

การใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ด้านพลังงาน การผลิตน้ำมันชีวภาพ และการสร้างมูลค่าเพิ่ม

จัดทำโดย	สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้
คณะผู้จัดทำ	นฤมล ภานุกาภา ฐิติภรณ์ บุญแย้ม เบญจมาภรณ์ วงษ์คำจันทร์ เบญจวรรณ จุลจุฬา เฉลิมพล สุขสี เพ็ญ อุรีรักษ์
พิมพ์ครั้งที่ 1	สิงหาคม 2560 จำนวนพิมพ์ 500 เล่ม
พิมพ์ที่	บริษัท พี.เพรส จำกัด โทร. 0 2742 4754 – 5

ติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่

ฝ่ายพัฒนาพลังงานจากไม้
ส่วนพัฒนาผลผลิตป่าไม้
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้
61 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
โทร. 02-579-5411, 02-5614292-3 ต่อ 5486
โทรสาร. 02-579-5411
E-mail: woodenergy5486@gmail.com

การใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ด้านพลังงาน การผลิตน้ำมันชีวภาพ และการสร้างมูลค่าเพิ่ม



สืบเนื่องจากสภาวะโลกร้อน สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ราคาน้ำมันที่แพงขึ้น และพลังงานจากฟอสซิลกำลังจะหมดไปทำให้ประเทศไทยเกิดความตื่นตัวในเรื่องของการใช้พลังงานหมุนเวียนและพลังงานทางเลือกมากขึ้น การนำทรัพยากรธรรมชาติที่หมุนเวียน (renewable resources) และชีวมวล (biomass) มาใช้เป็นพลังงานแทนพลังงานจากฟอสซิลต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพ ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะเป็นพิษและการขาดแคลนชีวมวลที่ใช้เป็นอาหาร

ไม้ไผ่เป็นพลังงานชีวมวล (Biomass energy) ประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนชนิดใหม่ได้ เนื่องจากสามารถปลูกเพื่อการค้า มีการแตกกอและการเจริญเติบโตค่อนข้างดี ให้ผลผลิตสูงในระยะเวลาสั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนและได้หลายวัตถุประสงค์ โครงการศึกษาการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ด้านพลังงาน

เพื่อการผลิตน้ำมันชีวภาพและการสร้างมูลค่าเพิ่ม มุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตน้ำมันชีวภาพ และเพื่อหาผลผลิตและผลิตภัณฑ์ข้างเคียงรวมถึงสมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่ชนิดต่าง ๆ รวมถึงการนำผลผลิตจากไม้มาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

แนวความคิดในการผลิตน้ำมันชีวภาพนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกับแนวพระราชดำริที่ทรงเน้นการพัฒนาพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น Bio-diesel, Bio-ethanol และ Gasohol การนำ Bio-oil ที่ผลิตได้จากวัตถุดิบในประเทศไทยมาเป็นเชื้อเพลิงจะสามารถลดการนำเข้าน้ำมันดิบลดการใช้ฟอสซิลที่เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้โลกร้อน และยังทำให้ประเทศเราสามารถพึ่งพาตนเองได้มากขึ้น การใช้ไม้ไผ่หรือชีวมวลเป็นวัตถุดิบนี้ยังเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้เพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพแทบจะไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเช่นก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำไม้และเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพต้องใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast pyrolysis) ซึ่งเทคโนโลยีนี้ยังเป็นสิ่งใหม่และต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพดี ได้ผลผลิตที่คุ้มค่ากับการลงทุน

ไม้ไผ่จัดเป็นแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิตพลังงานชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และน้ำมันชีวภาพได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนไม้ไผ่ให้กลายเป็นพลังงานจะขึ้นอยู่กับชนิดไม้ไผ่ปริมาณวัตถุดิบหรือไม้ไผ่ที่จะนำมาใช้เพื่อการพลังงานนี้จะต้องมีปริมาณมากพอและเป็นไม้ไผ่ที่ได้จากการปลูกหรือการตัดสาง มิใช่ไม้ไผ่จากป่าธรรมชาติ

เป้าหมายของโครงการวิจัยนี้นอกจากเป็นการศึกษาเพื่อลดการใช้

เชื้อเพลิงจากไม้ เศษวัสดุทางการเกษตร และแก๊สหุงต้ม โดยเน้นถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและลดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพไม่ดีแล้ว ยังเน้นการศึกษาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า และเน้นการใช้เครื่องมือที่สามารถช่วยประหยัดพลังงาน หรือสามารถนำพลังงานที่ได้จากไม้หรือเศษวัสดุการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำมันชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงประเภทพลังงานทดแทนที่ได้จากชีวมวลซึ่งนอกจากจะสามารถทดแทนน้ำมันจากฟอสซิลได้แล้ว ยังเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และยังสามารถลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศได้หากมีการผลิตเชิงการค้าได้

เทคโนโลยีการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานมีหลายรูปแบบ ได้แก่ การเผาโดยตรง การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง การอบเป็นถ่าน การทำ gasifier การผลิตก๊าซชีวภาพ การแปรรูปเป็นน้ำมันจากพืชน้ำมัน (bio-diesel) การแปรรูปเป็นน้ำมันจากเนื้อไม้ (BTL, biomass to liquid) กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลมีต้นแบบจากประเทศที่พัฒนาแล้วในโลกเช่น เยอรมนี สหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย แต่เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลในโลกนี้ยังต้องการการวิจัยและพัฒนาอีกมาก โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีชีวมวลจากการผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรหลากหลายชนิดเป็นจำนวนมากและยังคงมีราคาถูก รัฐบาลควรให้การสนับสนุนการทำวิจัยโดยให้มีการสร้างหน่วยทดสอบระดับห้องปฏิบัติการและระดับทดลอง (pilot scale) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงเบื้องต้นก่อนที่จะสร้างระบบที่ผลิตเป็นเชิงการค้า

การผลิตน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวล (Fast pyrolysis of biomass) เป็นการนำชีวมวลที่เป็นของแข็งหลังจากผ่านกระบวนการบด (Grinding) แล้วมาผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400–600°C เพื่อย่อยสลายโครงสร้างทางเคมีของชีวมวลให้เล็กลง ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ ไอชีวมวล หรือ ไอไพโรไลซิส (Pyrolysis vapour) และถ่าน (Bio-char) ถ่านจะถูกแยกออกจากไอโดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Cyclone จากนั้นไอไพโรไลซิสส่วนหนึ่งจะถูกควบแน่นที่เครื่องควบแน่น (Condenser unit) และผลผลิตที่ได้จากการควบแน่นคือของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้มที่เรียกว่า Bio-oil หรือ Pyrolysis liquid ซึ่งเป็นผลผลิตหลักและอาจมีปริมาณหรือสามารถมีผลผลิตสูงได้ถึง 75% ของน้ำหนักชีวมวลเริ่มต้น (Pattiya *et al.*, 2012)



การผลิตน้ำมันชีวภาพจากต้นไผ่

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างชีวมวล

เลือกตัวอย่างไผ่ที่จะนำมาหาน้ำมันชีวภาพจากศูนย์วิจัยผลิตผลป่าไม้จังหวัดนครราชสีมา ที่มีการปลูกไผ่เพื่อการทดลองหลายชนิด จึงได้ตัดไผ่ 5 ชนิดที่มีการเจริญเติบโตดี มีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาศึกษา และส่งเสริมให้มีการปลูกเพื่อการค้าต่อไปในภายหน้าได้ ไผ่เหล่านี้ได้แก่ ไผ่กิมซุง อายุ 7 ปี (*Bambusa beecheyana* Munro) ไผ่รวก อายุ 14 ปี (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) ไผ่ตงศรีปราชญ์หรือไผ่ตงเขียว อายุ 14 ปี (*Dendrocalamus asper* Backer ex K. Heyne) ไผ่หม่าจู (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) และไผ่ชางหม่นอายุ 10 ปี (*Dendrocalamus sericeus* Munro) โดยนำมาตัดให้เป็นท่อนสั้น ๆ แล้วนำไปสับบดย่อยด้วยเครื่องย่อยชีวมวลนำมาคัดแยกขนาดโดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนให้มีขนาด 0.21–0.50 มม. หากชีวมวลมีขนาดใหญ่กว่านี้อาจเกิดการอุดตันในชุดบ้อนชีวมวลหรือในเตาปฏิกรณ์



การเตรียมตัวอย่างชีวมวลที่จะสกัดน้ำมันชีวภาพ



เครื่องบดย่อยชีวมวล



เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

หลังจากได้ชีวมวลแล้ว ก็มีการดำเนินงานในส่วนการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของชีวมวล ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) และปริมาณเถ้า (Ash) ในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%) การวิเคราะห์นี้สามารถทำได้โดยใช้วิธีมาตรฐานสากล กล่าวคือการหาค่าความชื้นโดยใช้มาตรฐาน ASTM E1756-01 และการหาปริมาณเถ้าโดยใช้มาตรฐาน ASTM E1755-01 ส่วนปริมาณค่าสารระเหยและคาร์บอนคงที่สามารถคำนวณหาได้จากความแตกต่าง โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ทำได้ดังนี้

• การเตรียมถั่วกระเบื้อง

- (1) นำถั่วกระเบื้องพร้อมฝาไปเผาเพื่อไล่ความชื้นและเศษวัสดุต่าง ๆ ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- (2) นำถั่วกระเบื้องออกจากเตาไปไว้ในโถอบความชื้น (desiccators) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อรอให้ถั่วกระเบื้องเย็นตัวลง

(3) ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในระดับ 0.1 มิลลิกรัม หรือ 0.0001 กรัม

(4) นำถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิเดิมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(5) นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาไปไว้ในโถอบความชื้น (desiccators) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อรอให้ถ้วยกระเบื้องเย็นตัวลง

(6) ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาอีกครั้ง แล้วทำซ้ำข้อ 4-6 จนกระทั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัม หรือ 0.0003 กรัม

(7) บันทึกค่าน้ำหนักของถ้วยพร้อมฝา

• การหาค่าความชื้น

(8) ชั่งตัวอย่างชีวมวลประมาณ 1.0 กรัม ในถ้วยกระเบื้อง

(9) นำถ้วยกระเบื้องที่จุดตัวอย่างแล้วไปไว้ในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

(10) นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาไปไว้ในโถอบความชื้น (desiccators) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อรอให้ถ้วยกระเบื้องเย็นตัวลง

(11) ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในระดับ 0.1 มิลลิกรัม หรือ 0.0001 กรัม

(12) นำถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาไปอบต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิเดิมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(13) นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาไปไว้ในโถอบความชื้น (desiccators) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อรอให้ถ้วยกระเบื้องเย็นตัวลง

(14) ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาอีกครั้ง แล้วทำซ้ำข้อ 12-14

จนกระทั่งน้ำหนักถั่วยกกระเบื้องเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัม หรือ 0.0003 กรัม

(15) บันทึกน้ำหนักสุดท้ายเป็นน้ำหนักของถั่วยกกระเบื้องพร้อมฝา และชั่งมวลตัวอย่างที่แห้งแล้ว

• การหาปริมาณเถ้า

(16) นำถั่วยกกระเบื้องที่ได้จากข้อที่ 15 ไปไว้ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

(17) นำถั่วยกกระเบื้องออกจากเตาไปไว้ในโถอบความชื้น (desiccators) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อรอให้ถั่วยกกระเบื้องเย็นตัวลง

(18) ชั่งน้ำหนักถั่วยกกระเบื้องพร้อมฝาในระดับ 0.1 มิลลิกรัม หรือ 0.0001 กรัม

(19) ทำซ้ำในขั้นเผา ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักจนกระทั่ง น้ำหนักคงที่ในช่วง 0.3 มิลลิกรัม หรือ 0.0003 กรัม

(20) บันทึกน้ำหนักสุดท้ายเป็นน้ำหนักถั่วยกกระเบื้องพร้อมฝาและ น้ำหนักเถ้า

2. การเตรียมเครื่องผลิตน้ำมันชีวภาพ

เครื่องไพโรไลซิสแบบเร็วชนิดตกอิสระ (Free-fall fast pyrolysis reactor unit) ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ใบกวนชีวมวล (Stirrer) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่บนถังชีวมวล ทำหน้าที่กวนชีวมวลให้อนุภาคของชีวมวลสามารถถูกลำเลียงได้ง่ายขึ้นโดยไม่จับตัวเป็นก้อน
2. ถังเก็บชีวมวล (Biomass hopper) สำหรับใส่ชีวมวลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง โดยออกแบบให้ส่วนบนเป็นรูปทรง

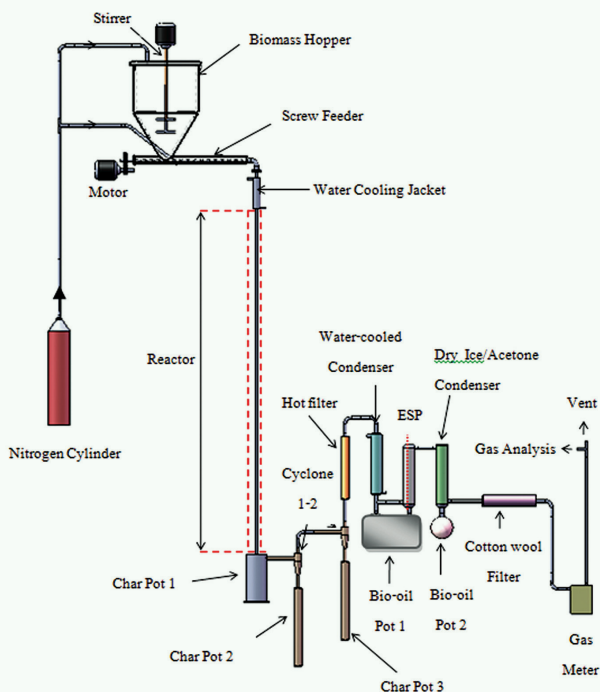
กระบอกและส่วนล่างเป็นกรวยตัด และฝาบนต่อกับไนโตรเจนซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหลได้

3. สกรูลำเลียง (Screw feeder) ทำหน้าที่ลำเลียงชีวมวลที่อยู่ในถังเก็บมายังเตาปฏิกรณ์ ที่ข้างท่อสกรูลำเลียงต่อเข้ากับไนโตรเจนที่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้
4. ชุดหล่อเย็น (Water cooling jacket) ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากเตาปฏิกรณ์ไหลย้อนมาที่ท่อลำเลียงชีวมวล เพราะหากท่อส่งชีวมวลก่อนเข้าเตาปฏิกรณ์ร้อนหรือมีอุณหภูมิสูงเกินไป อาจทำให้เกิดการไพโรไลซิสก่อนเวลาอันควร (Pre-pyrolysis) และทำให้ท่อส่งชีวมวลอุดตันได้
5. เตาปฏิกรณ์ (Reactor) เป็นส่วนสำคัญเนื่องจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสเกิดขึ้นที่นี่ เตาปฏิกรณ์ทำจากท่อสแตนเลสเกรด 304 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 13 มิลลิเมตร และมีความยาว 1.5 เมตร เตาปฏิกรณ์นี้ให้ความร้อนโดยลดความร้อนและต่อเชื่อมกับระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่วางตรงจุดกึ่งกลางของผนังเตาปฏิกรณ์
6. ถังเก็บถ่าน (Char pot) มี 3 ชุด ทำหน้าที่เก็บรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหรือถ่านชาร์ หรือถ่านไบโอนั่นเอง
7. ไซโคลน (Cyclone) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแยกถ่านชาร์ออกจากไอน์ไพโรไลซิส โดยชุดอุปกรณ์นี้ออกแบบให้มี

ไซโคลน 2 ตัว โดยตัวที่ 1 ทำหน้าที่แยกถ่านขนาดใหญ่
ออก ขณะที่ตัวที่ 2 แยกถ่านขนาดเล็กออก

8. ชุดกรองไอร้อน (Hot filter) ทำหน้าที่กรองผงถ่านขนาดเล็ก
ที่ไซโคลนไม่สามารถแยกออกได้ออกจากไอไฟโรไลซิส
เพื่อลดปริมาณของแข็งที่อยู่ในไบโอออยล์และเป็นการ
เพิ่มคุณภาพของไบโอออยล์ด้วย
9. ชุดควบแน่นด้วยน้ำ (Water-cooled condenser) ทำหน้าที่
ลดอุณหภูมิของไอไฟโรไลซิสจากอุณหภูมิประมาณ 400
องศาเซลเซียส มายังอุณหภูมิห้อง โดยใช้ น้ำหล่อเย็น และ
ชุดควบแน่นนี้ทำจากสแตนเลสเกรด 304 โดยออกแบบมา
เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ 2 ชั้น (Double
pipe heat exchanger)
10. ชุดตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator, ESP)
ทำหน้าที่ดักจับไอไฟโรไลซิสที่ไม่สามารถควบแน่นได้โดย
ใช้ชุดควบแน่นด้วยน้ำ โดยต่อเข้ากับชุดจ่ายไฟแรงดันสูง
16 กิโลโวลต์ โดยตัวโครงของอุปกรณ์นี้ทำจากวัสดุอะคริลิค
ใส ทำให้เห็นได้ว่ามีไอไฟโรไลซิสเกิดขึ้นมาหรือไม่ และ
หากระบบอุดตันก็จะมีไอไฟโรไลซิสเกิดขึ้น ผู้ทดลองก็
สามารถตรวจสอบแก้ไขในระหว่างการทดลองได้
11. ชุดควบแน่นด้วยน้ำแข็งแห้งผสมอะซิโตน (Dry ice/Acetone
Condenser) ทำหน้าที่ดักจับไบโอออยล์ที่มีจุดเดือดต่ำ
โดยอุณหภูมิของน้ำแข็งแห้งผสมอะซิโตน ประมาณ
-70 องศาเซลเซียส และชุดควบแน่นนี้ทำจากเครื่องแก้ว
ชนิด Cold Finger

12. ชุดกรองแก๊สด้วยสำลี (Cotton wool filter) เนื่องจากระบบ ดักจับไอไฟโรไลซิสที่ออกแบบมาทั้งหมดก่อนหน้านี้อาจ ดักจับอนุภาคของแข็งหรือของเหลวได้ไม่หมด เนื่องจาก ระบบ ไฟโรไลซิสใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา (Carrier gas) จึงทำให้ความดันไอของสารที่ผลิตได้มีค่าต่ำ จึงทำให้ การควบแน่นเป็นไปได้น้อย ดังนั้นก่อนปล่อยแก๊สออกจาก ระบบจึงมีการใช้ชุดกรองโดยใช้สำลีเป็นตัวดักจับอนุภาค ขนาดเล็กที่หลุดลอยออกไป ชุดกรองแก๊สด้วยสำลีนี้ ทำจากเครื่องแก้ว



แบบเครื่องผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วชนิดตกอิสระสำหรับผลิตน้ำมันชีวภาพ

3. การทดลองผลิตน้ำมันชีวภาพ

ขั้นตอนการทดลองผลิตน้ำมันชีวภาพแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมเครื่องไพโรไลซิสและขั้นตอนการทดลอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. **ขั้นตอนการเตรียมเครื่องไพโรไลซิส** ทำได้ด้วยวิธีต่อไปนี้ ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ โดยก่อนประกอบ ชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ชิ้นหลัก ๆ ทุกชิ้นก่อนนำมาประกอบ



ชุดอุปกรณ์ไพโรไลซิส
แบบเร็วสำหรับผลิต
น้ำมันชีวภาพ

- 1.1 นำลวดที่ร้อยด้วยลูกเซรามิค มาพันรอบท่อในส่วนที่เป็นเตาปฏิกรณ์ ถึงเก็บถ่าน ไฮโดรเจน ชุดกรองไอร้อน และท่อลำเลียงไอน์ไพโรไลซิสเข้าสู่ชุดควบแน่นด้วยน้ำ เพื่ออุปกรณ์เหล่านี้มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันด้วยการถ่ายเทความร้อนไปตามเส้นลวด และลูกเซรามิคร้อยเพื่อป้องกันการลัดวงจร

- 1.2 ต่อเทอร์มอคัปเปิล กับส่วนเตาปฏิกรณ์ ชุดเก็บถ่าน และชุดกรองไอร้อน เพื่อวัดและควบคุมอุณหภูมิของ อุปกรณ์ทั้งสามชุด
- 1.3 ทำการหุ้มฉนวนอุปกรณ์ทั้งหมดที่มีการให้ความร้อน ด้วยฉนวนเซรามิคไฟเบอร์ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิในอุปกรณ์เหล่านี้คงที่มากขึ้น
- 1.4 ต่อระบบไฟฟ้าเข้ากับลวดนำไฟฟ้าที่พันรอบเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อให้ความร้อนกับระบบ
- 1.5 ใส่ชีวมวลในถังเก็บชีวมวลแล้วปิดฝาให้แน่น เพื่อไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปในระบบ
- 1.6 ต่อท่อไนโตรเจนที่ถังเก็บชีวมวล และท่อส่งชีวมวล เพื่อเพิ่มแรงดันในการป้อนชีวมวลให้กับเครื่องปฏิกรณ์
- 1.7 เชื่อมระบบไฟฟ้าและต่อสายดิน เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว

2. ขั้นตอนการทดลอง ทำได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

- 2.1 เปิดน้ำหล่อเย็นให้กับชุดควบแน่นด้วยน้ำ
- 2.2 เปิดเครื่องเพื่อเริ่มการให้ความร้อนกับระบบ รอจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) โดยเตาปฏิกรณ์มีอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิถังเก็บถ่าน ชุดไซโคลนและชุดกรองไอร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 420 องศาเซลเซียส

- 2.3 เปิดแก๊สไนโตรเจนเข้าระบบที่อัตราการไหลรวม 4 ลิตร ต่อนาที
- 2.4 เปิดมอเตอร์ เริ่มทำการบ้อนชีวมวลให้กับระบบ โดยควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้สอดคล้องกับอัตราบ้อน ชีวมวลที่ 100 กรัมต่อชั่วโมง
- 2.5 เดินเครื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นปิดระบบการไหลของแก๊สและระบบไฟต่าง ๆ
- 2.6 รอให้อุณหภูมิของอุปกรณ์ต่าง ๆ เย็นลง
- 2.7 ถอดอุปกรณ์ทุกชิ้น มาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละอุปกรณ์
- 2.8 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบวัดค่าสมบัติต่าง ๆ
- 2.9 นำอุปกรณ์ทั้งหมดยกเว้นถังเก็บชีวมวลและเตาปฏิกรณ์มาแช่ในน้ำผสมกับโซดาไฟ แล้วล้างออกใช้ลมเป่าให้แห้ง เพื่อเตรียมอุปกรณ์ในการเดินเครื่องครั้งต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันชีวภาพ

สมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วที่ทดสอบ ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ค่าพีเอช (pH) ค่าความร้อน และค่าความหนาแน่น ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณของแข็ง (Solids content) คือการหาปริมาณของแข็ง หรือของแข็งที่ไม่ละลายในเอทานอล โดยทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

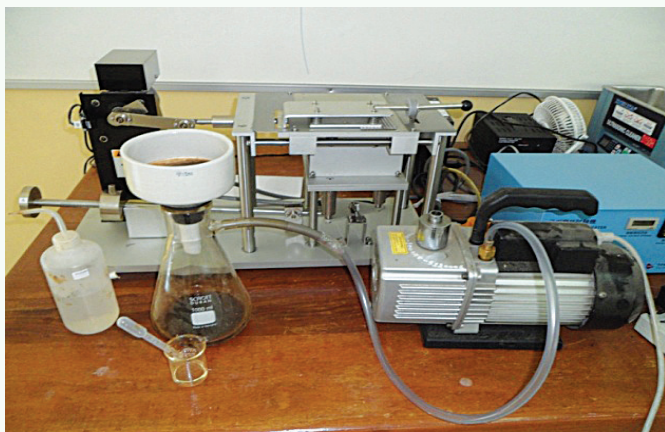
- นำกระดาษกรองจำนวน 3 แผ่น มาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง



เครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง

- ควบน้ำมันชีวภาพด้วยหลอดดูดสารปริมาตร 3 มิลลิลิตร หยดลงที่กระดาษกรองแต่ละแผ่นที่วางอยู่บนชุดกรองสุญญากาศ โดยชั่งน้ำหนักน้ำมันชีวภาพที่หยดลงไป บันทึกผลการชั่ง
- นำกระดาษกรองที่ได้ มาล้างส่วนที่เป็นของเหลวออกด้วยเอทานอล
- นำกระดาษกรองที่ได้ ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- นำกระดาษกรองหลังการอบทั้ง 3 แผ่น มาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการชั่ง

- นำผลจากการชั่ง มาเปรียบเทียบกับน้ำหนัก เพื่อดำหนดหาปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพ บันทึกผล หาค่าเฉลี่ยจากผลที่ได้ทั้ง 3 ครั้ง บันทึกผลการทดลอง



ชุดกรองสุญญากาศสำหรับการวิเคราะห์
ปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพ

- ค่าพีเอช (pH value) คือค่าที่บ่งบอกความเป็นกรด-เบสของน้ำมันชีวภาพ เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้เป็นข้อมูลในการนำน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลไปใช้งาน เครื่องมือที่ใช้ คือ มาตรฐานวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter) DENVER INSTRUMENT รุ่น UB-5 ก่อนทำการวัดทุกครั้งทำการปรับตั้งเครื่องมือวัดกับของเหลวมาตรฐานที่ค่า 4 ± 0.02 7 ± 0.02 และ 10 ± 0.05



มาตรฐานความเป็นกรด-เบส

3. ค่าความร้อน วิเคราะห์โดยใช้เครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์
ค่าที่ได้เป็นค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV)
และมีหน่วยเป็นเมกกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg)



เครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์

- 1) ความหนาแน่น (Density) คือ น้ำหนักของน้ำมันชีวภาพที่ได้ต่อหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร (g/ml) การหาความหนาแน่นของน้ำมันชีวภาพทำได้โดยการใช้ขวดวัดความหนาแน่นที่อุณหภูมิห้อง

ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ผลการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของชีวมวล ผลการผลิตน้ำมันชีวภาพจากพืชตัวอย่าง และผลการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้ โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของชีวมวล

ผลการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของชีวมวล ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ความชื้น สารระเหยคาร์บอนคงตัว และเถ้า ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ไม้ทั้ง 5 ชนิดมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.69–7.68 เนื่องจากค่าความชื้นของ ชีวมวลที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วคือต่ำกว่าร้อยละ 10 ดังนั้นไม้ทั้ง 5 ชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมหรือผ่านเกณฑ์พื้นฐานของกระบวนการและสามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นได้โดยไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการอบแห้งอีก ซึ่งเป็น การประหยัดพลังงานในการอบแห้งชีวมวล ปริมาณเถ้าของไม้ที่อยู่ในช่วงร้อยละ 4.72–13.68 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับชีวมวลจำพวกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เหว้าและลำต้นมันสำปะหลัง ที่มีปริมาณเถ้าอยู่ที่

ร้อยละ 11.2 และ 7.1 ตามลำดับ (Pattiya *et al.*, 2012) เมื่อพิจารณาสมบัติโดยรวมพบว่าไม้ทั้ง 5 ชนิด มีค่าความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับชีวมวลทั่ว ๆ ไปที่สามารถผลิตน้ำมันชีวภาพได้

Table 1 Sample properties

Component (%)	<i>Bambusa beecheyana</i>	<i>Thyrsostachys siamensis</i>	<i>Dendrocalamus asper</i>	<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	<i>Dendrocalamus sericeus</i>
Moisture	7.68	5.69	6.17	5.93	6.05
Volatile	71.31	65.80	70.23	69.47	72.71
Ash	7.60	13.68	5.65	8.30	4.72
Fixed carbon	13.41	14.83	17.95	16.30	16.53

2. ผลการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้

เมื่อนำตัวอย่างไม้ทั้ง 5 ชนิดมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 500 องศาเซลเซียส น้ำมันชีวภาพที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มเกือบดำดังแสดงในรูปจากรูปสามารถสังเกตได้ว่าพืชชีวมวลตัวอย่างต่างชนิดกันให้น้ำมันชีวภาพที่มีลักษณะต่างกันเล็กน้อย ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วนี้โดยทั่วไปสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ ส่วนปริมาณผลผลิตของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการทดลองสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าชีวมวลส่วนใหญ่ (ไผ่กิมซุง ไผ่รวก ไผ่ตงศรีปราชญ์ และไผ่ห่มอาจุ) ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมากกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนัก ชีวมวลเริ่มต้น ยกเว้น

ไฟขวางหม่นที่ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพต่ำที่สุดคือร้อยละ 33.61 และไฟกิมซุง ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงที่สุด คือได้ร้อยละ 49.30 เมื่อเปรียบเทียบกับ ชีวมวลชนิดอื่นเมื่อใช้เครื่องปฏิกรณ์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิไพโรไลซิส เดียวกัน (500 องศาเซลเซียส) เช่น ใบอ้อย ยอดอ้อย ลำต้นมันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพร้อยละ 47, 36, 50 และ 40 ตามลำดับ (Pattiya, *et al.*, 2012) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ ได้ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิดที่เลือกมาในการทดลองครั้งนี้ส่วนใหญ่ให้ปริมาณ ผลผลิตของน้ำมันชีวภาพใกล้เคียงกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากไร่อ้อย และไร่มันสำปะหลัง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลเปลือกไม้ยูคาลิปตัสซึ่งให้ ปริมาณผลผลิตของน้ำมันชีวภาพสูงถึงร้อยละ 60 (Pidtasang *et al.*, 2013) พบว่าพืชตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพน้อยกว่าเปลือกไม้ ยูคาลิปตัส จึงกล่าวได้ว่า ไฟทั้ง 5 ชนิด มีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้เป็น วัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วได้ อย่างไรก็ตามยังมีตัวแปรของกระบวนการอีกหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ไพโรไลซิส ขนาดอนุภาค อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน และระยะเวลา คงอยู่ของไอ ที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันชีวภาพ ซึ่งหากศึกษา และควบคุมตัวแปรเหล่านี้แล้ว ปริมาณผลผลิตของน้ำมันชีวภาพอาจสูงกว่า ปริมาณที่แสดงอยู่ในผลการทดลองนี้ก็ได้

นอกจากน้ำมันชีวภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักแล้ว ในกระบวนการ ไพโรไลซิสแบบเร็วยังให้ถ่านชาร์เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงด้วย ซึ่งถ่านชาร์ คือส่วนของชีวมวลแข็งที่เหลือจากการสลายตัวกลายเป็นไอขององค์ ประกอบของชีวมวล ถ่านชาร์มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ สามารถนำไป ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำไปเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนกับระบบ

นำไปใช้เป็นสารบำรุงดิน หรือนำไปปรับปรุงเป็นคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) จากตารางที่ 2 พบว่าปริมาณผลผลิตของถ่านชาร์เมื่อใช้ชีวมวล ทั้ง 5 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 20-25

ตารางที่ 2 ยังแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกอย่างคือแก๊ส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแก๊สจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วประกอบไปด้วย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สไฮโดรคาร์บอน C1-C3 ในระดับอุตสาหกรรมแก๊สเหล่านี้นิยมนำกลับมาใช้เป็นแก๊สพา (Carrier gas) ในกระบวนการและส่วนหนึ่งใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนกับกระบวนการ แต่ไม่นิยมนำแก๊สที่ได้ไปใช้อย่างอื่น เนื่องจากแก๊สที่ได้เหล่านี้เป็นการผสมกันของแก๊สหลายชนิด และแต่ละชนิดมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในการแยกให้บริสุทธิ์

เมื่อเปรียบเทียบชีวมวลทั้ง 5 ชนิด พบว่าไผ่ช้างหม่นให้ปริมาณผลผลิตของแก๊สสูงที่สุดถึงร้อยละ 42.75 เมื่อใช้อุณหภูมิไพโรไลซิส 500 องศาเซลเซียสซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันชีวภาพ และไผ่รวกให้ปริมาณแก๊สต่ำสุดคือร้อยละ 28.36 แต่ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงเป็นอันดับสอง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิไพโรไลซิสที่ใช้อาจมีค่าสูงเกินไป ทำให้ไผ่ไพโรไลซิสบางส่วนเกิดการแตกตัวขั้นที่สอง (Secondary cracking) กลายเป็นผลิตภัณฑ์แก๊ส ดังนั้นหากต้องการเพิ่มปริมาณน้ำมันชีวภาพจากไผ่ช้างหม่น อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ใช้ควรมีค่าต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส แต่จะเป็นอุณหภูมิใดนั้น ต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปต่อไป



Bio-oil from 5 bamboos

Table 2 Products of Biomass Fast Pyrolysis
(5 bamboos and 1 saw dust of *Eucalyptus camaldulensis*)

Samples	Products (%)		
	Bio-oil	Bio-char	Gas
<i>Bambusa beecheyana</i>	49.30	21.21	29.49
<i>Thyrsostachys siamensis</i>	46.55	25.08	28.36
<i>Dendrocalamus asper</i>	43.36	24.03	32.61
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	42.58	19.64	37.78
<i>Dendrocalamus sericeus</i>	33.61	23.65	42.75
Saw dust of <i>Eucalyptus</i>	45.66	22.49	31.86

3. ผลการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพ

เมื่อนำน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระมาวิเคราะห์สมบัติพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ ปริมาณของแข็ง ค่าความเป็นกรด-เบส หรือค่าพีเอช ค่าความร้อน ความหนาแน่น และค่าความหนืด ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4–2.3 โดยไฟตงครีปราจีน ให้น้ำมันชีวภาพที่มีปริมาณของแข็งต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพืชตัวอย่างทั้งหมดที่ศึกษา ขณะที่ไฟซางหม่นให้ค่าปริมาณของแข็งสูงที่สุด ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM Burner Fuel น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วต้องมีปริมาณของแข็งไม่เกินร้อยละ 2.5 (Oasmaa, et al., 2009) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากพืชทั้ง 5 ชนิดผ่านข้อกำหนดดังกล่าว ปริมาณของแข็งมีความสำคัญต่อการนำไปใช้งาน โดยเมื่อน้ำมันชีวภาพมีปริมาณของแข็งมาก โอกาสที่ของแข็งจะอุดตันระบบท่อลำเลียง หรือหัวฉีดก็มีมากด้วย ด้วยเหตุที่ของแข็งคือผงถ่านชาร์ขนาดเล็กเป็นที่กักเก็บเถ้า ดังนั้นหากน้ำมันชีวภาพมีปริมาณของแข็งมากก็แสดงว่าน้ำมันชีวภาพมีปริมาณเถ้าสูงด้วย เมื่อนำน้ำมันชีวภาพไปผ่านการเผาไหม้เพื่อใช้งาน โอกาสที่เถ้าจะก่อให้เกิดปัญหาก็มีสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการทดลองของไฟ 5 ชนิด มีค่าปริมาณของแข็งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วได้โดยปราศจากปัญหาการอุดตันของระบบเครื่องยนต์หรือเครื่องมือที่ใช้งาน

เมื่อพิจารณาค่าพีเอชของน้ำมันชีวภาพจากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่าพีเอชของน้ำมันชีวภาพทั้ง 5 ตัวอย่างมีค่าไม่ต่างกันและมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 3.8–5.0 ซึ่งจัดว่าเป็นกรด และโดยทั่วไปแล้วน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากการไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวลทั่วไปก็มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกรดเช่นกัน ดังนั้นการนำไปใช้งานควรระมัดระวังเรื่องวัสดุที่ใช้ทำภาชนะและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ควรเป็นวัสดุที่สามารถทนการกัดกร่อนจากกรดได้ หากในอนาคตต้องการลดความเป็นกรดของน้ำมันชีวภาพสามารถทำได้โดยการปรับปรุงกระบวนการอย่างง่าย เช่น การเติมสารเติมแต่งประเภทแอลกอฮอล์ลงไปในน้ำมันชีวภาพเพื่อให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ และได้เอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ วิธีการนี้สามารถเพิ่มค่าพีเอชได้ (Pidtasang *et al.*, 2013)

Table 3 Basic Properties of Bio-oil

Properties	Samples				
	<i>Bamboosa beecheyana</i>	<i>Thyrsostachys siamensis</i>	<i>Dendrocalamus asper</i>	<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	<i>Dendrocalamus sericeus</i>
Solids content (wt%)	0.40	1.92	1.36	2.00	2.27
pH	3.8	4.3	4.2	4.7	5.0
Heating value (MJ/kg)	22.37	23.06	21.77	23.27	25.72
Density (kg/m ³)	1,116	1,000	1,100	1,000	1,300
Viscosity (cSt)	85.0	92.5	42.0	99.0	125.5

นอกจากนี้ตารางที่ 3 ยังแสดงค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากพืชตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด จากตารางพบว่าไผ่ตงศรีปราชญ์ให้น้ำมันชีวภาพที่มีค่าความร้อน 21.77 MJ/kg ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด ขณะที่ไผ่ซางหม่นให้ค่าความร้อนสูงถึง 25.72 MJ/kg ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM Burner Fuel น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วต้องมีค่าความร้อน (HHV) ไม่ต่ำกว่า 15 MJ/kg (Oasmaa, et al, 2009) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ไผ่กิมซุง ไผ่รวก ไผ่ตงศรีปราชญ์ ไผ่หม่าจู ไผ่ซางหม่น ให้น้ำมันชีวภาพที่มีค่าความร้อนผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของ ASTM ดังกล่าว

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าประมาณ 1,000–1,300 kg/m³ หรือ 1.0–1.3 g/ml ซึ่งค่าความหนาแน่นของน้ำมันชีวภาพจากไผ่กิมซุง ไผ่ตงศรีปราชญ์และไผ่ซางหม่นอยู่ในเกณฑ์ของข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM Burner Fuel ที่ระบุว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วต้องมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.1–1.3 g/ml (Oasmaa, et al, 2009) แต่ไผ่รวกและไผ่หม่าจูให้น้ำมันชีวภาพที่มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเกณฑ์เล็กน้อย แต่ถ้าพิจารณาสมบัติอื่น ๆ ของไผ่ทั้งสองชนิดนี้แล้วก็ถือได้ว่าน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

สมบัติทางกายภาพอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญต่อการนำน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้งานคือค่าความหนืด ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM-Burner Fuel เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงไปใช้งานควรมีค่าความหนืดไม่สูงกว่า 125 mm²/s หรือ cSt ซึ่งจากตารางที่ 3 พบว่าน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้จากพืชตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีค่าความหนืดผ่านเกณฑ์ ยกเว้นน้ำมันชีวภาพจาก

ไผ่ขางหม่นที่มีค่าความหนืดมากกว่าข้อกำหนดเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้สาเหตุส่วนหนึ่งอาจมาจากการที่น้ำมันชีวภาพจากไผ่ขางหม่นมีค่าปริมาณของแข็งที่สูง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาในในระบบไพโรไลซิสสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มส่วนที่เป็นการกรองไอร้อนให้มีขนาดความหนาแน่นของตัวกรอง หรือความละเอียดในการกรองให้สูงมากขึ้น เมื่อปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพลดลงค่าความหนืดก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้น้ำมันชีวภาพจากไผ่ขางหม่นสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM Burner Fuel ได้

การเพิ่มมูลค่าไม้ไผ่

ต้นไผ่และใบไผ่ สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้ โดยโครงการวิจัยได้นำลำต้นไผ่มาเผาให้เป็นถ่านทอริฟายโดยกระบวนการ Torrefaction แล้วนำมาอัดเม็ด เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ทำมาจากขี้เลื่อยหรือเศษวัสดุทางการเกษตรเมื่ออัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงตะเกียบหรือเป็นเม็ดเพ็ลเล็ต (pellet) แล้ว จะมีค่าความร้อนของมวลก้อนมากขึ้นกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลตั้งต้น อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดเม็ดก็ยังสามารถเพิ่มมูลค่าและเพิ่มความร้อนขึ้นอีกได้โดยการนำมาผ่านกระบวนการเผาแบบไม่สุกที่เรียกว่า Torrefaction ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการนี้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับถ่านหิน ไร้ควัน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษและสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ถ้าอัดเป็นเม็ดแล้วมาผ่านกระบวนการเผาไม่สุกเรียกว่า Pellet Torrefied แต่ถ้าเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไม่สุกแล้วจึงนำมาอัดเป็นเม็ดเรียกว่า Torrefied Pellet กระบวนการเผาแบบไม่สุกคือการเผาชีวมวลในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 250–300 องศาเซลเซียส (ถ้าเผาให้เป็นถ่านหุงต้มจะใช้อุณหภูมิประมาณ 270–400 องศาเซลเซียส)

การทำ Pellet Torrefied หรือ Torrefied Pellet เป็นการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงให้มีคุณสมบัติเท่ากับถ่านหิน เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ภาคเอกชนไทยและต่างประเทศให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ในประเทศไทย เช่น คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร และคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ก็มีการศึกษาเรื่องนี้อยู่ มีการใช้เงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่แตกต่างกัน เวลาในการปิดหน้าต่าง และชนิดของชีวมวลที่ต่างกัน ก็จะทำให้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีคุณภาพแตกต่างกัน เป็นต้น

โครงการวิจัยได้นำตัวอย่างไม้ไผ่ 5 ชนิด คือ ไผ่กิมชุง ไผ่รวก ไผ่ตงศรีปราชญ์ ไผ่หม่าจู และไผ่ซางหม่น มาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิง โดยผ่านกระบวนการ Torrefaction แล้วนำมาอัดด้วยเครื่องอัดเม็ดขนาดทดลอง 10 kw. (ประมาณ 7 แรงม้า) นำเชื้อเพลิงอัดเม็ด (Torrefied pellet) มาทดสอบคุณสมบัติเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4



Table 4 Property Analysis Results of Bamboo Pellets

Samples	Pellet Properties					
	Moisture (%) *	Ash (%) *	Sulfur *(%)	Bulk Density** (kg/m ³)	Durability ** (%)	Heating Value*** (Kg/kCal)
<i>Bambusa beecheyana</i>	2.53	9.33	0.09	682	96	5,421
<i>Thyrsostachys siamensis</i>	3.85	7.28	0.04	727	97	4,418
<i>Dendrocalamus asper</i>	4.68	4.54	0.05	599	99	4,392
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	3.02	8.51	0.05	698	98	4,252
<i>Dendrocalamus sericeus</i>	5.25	4.60	0.09	630	99	4,328
Standard PFI Standard	≤ 10	≤ 2.0	–	609–737	–	≥ 4,063

หมายเหตุ:

- * ส่งทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- ** ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
- *** ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการฝ่ายพัฒนาพลังงานจากไม้ กรมป่าไม้

นอกจากการทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแล้ว ใบไผ่เมื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแล้ว พบว่ามีสารฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงได้ทดลองนำใบไผ่มาผ่านกระบวนการทำชา โดยเริ่มจากการนำยอดใบไผ่มาล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง นำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปอบด้วยไอน้ำในหม้อรังถึงประมาณ 10 นาที ผึ่งให้เย็นแล้วนำไปคั่วในกระทะด้วยอุณหภูมิต่ำ ๆ ระหว่างการคั่วใช้มือที่สะอาดนวดใบไผ่เพื่อให้สารระเหยในใบระเหยออกมา ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้คั่วใบไผ่ต้องไม่ร้อนมาก จึงนิยมใช้เตาถ่านอั้งโล่ในการคั่วใบไผ่ หลังจากคั่วจนแห้งสนิท ทิ้งไว้ให้เย็นจึงนำมาบรรจุใส่ซอง ใส่ในขวดโหลเก็บความชื้นพร้อมที่จะนำไปทดลองให้กลุ่มเป้าหมายชิมชาใบไผ่ว่ามีรสชาติเป็นที่พอใจหรือไม่อย่างไร



การชงชาใบไผ่จะแตกต่างจากการชงชาจากใบชา คือไม่สามารถใช้เพียงน้ำร้อนลวก ชาใบไผ่ต้องผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จึงจะได้รสชาติและกลิ่นหอมของชาใบไผ่ ใช้เวลาในการต้ม 5-10 นาที ยิ่งต้มนานยิ่งหอม สรรพคุณของชาใบไผ่ในตำรายาจีนเรียกว่า จู่เย่ (竹叶) เป็นยาเย็นใช้เป็นยาแก้ร้อนใน เหมาะอย่างมากกับอากาศร้อนชื้นช่วง

ฤดูร้อนของประเทศไทย แก้อาการหงุดหงิดเนื่องจากความร้อน ให้ความชุ่มชื้น ขับปัสสาวะ รักษาแผลร้อนในในปาก แก้อาการแพ้ของแมลงกัดต่อย นิยมใช้ร่วมกับดีบัวเพื่อแก้ร้อนในและลดอาการหงุดหงิด เนื่องจากเป็นยาที่ไม่รุนแรงจึงนิยมใช้รักษาเด็กและสตรีมีครรภ์ที่มีอาการร้อนใน โดยเฉพาะส่วนยอดของใบที่ยังไม่กางออกจะระบายความร้อนที่หัวใจได้ดี แก้อาการหงุดหงิดจากความร้อน (สพล สมวงษ์, 2016) นอกจากนี้ยังพบสารฟลาโวนอยด์ในน้ำสกัดจากชาใบไผ่ที่ช่วยลดอนุมูลอิสระที่เป็นตัวการที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (สุดารัตน์, 2559) จากการสาธิตการชงชาใบไผ่และเก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้ชิมชาในโครงการวิจัยการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่



ด้านพลังงาน การผลิตน้ำมันชีวภาพและสร้างมูลค่าเพิ่ม สถานที่เก็บข้อมูล คือร้านอาหารในท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี และในกรุงเทพมหานคร มีผู้ให้ความคิดเห็นจำนวน 60 ราย ผลสรุปความคิดเห็นดังแสดงในตารางที่ 5

Table 5 The Satisfaction of Bamboo Tea

Province	Bamboo species	Level of Satisfaction			Number Of Testing	Opinion
		Good	Fair	Poor		
Bangkok	<i>D. sericeus</i>	18	9	3	30	Taste like tea leave
	Beijing Bamboo	11	13	6		Taste like herb
Kanchana	<i>D. sericeus</i>	7	20	3	30	Mellow/Aromatic
Buri	Beijing Bamboo	14	13	3		Taste astringent

สรุป

จากการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไผ่ 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ ไผ่กิมซุง(*Bambusa beecheyana* Munro)ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) ไผ่ตงศรีปราชญ์ (*Dendrocalamus asper* Backer) ไผ่หมาจู (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) และไผ่ซางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วชนิดตกอิสระขนาดห้อง

ทดลอง พืชตัวอย่างที่ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงที่สุด คือ ไม้กิมซุง ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 49.30 ของน้ำหนักชีวมวลเริ่มต้น และไม้ขางหม่น ให้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด ร้อยละ 33.61 เมื่อพิจารณาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้พบว่า ปริมาณของแข็ง ค่าความร้อน ค่าพีเอช ความหนาแน่น และความหนืดของน้ำมันชีวภาพส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM Burner Fuel ของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าไม้ทั้ง 5 ชนิดสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วได้และหากต้องการเพิ่มปริมาณและสมบัติของน้ำมันชีวภาพควรมีการปรับปรุงกระบวนการโดยการทดลองลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียสหรือเพิ่มความละเอียดในการกรองน้ำมันชีวภาพให้มากขึ้น การเพิ่มมูลค่าของไผ่นอกจากการรับประทานหน่ออ่อนแล้ว การนำลำต้นไปผ่านด้วยกระบวนการ Torrefaction แล้วนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จะได้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีเกือบเท่าถ่านหิน มีค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนมวลก่อนสูงขึ้น สะดวกในการขนส่ง จัดเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดเหมาะสมสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้า หากนำมาใช้กับเตาหุงต้มต้องเป็นเตาหุงต้มระบบแก๊สซิไฟเออร์เท่านั้นจึงจะไม่มีควันและให้ไฟแรงสูง สำหรับใบอ่อนนำมาทำเป็นน้ำชาใบไผ่มีสรรพคุณเป็นยาเย็นแก้ร้อนในลดอาการหงุดหงิด นอกจากนี้ยังพบสารฟลาโวนอยด์ในน้ำสกัดจากชาใบไผ่ที่ช่วยลดอนุมูลอิสระที่เป็นตัวการที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง

เอกสารอ้างอิง

- สพล สมวงษ์. 2016. **สรรพคุณของใบไผ่**. ใน <https://www.facebook.com/sapon.somvong/posts/> . online. สืบค้นวันที่ 8 สิงหาคม 2560.
- Pattiya, A., S. Sukkasi and V. Goodwin. 2012. Fast pyrolysis of sugarcane and cassava residues in a free-fall reactor. **Energy** 44: 1067–1077.
- Pidtasang, B., P. Udomsap, S. Sukkasi, N. Chollacoop and A. Pattiya. 2013. Influence of alcohol addition on properties of bio-oil produced from fast pyrolysis of eucalyptus bark in a free-fall reactor, **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. (In Press).
- A. Oasmaa, D.C. Elliott and S.Muller 2009. Quality Control in Fast Pyrolysis Bio-oil Production and Use. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. 28: 404–409.