การวิเคราะห์ค่าความร้อนของใบไม้เพื่อทำนายความรุนแรงของไฟป่าในป่าเต็งรัง

Analysis of Heating Value of Leaves to Predict Forest Fire Intensity in Dry Dipterocarp Forest

ปัญญากร ดีเรือน, มานะ แซ่ด่าน และ วัชรพงษ์ ธัชยพงษ์

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

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการสะสมของใบไม้แห้งที่ร่วงหล่นในฤดูแล้งบริเวณพื้นที่ป่าเต็งรัง ทำให้เกิดไฟไหม้จนส่งผลเสียต่อระบบนิเวศ การลดปัญหาไฟป่าจึงมุ่งเน้นการลดเชื้อเพลิงป่าด้วยวิธีการชิงเผาเพื่อใช้ประโยชน์จากไฟในการลดการสะสมของเชื้อเพลิง การศึกษานี้จึงมีเป้าหมายในการหาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนจัดการลดเชื้อเพลิง และนำไปตัดสินใจเลือกจัดการลดเชื้อเพลิงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าที่มีความรุนแรงสูง

การศึกษางานวิจัยนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบคือ ใบเต็ง ใบรัง ใบพลวง และใบเหียง โดยนำเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาทดสอบด้วยวิธี (ก) นำเชื้อเพลิงไปใส่ในถาดทดสอบ โดยปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นจำนวน 3, 4 และ 5 ใบ ซ้อนทับกันและทำการจุดติดไฟแบบไพล็อต เก็บข้อมูลจากเวลาขณะเริ่มติดไฟ อุณหภูมิเปลวไฟ ความสูงเปลวไฟ (ข) หาค่าพลังงานความร้อนโดยใช้ Bomb Calorimeter ผลการทดสอบพบว่า ใบเต็ง มีค่าความร้อนสูงที่สุด ดังนั้นควรลดการสะสมของเชื้อเพลิงใบรัง ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียงตามลำดับ เพื่อลดความรุนแรงของไฟขณะเกิดไฟป่า

คำหลัก: การจุดติดไฟ, ป่าเต็งรัง, ไฟป่า, การชิงเผา

Abstract

Nowadays, the deposition of dried leaves in the dipterocarp forest during dry season has a fire effect on Ecosystem. The reduction of wildfire problem emphasizes on decreasing fuel forest by using the prescribed burning method. Therefore, the objective of this study is to find out heating value of fuel as the data to plan for the fuel reduced management and to make a choice to reduce fuel which has the risk of wildland fire intensity.

Teng, Rang, Plaung and Hiang were tested as three difference in number of 3,4 and 5 leaves on tested trey. This experiment used pilot ignition method and collected data by time to ignition, Flame temperature, Flame height. It was found that Teng has the highest heating value. Therefore, it suggested that to decrease the deposition of Rang leaf, Teng leaf, Plaung leaf and Hiang leaf respectively.

Keywords: Ignition Test, Dry Dipterocarp Forest, Wildfire, Prescribed Burning

1. บทนำ

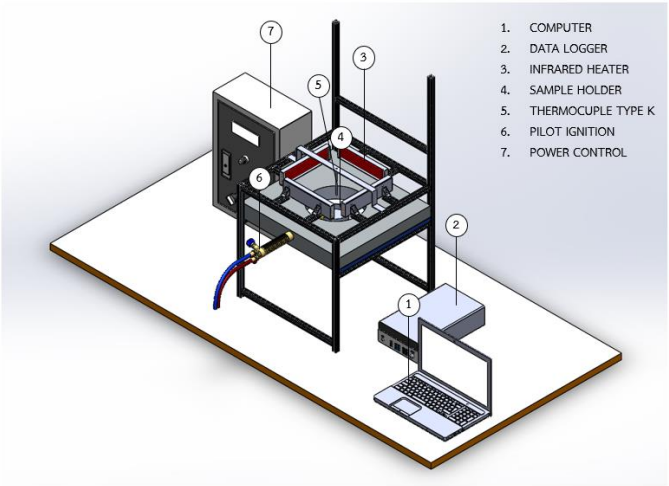
ป่าเต็งรังเป็นป่าโปร่งประกอบด้วยต้นไม้ผลัดใบขนาดกลางและขนาดเล็กขึ้นห่าง ๆ กระจัดกระจายไม่ค่อยแน่นทึบ และจะทิ้งใบในฤดูแล้งที่ขาดแคลนน้ำ เนื่องจากป่าประเภทนี้เป็นป่าที่แห้งแล้งมาก จึงทำให้ถูกไฟไหม้ในฤดูแล้ง พรรณไม้ที่ขึ้นในป่าเต็งรังทั่วไป ได้แก่ เต็ง รัง พลวง เหียง ยางกราด พะยอม ประดู่แดง และมะขามป้อม เป็นต้น [1] บ่อยครั้งที่ป่าเต็งรังมีปัญหาในเรื่องของไฟป่า เนื่องจากใบไม้แห้งที่ร่วงลงพื้นสามารถเกิดไฟป่าได้ง่าย จากการทับถม การสะสมของเศษใบไม้ เศษไม้ เป็นปริมาณมาก ทำให้ไฟป่ามีความรุนแรงสูงจนส่งผลเสียต่อระบบนิเวศของป่าเต็งรัง การจัดการเชื้อเพลิงด้วยการชิงเผาจึงเข้ามามีบทบาทในการจัดการไฟป่าในพื้นที่ป่าเต็งรังมากขึ้น การชิงเผาเป็นเครื่องมือที่มนุษย์เราพยายามเลียนแบบธรรมชาติในการใช้ประโยชน์จากไฟในการลดการสะสมของเชื้อเพลิง และควบคุมศัตรูพืชรวมถึงโรคพืช เนื่องจากระบบนิเวศป่าเต็งรังมีการปรับตัวและมีวิวัฒนาการร่วมมือกับไฟได้ [2] การชิงเผาจะทำในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ในช่วงเวลาที่อากาศยังคงมีอุณหภูมิต่ำ มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างสูงและเชื้อเพลิงยังมีความชื้นสูง เพื่อลดความรุนแรงของไฟ โดยการชิงเผาต้องคำนึงถึง ปัจจัยที่ทำให้ไฟเผาไหม้รุนแรง ได้แก่ ลักษณะเชื้อเพลิง ลักษณะอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ โดยในส่วนของลักษณะเชื้อเพลิงจะคำนึงถึงขนาดของเชื้อเพลิง ปริมาณหรือน้ำหนักของเชื้อเพลิง ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง การจัดเรียงตัว ความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง และความชื้นของเชื้อเพลิง [3]

เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับที่กำลังเข้ามามีบทบาทในการจัดการเชื้อเพลิงด้วยวิธีชิงเผา Beachly และคณะได้ทำการพัฒนาระบบอินเตอร์เฟสสำหรับอากาศยานไร้คนขับเพื่อใช้ในการติดตั้งลูกไฟ โดยระบบนี้สามารถช่วยให้เข้าถึงภูมิประเทศที่เข้าถึงได้ยาก เพื่อจุดควบคุมการลุกลามของไฟ [4] จากข้อมูลของอากาศยานไร้คนขับสามารถเลือกเป้าหมายในการชิงเผาได้จากปัจจัยในหลาย ๆ ด้าน เช่น การสังเกตสีของใบไม้ การตรวจสอบความชื้น และกำลังศึกษาปัจจัยทางด้านอื่นเข้ามาร่วม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของใบไม้แต่ละชนิดในป่าเต็งรังกับความรุนแรงของไฟ ที่มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน โดยการหาความแตกต่างทางด้านศักยภาพในการจุดติดไฟของใบไม้ในแต่ละชนิด เพื่อนำไปเก็บเป็นข้อมูลป่าเต็งรัง และนำไปใช้วางแผนการจัดการไฟป่าโดยใช้อากาศยานไร้คนขับอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามการศึกษาความรุนแรงของใบไม้ในแต่ละชนิดของป่าเต็งรังในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษามากนัก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จะหาความรุนแรงใบไม้แห้งชนิดต่าง ๆ ป่าเต็งรังเพื่อทำนายความรุนแรงของไฟป่าโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนของใบไม้แห้งแต่ละชนิดในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 เครื่องมือทดสอบ



รูปที่ 1 เครื่องมือใช้ทดสอบการจุดติดไฟ

ในการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ มีดังนี้ คอมพิวเตอร์ ใช้สำหรับเก็บรวบรวม ประมวลผล และแสดงผลของข้อมูลอุณหภูมิของใบไม้ขณะจุดติดไฟ โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิผ่านอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Agilent keysigt รุ่น 34970A ใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิในถาดเชื้อเพลิงระหว่างการทดสอบ โดยมีเทอร์โมคัปเปิ้ล

(Thermocuple) ชนิด K เป็นอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ ทำจากส่วนประกอบของวัสดุ Chromel – Alomel ช่วงอุณหภูมิใช้งาน –270 องศาเซลเซียส ถึง 1,372 องศาเซลเซียส ความถูกต้อง ±2.2 องศาเซลเซียส โดยแหล่งกำเนิดความร้อนจะมี ฮีตเตอร์อินฟาเรด (Infrared Heater) ใช้ยี่ห้อ CERAMICX แบบหลอดแก้ว Quartz ทำความร้อนที่รังสีอินฟราเรดคลื่นกลาง 1.5 – 6 ไมโครเมตร ขนาด 1,000 วัตต์ กว้าง 62.5 มิลลิเมตร ยาว 247 มิลลิเมตร จำนวน 4 อัน ในการให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิง โดยกำหนดฟลักซ์ความร้อนด้วยกล่องควบคุมไฟฟ้า (Power Control) ซึ่งควบคุมไฟฟ้าผ่าน Thyristor Power Regulator ขนาด 25 A สามารถปรับฟลักซ์ความร้อนช่วง 0 – 60 kW/m^2 สำหรับใช้ในการทดสอบ Ignition Test และในการทดสอบนี้จะใช้หัวเปลวไฟ (Pilot Ignition) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งปรับขนาดความสูงเปลวไฟ 10 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E-2058 โดยมีแก๊สหุงต้ม (LPG) ร่วมกับออกซิเจน ในอัตราส่วนแก๊สหุงต้มต่ออากาศ 60 ต่อ 40 เป็นแหล่งความร้อน (Heat Source) สำหรับถาดเชื้อเพลิงทำจากอลูมิเนียม มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 99 มิลลิเมตร และมีความหนา 2 มิลลิเมตร เชื้อเพลิง (Fuel) ที่ใช้ทดสอบ คือ ใบเต็ง ใบรัง ใบพลวง และใบเหียง นำมาตัดเป็นวงกลมตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E-2058 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าที่ 97 มิลลิเมตร เพื่อให้เชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดมีขนาดเท่ากัน จากนั้นนำเชื้อเพลิงใบไม้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อเพลิงใบไม้แห้งมีความชื้นใกล้เคียงกันขณะทำการทดสอบ

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.2.1 ทดสอบหาค่าความร้อน

รูปที่ 2. ชุดเครื่องมือทดสอบ Bomb Calorimeter

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3180 ซึ่งใช้ชุดทดสอบค่าความร้อน Bomb calorimeter ยี่ห้อ Parr รุ่น 1431EE ดังรูปที่ 1 โดยใช้เชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนมีความชื้นใกล้เคียงกัน แล้วนำมาบดจนละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 Mesh แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

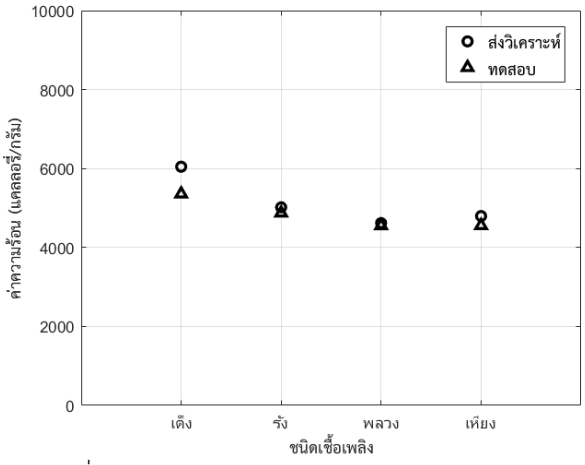
2.2.2 การทดสอบจุดติดไฟ

อบแห้งเชื้อเพลิงใบไม้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไล่ความชื้นออกจากใบไม้ก่อนทำการทดสอบ นำเชื้อเพลิงใบไม้ที่อบแห้ง มาซ้อนทับตามปริมาณที่กำหนด ใส่ลงในถาดทดลองอลูมิเนียมซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E-2058 สำหรับการจุดติดไฟแบบไพล็อตจะควบคุมความยาวเปลวไฟไว้ที่ 10 มิลลิเมตร และเปิดฮีตเตอร์อินฟราเรดที่ฟลักซ์ความร้อน 30 Kw/m^2 โดยติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเหนือผิวเชื้อเพลิงทดสอบ 10 มิลลิเมตร การทดสอบแสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 รูปแสดงการทดสอบจุดติดไฟ

3. ผลการทดลอง

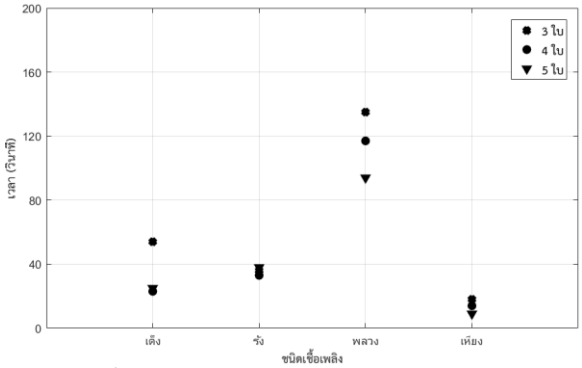
3.1 การทดสอบหาค่าความร้อนโดยใช้ Bomb calorimeter



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์

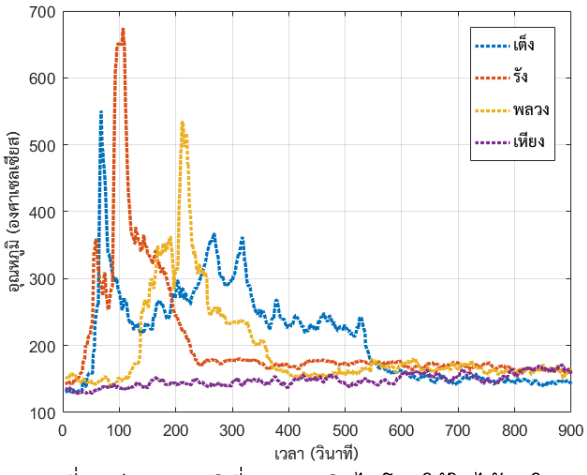
เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะสังเกตุได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงในรูปสัญลักษณ์สามเหลี่ยม และตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์แสดงในรูปสัญลักษณ์วงกลม ผลการทดสอบพบว่าใบเต็ง มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 5,356 Kcal/Kg รองลงมาคือ ใบรัง ใบเหียง และใบพลวง เท่ากับ 4,874, 4,557 และ 4,553 Kcal/Kg ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความร้อนจากการส่งตัวอย่างเพื่อไปวิเคราะห์พบว่าใบเต็ง มีค่าความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 6,046 Kcal/Kg รองลงมาคือ ใบรัง ใบเหียง และใบพลวง เท่ากับ 5,017, 4,618 และ 4,796 Kcal/Kg ตามลำดับ พบว่าค่าความร้อนระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความร้อนนี้ใช้บ่งบอกถึงความรุนแรงของเชื้อเพลิงขณะเกิดการเผาไหม้ได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งหากค่ายิ่งมาก ค่าความร้อนก็จะยิ่งสูง โดยในส่วนของการเกิดไฟป่าหากพื้นที่ใดมีการสะสมของเชื้อเพลิงใบเต็งมากพื้นที่นั้นจะมีความรุนแรงของไฟสูงกว่าพื้นที่ที่มีการสะสมของเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ทำการทดสอบ

3.2 การทดสอบจุดติดไฟ



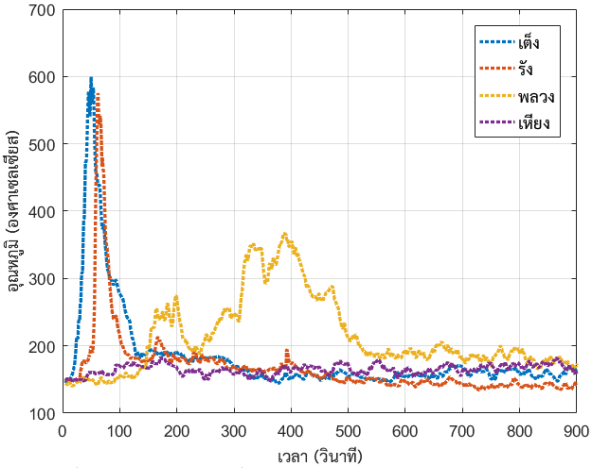
รูปที่ 5 ระยะเวลาการจุดติดไฟของใบไม้

การทดสอบจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 3 ใบ จากรูปที่ 5 แสดงถึงเวลาขณะจุดติดไฟของเชื้อเพลิงใบไม้ พบว่า ใบที่ใช้ระยะเวลาการจุดติดไฟน้อยที่สุดคือใบเหียง โดยใช้เวลาอยู่ที่ 18 วินาที รองลงมาคือใบรัง ใบเต็ง และใบพลวงที่ 36, 54 และ 135 วินาที ตามลำดับ ที่การทดสอบโดยใช้ใบไม้ 4 ใบ พบว่า ใบที่ใช้ระยะเวลาการจุดติดไฟน้อยที่สุดคือใบเหียง โดยใช้เวลาอยู่ที่ 14 วินาที รองลงมาคือใบเต็ง ใบรัง และใบพลวงที่ 23, 33 และ 117 วินาที ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนใบไม้ที่ใช้ในการทดสอบ 5 ใบ พบว่า ใบที่ใช้ระยะเวลาการจุดติดไฟน้อยที่สุดคือใบเหียง โดยใช้เวลาอยู่ที่ 9 วินาที รองลงมาคือใบเต็ง ใบรัง และใบพลวงที่ 25, 38 และ 94 ตามลำดับ



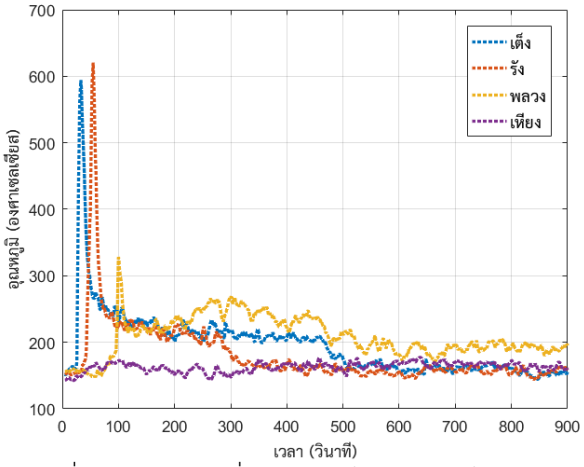
รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิที่ขณะจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 3 ใบ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับอุณหภูมิขณะจุดติดไฟดังรูปที่ 6 การทดสอบจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 3 ใบ พบว่าใบไม้ที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด คือใบรังตามเส้นสีแดง อยู่ที่ 674.7 ºC รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง เท่ากับ 551, 535.1, 171.1 ºC ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 5 ซึ่งแสดงระยะเวลาการจุดติดไฟของใบไม้แต่ละชนิด จะพบว่าใบเหียงมีใช้ระยะเวลาจุดติดไฟน้อยที่สุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาตามเส้นสีม่วงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิขณะจุดติดไฟของใบเหียงค่อนข้างที่จะคงที่ เนื่องจากใบเหียงมีลักษณะแผ่นใบหนาและมีขนปกคลุมอยู่ทั่วทั้งใบ เมื่อเกิดการจุดติดไฟทำให้เกิดเปลวไฟเพียงครู่เดียวอีกทั้งไม่เกิดการลามไฟ



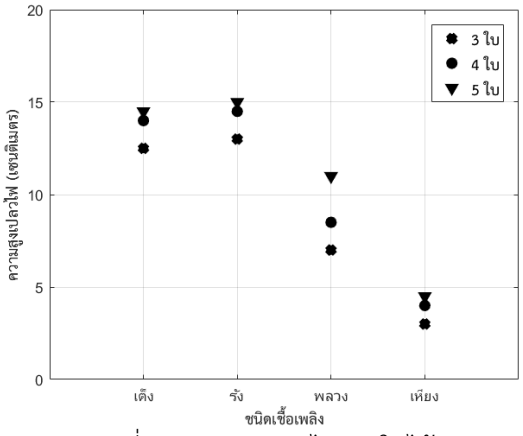
รูปที่ 7 ค่าอุณหภูมิที่ขณะจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 4 ใบ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับอุณหภูมิขณะจุดติดไฟดังรูปที่ 7 การทดสอบจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 4 ใบ พบว่าใบไม้ที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด คือใบเต็งตามเส้นสีฟ้า อยู่ที่ 599.6 ºC รองลงมาคือใบรัง ใบพลวง และใบเหียงเท่ากับ 575.2, 367.1, 183.2 ºC ตามลำดับ



รูปที่ 8 ค่าอุณหภูมิที่ขณะจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 5 ใบ

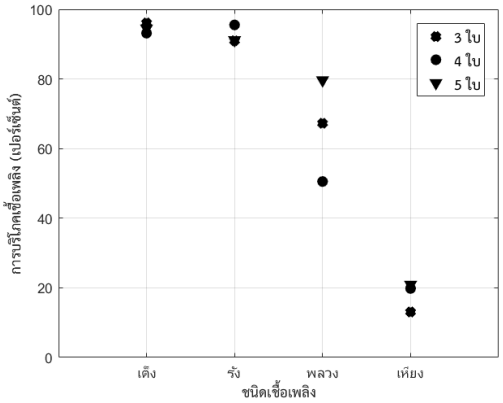
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับอุณหภูมิขณะจุดติดไฟดังรูปที่ 8 การทดสอบจุดติดไฟโดยใช้ใบไม้ 5 ใบ พบว่าใบไม้ที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด คือใบรังตามเส้นสีแดง อยู่ที่ 620.6 ºC รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียงเท่ากับ 594.3, 328.2, 177.7 ºC ตามลำดับ



รูปที่ 9 ความสูงเปลวไฟของใบไม้

จากรูปที่ 9 พบว่า ที่จำนวนใบไม้ทดสอบ 3 ใบ ความสูงของเปลวไฟที่สูงสุดเป็นของใบรัง คือ 13 เซนติเมตร รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง คือ 12.5, 7 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่จำนวนใบไม้ทดสอบ 4 ใบ ความสูงของเปลวไฟที่สูงที่สุดเป็นของใบรัง คือ 14.5 เซนติเมตร รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง คือ 14, 8.5 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่จำนวนใบไม้

ทดสอบ 5 ใบ ความสูงของเปลวไฟที่สูงที่สุดเป็นของใบรัง คือ 15.5 เซนติเมตร รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง คือ 14.5, 11 และ 4.5 เซนติเมตร ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าจำนวนชั้นเชื้อเพลิงใบไม้ส่งผลต่อความสูงของเปลวไฟไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นในพื้นที่ป่าเต็งรังหากเชื้อเพลิงใบเต็งมีการซ้อนทับกันในปริมาณมากความสูงของเปลวไฟขณะเกิดไฟป่าก็จะสูงตาม



รูปที่ 10 การสูญเสียมวลของใบไม้หลังการเผาไหม้

ในรูปที่ 10 แสดงมวลที่สูญเสียไปของชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดหลังการทดสอบจุดติดไฟ โดยทำการบันทึกน้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนทำการทดสอบจุดติดไฟ และหลังการทดสอบจุดติดไฟสิ้นสุดลง เพื่อนำมาเปรียบเทียบมวลของเชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดที่เปลี่ยนไป ที่จำนวนใบไม้ทดสอบ 3 ใบ พบว่าใบเต็งมีการสูญเสียมวลมากที่สุด รองลงมาคือใบรัง ใบพลวง และใบเหียง คือ 96.1, 90.1, 67.2 และ 13.1 % ตามลำดับ ที่จำนวนใบไม้ทดสอบ 4 ใบ พบว่าใบรังมีการสูญเสียมวลมากที่สุด รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง คือ 95.5, 93.2, 79.7 และ 20.9 % ตามลำดับ และที่จำนวนใบไม้ทดสอบ 5 ใบ พบว่าใบเต็งมีการสูญเสียมวลมากที่สุด รองลงมาคือใบรัง ใบพลวง และใบเหียง คือ 94.5, 91.2, 50.5 และ 19.8 % ตามลำดับ พบว่ามวลของเชื้อเพลิงใบไม้ ที่บันทึกหลังจากสิ้นสุดกระบวนการเผาไหม้ เมื่อนำไปเทียบกับค่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดที่นำไปส่งวิเคราะห์นั้นจาก ตารางที่ 1 พบว่า ค่าปริมาณเถ้าที่ได้จากการวิเคราะห์คือมวลที่เหลือหลังกระบวนการเผาไหม้สอดคล้องกับมวลที่สูญเสียไปของเชื้อเพลิงใบไม้ที่บันทึกได้หลังสิ้นสุดการทดสอบ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงใบไม้ที่ได้จากการวิเคราะห์

sample	Volatile Matter (% by weigh)	Fixed Carbon (% by weigh)	Ash (% by weigh)
เต็ง	76.06	20.55	3.39
รัง	76.05	20.52	3.44
พลวง	74.01	18.77	7.22
เหียง	68.65	21.65	9.7

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงใบไม้ พบว่าใบเต็งมีค่าความร้อนสูงที่สุดอยู่ที่ 5,356 Kcal/Kg รองลงมาคือ ใบรัง ใบเหียง และใบพลวง เท่ากับ 4,874, 4,557 และ 4,553 Kcal/Kg ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาตัวแปรทั้ง 4 คือ การจุดติดไฟ อุณหภูมิเปลวไฟ ความสูงเปลวไฟ และการสูญเสียมวล พบว่า 1. ผลการทดสอบที่จำนวนใบไม้ 3 ใบ ใบที่ใช้ระยะเวลาการจุดติดไฟน้อยที่สุดคือใบเหียง รองลงมาคือ ใบรัง ใบเต็ง และใบพลวง ตามลำดับ อุณหภูมิสูงที่สุดขณะเผาไหม้คือ ใบรัง รองลงมาคือใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ การทดสอบความสูงของเปลวไฟพบว่าใบรังมีความสูงของเปลวสูงที่สุด รองลงมาคือ ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ ในส่วนของมวลที่สูญเสียไปของเชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดพบว่า ใบเต็งมีการสูญเสียมวลมากที่สุด รองลงมาคือใบรัง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ 2. ผลการทดสอบที่จำนวนใบไม้ 4 ใบ ใบที่ใช้ระยะเวลาการจุดติดไฟน้อยที่สุดคือใบเหียง รองลงมาคือใบเต็ง ใบรัง และใบพลวง ตามลำดับ อุณหภูมิสูงที่สุดขณะเผาไหม้คือ ใบเต็ง รองลงมาคือ ใบรัง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ ความสูงของเปลวไฟที่สูงที่สุดเป็นของใบรัง รองลงมาคือ ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียงตามลำดับ ในส่วนของมวลที่สูญเสียไปของ

เชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดพบว่า ใบรังมีการสูญเสียมวลมากที่สุด รองลงมา ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ 3. ผลการทดสอบที่จำนวนใบไม้ 5 ใบ ใบที่ใช้ระยะเวลาการจุดติดไฟน้อยที่สุดอยู่ที่ ใบเหียง รองลงมา คือ ใบเต็ง ใบรัง และใบพลวง ตามลำดับ อุณหภูมิสูงที่สุดขณะเผาไหม้คือ ใบรังตาม รองลงมา คือ ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ ความสูงของเปลวไฟที่สูงที่สุดเป็นของใบรัง รองลงมาคือ ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ ในส่วนของมวลที่สูญเสียไปของเชื้อเพลิงใบไม้แต่ละชนิดพบว่า ใบเต็งมีการสูญเสียมวลมากที่สุด รองลงมาคือใบรัง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปัจจัยทางด้านตัวแปรที่เกี่ยวข้องร่วมกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบแล้วนำมาจัดลำดับในการวางแผนจัดการลดการสะสมของเชื้อเพลิงเพื่อลดความรุนแรงของไฟขณะเกิดไฟป่าได้ดังนี้ ลำดับที่ 1 ควรจัดการเชื้อเพลิงใบรัง รองลงมาคือ ใบเต็ง ใบพลวง และใบเหียง ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรพงษ์ ธัชยพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำโครงงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการส่วนควบคุมไฟป่ากรมป่าไม้ อดุลย์ฤทธิ์ ฤทัยวรุณรัตน์ ที่นำเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบบริเวณ อุทยานแห่งชาติ อ่างเก็บน้ำห้วยบกตำบลห้วยแก้ว อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้มอบทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท

6. เอกสารอ้างอิง

[1] อาจอง ประทัตสุนทรสาร. ระบบนิเวศป่าไม้. คู่มือสื่อการสอนวิชาชีววิทยาโดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;2555.

[2] ศฐิฒฎา ธารารัตนสุวรรณ. ปัญหาและแนวทางการแก้ไขหมอกควันและหมอกควันข้ามแดน. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา;2557.

[3] มัลลิกา บุญลาและสิริจิตร พานิช. การพิจารณาพื้นที่เสี่ยงไฟป่าในเขตกำแพงเพชรและตาก ด้วยเทคนิคดัชนีพืชพรรณและอุณหภูมิผิว. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พฤษภาคม;2558.

[4] Evan Beachly et al. UAS – Rx Interface for Mission Planning, Fire Ignition, and Real – Time Updating. in IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR) 2017; 11-13.

[5] Jeffrey M. Kane et al. The burning characteristics of southeastern oaks: Discriminating fire facilitators from fire impeders. Forest Ecology and Management 2008; 256:2039-2045.

[6] Victor M. Santana et al. flammability properties of British heathland and moorland vegetation: Models for predicting fire. Journal of Environmental Management 2014; 139:88-96.

[7] Juan R. Molina et al. The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: A case study in Southern Spain. Landscape and Urban Planning 2017; 158:129–138.

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

[9] Ramzy Elneel et al. Prediction of Heating Values of Oil Palm Fronds from Ultimate

Analysis. *Journal of Applied Sciences* 2013; 13:491-496.

[10] J. M. Jones et al. Low temperature ignition of biomass. Fuel Processing Technology 2015; 134:372-377.

[11] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช .การชิงเผา [อินเตอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2561 กุมภาพันธ์ 23]. เข้าถึงได้จาก http://www.dnp.go.th/forestfire/FIRESCIENCE/lesson%204/lesson4_3.htm

[12] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ . อัคคีภัยกับการจำลองด้านพลศาสตร์ [อินเตอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2561 กุมภาพันธ์ 15]. เข้าถึงได้จาก http://dpm.nida.ac.th/main

[13] ศิริ อัคคะอัคร .รายงานการวิจัยส่วนจัดการไฟป่าและภัยธรรมชาติ: การจัดชั้นอันตรายจากไฟป่าในป่าเต็งรังอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย สำนักป้องกันและปราบปรามกรมป่าไม้; 2539.

[1 4] Mark A. Finney et al. A Review of Fire Interaction and Mass Fires. Journal of Combustion 2011; 14:1-14.