

## การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมเชื้อเพลิงกับการเผาไหม้แบบระอุ Analysis of Relationship Between Fuel Accumulation and Smoldering Combustion

พิมพรหมณ์ เศตะพราหมณ์, มานะ แซ่ด่าน และ วิชระพงษ์ ธีชัยพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200  
ติดต่อ: pimphram.setaphram@gmail.com, 053-944146

### **บทคัดย่อ**

การเผาไหม้แบบระอุ มักพบเมื่อเกิดไฟป่าในบริเวณป่าเต็งรังซึ่งเป็นป่าผลัดใบ โดยจะเกิดปัญหาหมอกควันไฟมากกว่าปกติ การลดปัญหาหมอกควันจากไฟป่าจึงมุ่งเน้นลดการเกิดการเผาไหม้แบบระอุโดย การลดปริมาณเชื้อเพลิงสะสมในป่า ปัจจุบันเทคนิคที่นิยมใช้ คือการชิงเผาแบบจุดไฟเป็นหย่อม การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมเชื้อเพลิงกับการเกิดการเผาไหม้แบบระอุ เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกบริเวณในการจุดไฟลดเชื้อเพลิงป่า

การศึกษานี้ใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบคือ ใบเต็ง ใบรัง ใบเหียง และใบพลวง โดยสภาพทดสอบใช้บรรจุเชื้อเพลิงมีความสูง 3, 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงสะสมสูง 3 มิลลิเมตร ใบพลวงมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุนานที่สุด 28.43 นาที เชื้อเพลิงสะสมสูง 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร ใบรังมีระยะเวลาเผาไหม้นานที่สุด 18.31, 10.24 และ 8.05 นาทีตามลำดับ ดังนั้นเชื้อเพลิงความสูง 3, 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร ควรลดการสะสมของใบพลวง ใบรัง ใบรัง ใบรัง ตามลำดับ

**คำหลัก:** การเผาไหม้แบบระอุ, ป่าเต็งรัง, ไฟป่า, การชิงเผาแบบจุดไฟเป็นหย่อม

### **Abstract**

Current smoke problem wildfire is caused from smoldering. Smoldering process produces smoke which creates more haze than flaming combustion. The most important factor affecting smoldering is fuel bed depth. Reducing fuel loads in the forest is thus decrease the smoldering and the smoke problem from wildfires. Currently, the widely used technique is a spot firing technique. Therefore, this study focuses on relationship between fuel accumulation and smoldering combustion for use in deciding on the area to set fire.

This study used Teng leaf, Rang leaf, Hiang leaf and Pluang leaf as samples for testing. Sample was packed into the sample tray with a height of 3, 6, 9 and 12 millimeter. At the fuel bed depth of 3 mm, it was found that the longest smoldering time of Pluang leaf was 28.43 minute. At the fuel bed depth of 6, 9 and 12 mm, the longest smoldering time of Rang leaf were 18.31, 10.24 and 8.05 minute, respectively. Therefore, the fuel bed depth of 3, 6, 9 and 12 mm should be managed to decrease the accumulation of Pluang leaf, Rang leaf, Rang leaf and Rang leaf respectively.

**Keywords:** Smoldering combustion, Deciduous dipterocarp forest, Wildfire, Onset of smoldering

## 1. บทนำ

การเผาไหม้แบบประจุกคือ การเผาไหม้อย่างช้า โดยไม่มีการติดไฟ ช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้แบบประจุกจะต่ำกว่าการเผาไหม้แบบเปลวไฟ [1] กระบวนการการเผาไหม้แบบประจุกเกิดจากความร้อนที่เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนระหว่างออกซิเจนและเชื้อเพลิงแข็ง โดยเฉพาะวัสดุถ่านคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของแข็ง เมื่อวัตถุถูกทำให้ร้อนจะพบว่ามีการเผาไหม้เป็นไอระเหย การเผาไหม้แบบประจุกเป็นปรากฏการณ์สำคัญที่มาพร้อมกับไฟไหม้ป่า [2] ข้อมูลจากกรมป่าไม้ ปี 2559 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ป่าในเขตพื้นที่อนุรักษ์ถูกไฟไหม้ทั้งหมด 125,896.10 ไร่ ซึ่งปัญหาไฟป่าที่เกิดขึ้นนั้น มักพบบริเวณที่เป็นป่าผลัดใบชนิดป่าเต็งรัง [3] ทำให้พบกับปัญหาสำคัญที่ตามมา นั่นคือหมอกควัน

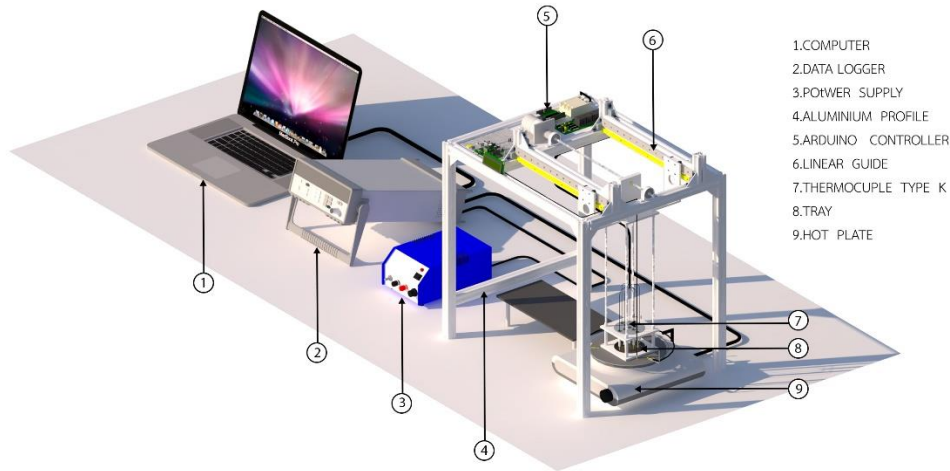
การเผาไหม้แบบประจุก มีปัจจัยที่สำคัญทำให้เกิดการเผาไหม้ คือ ความลึกเชื้อเพลิง ซึ่งกระบวนการจะเกิดควันไฟมากกว่าปกติหากเชื้อเพลิงมีปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการเผาไหม้แบบประจุกมากก็จะทำให้เกิดหมอกควันจำนวนมากตามมา [1] โดยข้อมูลในปี 2559 ที่ผ่านมามีปัญหาหมอกควันตั้งแต่เดือนมกราคม - พฤษภาคม 2559 ส่งผลกระทบต่อ สังคม เศรษฐกิจ และสุขภาพของประชาชนเป็นอย่างมาก [4] และจากงานวิจัยของกรมควบคุมมลพิษของประเทศไทยได้กล่าวว่าเมื่อไหร่ที่ค่าอนุภาคแขวนลอยขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5) ของค่าหมอกควันเกินกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเริ่มส่งผลกระทบต่อระบบหายใจของมนุษย์ [5]

การลดปัญหาหมอกควันสามารถแก้ไขโดยลดการเกิดการเผาไหม้แบบประจุก ซึ่งในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีการหนึ่งในนั้นคือการลดปริมาณเชื้อเพลิง(Fuel Loading) ซึ่งเป็นเทคนิคการลดการสะสมของเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการเกิดการเผาไหม้แบบประจุกได้ดี [6] จากการศึกษาของสำเร็จ ปานอุทัย และคณะ เรื่อง ไฟป่าและพฤติกรรมของไฟในพื้นที่ต้นน้ำ พบว่าการชิงเผาเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการเชื้อเพลิงเพื่อลดความเสี่ยงต่อ

การเกิดไฟป่าขนาดใหญ่ที่มีความรุนแรงสูงจนไม่สามารถที่จะควบคุมได้จนก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสุขภาพอากาศ [7] ทั้งนี้เนื่องจากนวัตกรรมอากาศยานไร้คนขับกำลังเข้ามามีบทบาทช่วยในการชิงเผา ทำให้สามารถควบคุมการจุดไฟไปยังเชื้อเพลิงเป้าหมายได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ จึงสามารถประยุกต์ใช้การจุดไฟด้วยเทคนิคการจุดเป็นหย่อม (Spot firing technique) ที่สามารถเลือกจุดเชื้อเพลิงเฉพาะบริเวณที่มีเชื้อเพลิงสะสมปริมาณมากและมีโอกาสเกิดการเผาไหม้แบบประจุกสูง การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมเชื้อเพลิงกับการเกิดการเผาไหม้แบบประจุก เพื่อใช้ในการตัดสินใจจุดไฟของอากาศยานไร้คนขับ

## 2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

### 2.1 เครื่องมือทดสอบ



รูปที่ 1 เครื่องมือใช้ทดสอบการเกิดการเผาไหม้แบบระอู

เครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการทดสอบ มีดังนี้ คอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บรวบรวม ประมวลผล และแสดงผลของข้อมูลอุณหภูมิในถาดทดสอบ โดยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ที่ใช้ยี่ห้อ Agilent keysigt รุ่น 34970A จำนวน 20 channel เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิในถาดทดสอบ โดยมีเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocuple Type K) เป็นอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ ทำจากส่วนประกอบของวัสดุ Chromel – Alomel ช่วงอุณหภูมิใช้งาน -270 องศาเซลเซียส ถึง 1372 องศาเซลเซียส ความถูกต้อง  $\pm 2.2$  องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2 ภาพตัดไดอแกรมในส่วนถาดเผาไหม้ ในส่วนของแหล่งกำเนิดการให้ความร้อน ให้ความร้อนผ่านทางแผ่นเพลทความร้อน โดยแผ่นเพลทถูกควบคุมให้จ่ายความร้อนที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส ใช้อาดูโน (Arduino) ควบคุมอุณหภูมิเตา ถาดสำหรับใส่เชื้อเพลิง ทำจากอลูมิเนียม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 73 มิลลิเมตร และความสูงอยู่ที่ 3 ,6 ,9 และ 12 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 ภาพตัดไดอแกรมในส่วนถาดเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ คือ ไบโอดีง ไบริง ไบเหียง และไบพลวง โดยไบไม้ทั้ง 4 ชนิดถูกป่นและนำมารอนผ่านตะแกรงขนาดที่ 16 เมช เพื่อให้วัสดุทดสอบมีขนาดเท่ากัน

ในทุกการทดสอบ เมื่อวัสดุถูกแยกขนาดเป็นที่เรียบร้อย วัสดุจะถูกอบผ่านเครื่องอบ เนื่องจากต้องการให้วัสดุที่ใช้ทดสอบมีสภาวะความชื้นเดียวกันตลอดการทดสอบ จึงทำการคำนวณเพื่อหาระยะเวลาในการอบ ผ่านสมการความชื้นมาตรฐานแห่ง

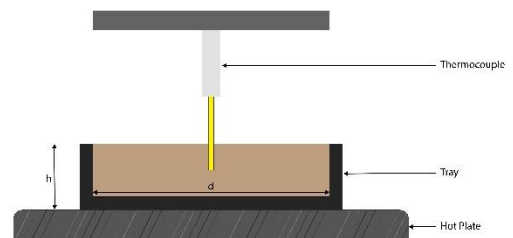
$$M_d = \frac{w - d}{d}$$

เมื่อ  $M_d$  คือ ความชื้นมาตรฐานแห่ง

w คือ มวลของวัสดุ

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น)

เชื้อเพลิงถูกอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนมวล

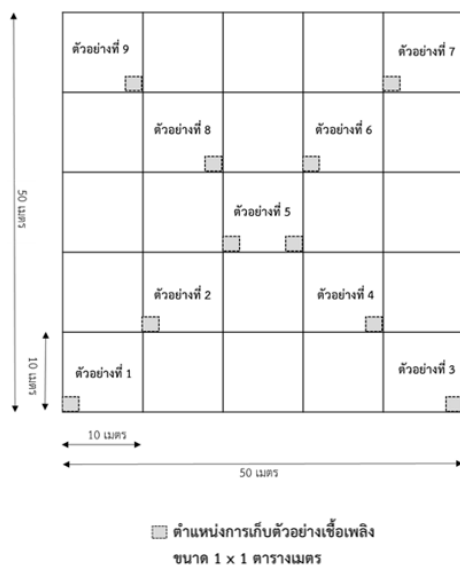


รูปที่ 2 ภาพตัดไดอแกรมในส่วนถาดเผาไหม้

## 2.2 การลงพื้นที่เพื่อเก็บเชื้อเพลิงตัวอย่าง

### 2.2.1 การเก็บตัวอย่าง

ทำการลงพื้นที่จริง อ่างเก็บน้ำห้วยบก ตำบลห้วยแก้ว อำเภอแม่อน เชียงใหม่โดยตีแปลงขนาด 50 x 50 ตารางเมตร เมื่อได้พื้นที่ทำการแบ่งแปลงย่อยขนาด 10x10 ตารางเมตร หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างแนวทแยง โดยนำกรอบขนาด 1 x 1 ตารางเมตรวางบริเวณมุมของแปลงย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิง

### 2.2.2 การวัดตัวอย่าง

จากการทำการตีกรอบพื้นที่เก็บตัวอย่างขนาด 1 x 1 ตารางเมตร ทำการวัดค่าความสูงของเชื้อเพลิงโดยใช้ไม้บรรทัดวัดจากหน้าดินจนถึงส่วนบนสุดของเชื้อเพลิงทำการสุ่ม 5 จุดในกรอบตัวอย่างขนาด 1 x 1 ตารางเมตร ซึ่งค่าที่จะทำการบันทึกจะเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 5 ตำแหน่ง จากผลการเก็บความสูงสะสมของเชื้อเพลิงพบว่า ความสูงของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 3 - 12 มิลลิเมตร จึงส่งผลให้ถาดทดสอบมีความสูงในช่วง 3 - 12 มิลลิเมตร

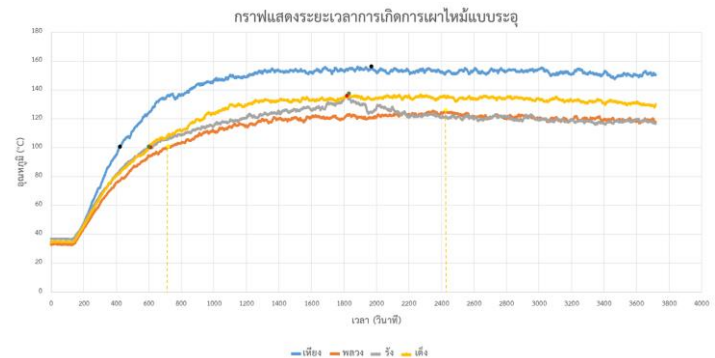
### 2.3 วิธีการทดสอบ

นำเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบบรรจุลงยังถาดเชื้อเพลิงตามความสูงที่กำหนด โดยถาดเชื้อเพลิงเคลื่อนที่มายังแผ่นเพลทความร้อน เมื่ออุณหภูมิของแผ่นเพลท

ความร้อนถึงค่าที่กำหนด โดยถาดเชื้อเพลิงจะได้รับความร้อนผ่านทางแผ่นเพลทความร้อน และระหว่างที่ถาดเชื้อเพลิงได้รับความร้อนนี้จะถูกเก็บค่าอุณหภูมิเชื้อเพลิง

## 3. ผลการทดลอง

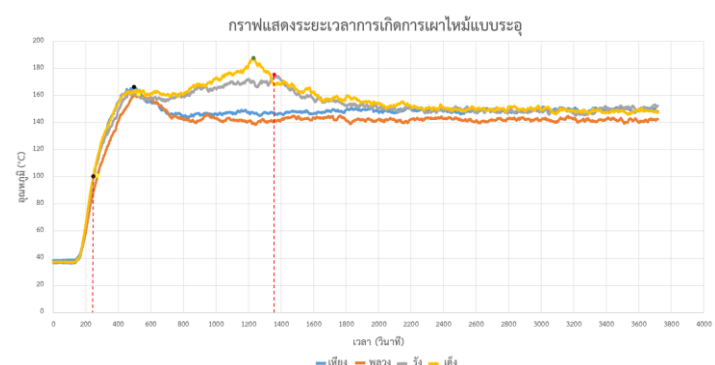
### 3.1 ความสูงของถาดทดสอบ 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4 ค่าอุณหภูมิที่ถาดทดสอบความสูง 3 มิลลิเมตร

จากกราฟที่ความสูงของถาดทดสอบ 3 มิลลิเมตรพบว่า ไบเต็งตามเส้นสีน้ำเงินมีความเสี่ยงต่อการเกิดการเผาไหม้แบบระอุสูงที่สุดเนื่องจากพบอุณหภูมิสูงที่สุดดังแสดงในกราฟ และระยะเวลาในการเริ่มเกิดการเผาไหม้แบบระอุน้อยสุดอยู่ที่ 7.07 นาที รองลงมาคือ ไบเต็งที่ 10.02 นาที ไบริงที่ 10.10 นาที และไบพลวงที่ 12.03 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาในการเกิดการเผาไหม้นานที่สุดที่ 28.43 นาที เกิดขึ้นกับไบพลวง โดยสามารถสังเกตได้จากระยะห่างระหว่างจุดสีเหลืองดังแสดงในกราฟ รองลงมาไบเต็ง ไบเต็ง และไบริง โดยมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุ คือ 28.26 , 20.31 และ 20.10 นาทีตามลำดับ

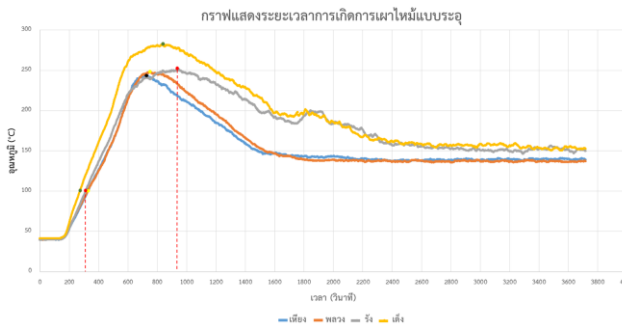
### 3.2 ความสูงของถาดทดสอบ 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 ค่าอุณหภูมิที่ถาดทดสอบความสูง 6 มิลลิเมตร

จากกราฟที่ความสูงของถาดทดสอบ 6 มิลลิเมตร พบว่า ไบเต็งตามเส้นสีเหลืองมีความเสี่ยงต่อการเกิดการเผาไหม้แบบระอุสูงที่สุดเนื่องจากพบอุณหภูมิสูงที่สุดดังแสดงในกราฟ และระยะเวลาในการเริ่มเกิดการเผาไหม้แบบระอุน้อยสุดอยู่ที่ 4.07 นาที รองลงมาคือ ไบเหียงที่ 4.09 นาที ไบรั้งที่ 4.11 นาที และไบพลวงที่ 4.15 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาในการเกิดการเผาไหม้นานที่สุดที่ 18.31 นาที เกิดขึ้นกับไบรั้ง โดยสามารถสังเกตได้จาก ระยะห่างระหว่างจุดสีแดงดังแสดงในกราฟ รองลงมาไบเต็ง ไบพลวง และไบเหียง โดยมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุ คือ 16.29 ,4.15 และ 4.09 นาทีตามลำดับ

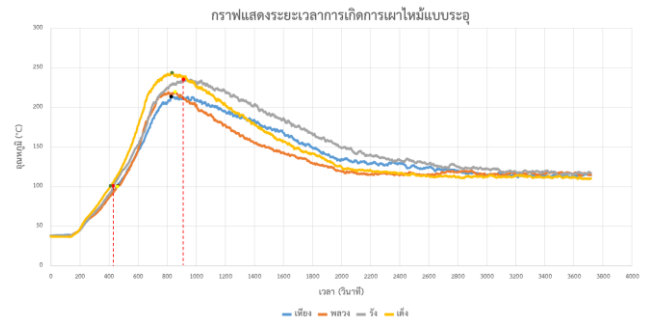
### 3.3 ความสูงของถาดทดสอบ 9 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิที่ถาดทดสอบความสูง 9 มิลลิเมตร

จากกราฟที่ความสูงของถาดทดสอบ 9 มิลลิเมตร พบว่า ไบเต็งตามเส้นสีเหลืองมีความเสี่ยงต่อการเกิดการเผาไหม้แบบระอุสูงที่สุดเนื่องจากพบอุณหภูมิสูงที่สุดดังแสดงในกราฟ และระยะเวลาในการเริ่มเกิดการเผาไหม้แบบระอุน้อยสุดอยู่ที่ 4.36 นาที รองลงมาคือ ไบรั้งที่ 5.15 นาที ไบพลวงที่ 5.30 นาที และไบเหียงที่ 5.31 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาในการเกิดการเผาไหม้นานที่สุดที่ 10.24 นาที เกิดขึ้นกับไบรั้ง โดยสามารถสังเกตได้จาก ระยะห่างระหว่างจุดสีแดงดังแสดงในกราฟ รองลงมาไบเต็ง ไบพลวง และไบเหียง โดยมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุ คือ 9.26 ,7.03 และ 6.39 นาทีตามลำดับ

### 3.4 ความสูงของถาดทดสอบ 12 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 ค่าอุณหภูมิที่ถาดทดสอบความสูง 12 มิลลิเมตร

จากกราฟที่ความสูงของถาดทดสอบ 12 มิลลิเมตร พบว่า ไบเต็งตามเส้นสีเหลืองมีความเสี่ยงต่อการเกิดการเผาไหม้แบบระอุสูงที่สุดเนื่องจากพบอุณหภูมิสูงที่สุดดังแสดงในกราฟ และระยะเวลาในการเริ่มเกิดการเผาไหม้แบบระอุน้อยสุดอยู่ที่ 6.52 นาที รองลงมาคือ ไบรั้งที่ 7.11 นาที ไบพลวงที่ 7.39 นาที และไบเหียงที่ 7.41 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาในการเกิดการเผาไหม้นานที่สุดที่ 8.05 นาที เกิดขึ้นกับไบรั้ง โดยสามารถสังเกตได้จาก ระยะห่างระหว่างจุดสีแดงดังแสดงในกราฟ รองลงมาไบเต็ง ไบพลวง และไบเหียง โดยมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุ คือ 7.05 ,6.38 และ 6.11 นาทีตามลำดับ

### 4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ ที่เชื้อเพลิงสะสมความสูง 3 มิลลิเมตร ไบพลวง ไบเหียง ไบเต็ง ไบรั้ง มีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุอยู่ที่ 28.43 ,28.26 ,20.31 และ 20.10 นาทีตามลำดับ เชื้อเพลิงสะสมความสูง 6 มิลลิเมตร ไบรั้ง ไบเต็ง ไบพลวง ไบเหียง มีมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุอยู่ที่ 18.31 16.29 ,4.15 และ 4.09 นาทีตามลำดับ ที่เชื้อเพลิงสะสมความสูง 9 มิลลิเมตร ไบรั้ง ไบเต็ง ไบพลวง ไบเหียง มีมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุอยู่ที่ 10.24 ,9.26 ,7.03 และ 6.39 นาทีตามลำดับ และที่เชื้อเพลิงสะสมความสูง 12 มิลลิเมตร ไบรั้ง ไบเต็ง ไบพลวง ไบเหียง มีมีระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุอยู่ที่ 8.05 ,7.05 ,6.38 และ 6.11 นาทีตามลำดับ



ความสูงภาด ทดสอบ	ชนิดของเชื้อเพลิง โดยเรียงลำดับ ระยะเวลาการเกิดการเผาไหม้แบบระอุ จากนานไปเร็ว			
	1	2	3	4
3	พลวง	เหียง	เต็ง	รัง
6	รัง	เต็ง	พลวง	เหียง
9	รัง	เต็ง	พลวง	เหียง
12	รัง	เต็ง	พลวง	เหียง

จากตารางสรุปผลพบว่าที่เชื้อเพลิงความสูง 3, 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร ควบคุมการสะสมของไบพลวง ไบรัง ไบริง ไบริง ตามลำดับ ซึ่งตั้งแต่ความสูงของเชื้อเพลิง 6 มิลลิเมตรขึ้นไปควรเลือกลดการสะสมของไบริง ไบเต็ง ไบพลวง และไบเหียง ตามลำดับ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรพงษ์ รัชชพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำโครงการวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณศูนย์ควบคุมไฟป่าภาคเหนือ เชียงใหม่ นำเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบบริเวณ อุทยานแห่งชาติ อ่างเก็บน้ำห้วยบก ตำบลห้วยแก้ว อำเภอแม่อน จังหวัด เชียงใหม่ ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้มอบทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Adam C. Watts and Leda N. Kobziar. Smoldering Combustion and Ground Fires: Ecological Effects and Multi-Scale Significance. Smoldering Combustion and Ground Fires 2013;9:125.
- [2] Guillermo Rein. Smoldering Combustion Phenomena in Science and Technology. International Review of Chemical Engineering 2019;1:3-18.

- [3] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. ตารางที่ 12 พื้นที่ป่าในเขตพื้นที่อนุรักษ์ที่ถูกไฟไหม้ พ.ศ. 2555 – 2559 [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2561 มกราคม 24]. เข้าถึงได้จาก <http://www.dnp.go.th/statistics/2559/stat2559.asp>
- [4] สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. ตารางแสดงค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 ณ เวลา 09.00 น. ในพื้นที่ภาคเหนือในเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2559 [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2561 มกราคม 20]. เข้าถึงได้จาก [air4thai.pcd.go.th/webV2/download\\_report.php?file=northhaze\\_2016](http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download_report.php?file=northhaze_2016)
- [5] กรีนพีซ. การจัดลำดับเมืองที่มีปัญหามลพิษ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 2561 กุมภาพันธ์ 11]. เข้าถึงได้จาก <https://www.greenpeace.or.th/s/right-to-clean-air/PM5-City-Ranking-in-Thailand.pdf>
- [6] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. การจัดการเชื้อเพลิง [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2561 มกราคม 30]. เข้าถึงได้จาก [http://www.dnp.go.th/forestfire/FIRESCIENCE/lesson%204/lesson4\\_1.htm](http://www.dnp.go.th/forestfire/FIRESCIENCE/lesson%204/lesson4_1.htm)
- [7] สำเร็จ ปานอุทัย และคณะ. ไฟป่าและพฤติกรรมของไฟในพื้นที่ต้นน้ำ. กรุงเทพมหานคร : กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช;2552
- [8] Elaine et al. Experimental investigation of smoldering in biomass. Biomass and Bioenergy 2002; 22:283-294.
- [9] Gisle Kleppe et al. Onset of smoldering in cotton: Effects of density. Fire Safety Journal 2011;46: 73-80.
- [10] Vidar Frette et al. Effects of heat flux scenarios on smoldering in cotton. Fire Safety Journal 2013; 61:144-159.



[11] Rory M. Hadden et al. Study of the competing chemical reactions in the initiation and spread of smouldering combustion in peat. Proceedings of the Combustion Institute 2013;34:2547-2553.

[12] Bjarne Christian Hagen et al. Transition from smoldering to flaming fire in short cotton samples with asymmetrical boundary conditions. Fire Safety Journal 2014;71:69-78.

[13] Vladimir Fateev. Determination of smoldering time and thermal characteristics of firebrands under laboratory conditions. Fire Safety Journal 2017;91:791-799.

[14] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. ความรู้เรื่องไฟป่า [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2561 มกราคม 20]. เข้าถึงได้จาก <http://www.dnp.go.th/forestfire/web/frame/lesson1.html>

[15] ศิริ อัคระอัคร และคณะ. รายงานการวิจัยศูนย์วิจัยไฟป่าห้วยขาแข้ง จ.อุทัยธานี: พฤติกรรมของไฟในป่าเต็งรัง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง. กรุงเทพมหานคร: วิชาการด้านไฟป่า สำนักป้องกันและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช;2546.

[16] Bjarne Christian Hagen. Onset of smoldering and transition to flaming fire. Department of Physics and Technology University of Bergen 2013;1:1-114.

[17] Pissanu Wongchai. Effects of Moisture Content in Para Rubber Leaf Litter on Critical Mass Flux and Piloted Ignition Time. Energy Procedia 2015;79:448-452.