vol. 14, no. 12, 2021, Art. no. 3407, doi: 10.3390/ma14123407.
- [19] X. Li, S. Wang, L. Duan, J. Hao, C. Li, Y. Chen and L. Yang, “Particulate and Trace Gas Emissions from Open Burning of Wheat Straw and Corn Stover in China,” *Environmental science & technology*, vol. 41, no. 17, pp. 6052–6058, 2007, doi: 10.1021/es0705137.
- [20] R. Harrison, J. Yin, D. Mark, J. Stedman, R. S. Appleby, J. Booker and S. Moorcroft, “Studies of the

- Coarse Particle (2.5-10 μm) Component in UK Urban Atmospheres,” *Atmospheric Environment*, vol. 35, no. 21, pp. 3667–3679, 2001, doi: 10.1016/S1352-2310(00)00526-4.
- [21] M. Can, C. Tianhai, B. Fangwen, G. Xingfa, W. Jian, Z. Xin and S. Shuaiyi, “The Impact of Meteorological Factors on Fine Particulate Pollution in Northeast China,” *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 20, pp. 1618–1628, 2020, doi: 10.4209/aaqr.2019.10.0534.
- [22] R. Barratt, “Understanding the Atmosphere,” in *Atmospheric Dispersion Modelling: An Introduction to Practical Applications*, 1st ed., London, UK: Routledge, 2001, ch. 3, sec. 7, pp. 30–32.
- [23] S. Chingulpitak and S. Wongwises, “Critical review of the current status of wind energy in Thailand,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, pp. 312–318, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.038.
- [24] Rice, Science Center Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Mar. 30, 2023 [Online]. Available: <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu/45-rice>.
- [25] S. Panyakaew and S. Fotios, “New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse,” *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 7, pp. 1732–1739, 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.015.
- [26] Adafruit Industries LLC. *Product Data Manual of Plantower (Digital universal particle concentration sensor (PMS5003 series data manual))*, 2016. Accessed: Jul. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.digikey.jp/htmldatasheets/production/2903006/0/0/1/pms5003-series-manual.html>.
- [27] *Highway Standard*, Department of Highways, [Online] Available: <http://www.doh.go.th/content/page/page/5624>.
- [28] Y. Zhang, D. Obrist, B. Zielinska and A. Gertler, “Particulate emissions from different types of biomass burning,” *Atmospheric Environment*, vol. 72, pp. 27–35, 2013, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.02.026.
- [29] R. Koppmann, K. Czapiewski and J. S. Reid, “A review of biomass burning emissions, Part I: Gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 5, pp. 10455–10516, 2005, doi: 10.5194/acpd-5-10455-2005.
- [30] Y. -P. Hsieh, G. Bugna and K. Robertson, “Thermochemical Properties of PM_{2.5} as Indicator of Combustion Phase of Fires,” *Atmosphere*, vol. 9, no. 6, 2018, Art. no. 230, doi: 10.3390/atmos9060230.
- [31] S. Balachandran, J. E. Pachon, S. Lee, M. M. Oakes, N. Rastogi, W. Shi, E. Tagaris, B. Yan, A. Davis, X. Zhang, *et al.*, “Particulate and gas sampling of prescribed fires in South Georgia, USA,” *Atmospheric Environment*, vol. 81, pp. 125–135, 2013, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.08.014.
- [32] R. Cichowicz, G. Wielgosinski and W. Fetter, “Effect of wind speed on the level of particulate matter PM₁₀ concentration in atmospheric air during winter season in vicinity of large combustion plant,” *Journal of Atmospheric Chemistry*, vol. 77, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1007/s10874-020-09401-w.
- [33] Z. Liu, L. Shen, C. Yan, J. Du, Y. Li and H. Zhao, “Analysis of the Influence of Precipitation and Wind on PM_{2.5} and PM₁₀ in the Atmosphere,” *Advances in Meteorology*, vol. 2020, 2020, Art. no. 5039613, doi: 10.1155/2020/5039613.