



## การผลิตน้ำมันและถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรภายใต้แนวทางการจัดการแบบไม่มีของเสียเหลือทิ้ง Bio-oil and Bio-char Production from Agricultural Residue under A Concept of Zero Waste Management

อรรถกร อาสนคำ<sup>1</sup> วรพจน์ โพรธาเจริญ<sup>1</sup> เญยจพร เครือทะนันทไชย<sup>1</sup>  
ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์<sup>1</sup> ณัฐวุฒิ คุชฌี<sup>2</sup> กิตติกร สาสุจิตต์<sup>2</sup> อติศักดิ์ ปัตติยะ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ห้องปฏิบัติการระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

<sup>2</sup> วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<sup>3</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการแบบไม่มีของเสียเหลือทิ้ง วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เมล็ดมะเขือเทศ เมล็ดปาล์มน้ำมัน หลังจากหีบเพื่อสกัดน้ำมันแล้ว จะถูกนำมาบดละเอียด ตากแห้ง และนำไปผลิตน้ำมัน และถ่านชีวภาพ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส ในกรณีที่มีความต้องการน้ำมันชีวภาพปริมาณสูงจะใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว กรณีที่มีความต้องการปริมาณถ่านสูง และคุณภาพดีจะใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า สำหรับส่วนใบหรือกิ่งหรือทะลายปาล์ม แม้กระทั่งกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ที่ไม่ผ่านการไพโรไลซิส จะนำมาบดละเอียด ตากแห้งและอัดขึ้นรูปเพื่อนำไปผลิตแท่งเชื้อเพลิง (RDF-5) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหุงต้ม หรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สสังเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าที่เกิดในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน สามารถนำไปปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน หรือใช้ผสมซีเมนต์ เพื่อผลิตคอนกรีต สำหรับน้ำมันพืชดิบหลังการหีบเมล็ดน้ำมัน ที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อผลิตไบโอดีเซล จะได้กลีเซอริน ซึ่งสามารถนำมาเป็นตัวประสานในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง (RDF-5) ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนในเชื้อเพลิง นอกจากนี้ในบทความนี้ยังนำเสนอวิธีการจับฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยการใช้สนามไฟฟ้ารวมอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น สามารถดักจับได้ง่ายขึ้นโดยเครื่องดักเก็บฝุ่นด้วยสนามไฟฟ้า เทคนิคข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชน เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการบริหารที่ไม่มีของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้ง หรือให้มีอย่างน้อยที่สุด

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงชีวภาพ, การจัดการแบบไม่มีของเสีย, วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร

### 1. ที่มาและความสำคัญ

ในกระบวนการทางเกษตรกรรม มักจะมีวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งมักจะถูกนำไปผลิตเป็นปุ๋ย หรือไปทำเป็นวัสดุอื่นเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม เช่น การผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง การผลิตวัสดุก่อผนัง การผลิตไม้เฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา การสกัดสารอินทรีย์ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมยา เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังคงมีของเสียเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก และมักจะถูกนำมาเผาทำลาย ซึ่งก่อให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก หมอกควัน และฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยมีข้อมูลว่า ในการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร 1,000 kg จะมีการปล่อยฝุ่นละอองขนาด PM 10 ในปริมาณ 7 kg [1] ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาผลิตเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตน้ำมันและถ่านชีวภาพ ก็จะเป็นขั้นตอนหนึ่งซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการทั้งหมด ไม่มีของเสียเหลือทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม หรือมีของเสียเหลือทิ้งให้น้อยที่สุด

การผลิตพลังงานจากชีวมวล จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับชนิด และปริมาณของชีวมวล ความคุ้มค่าด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การวางแผน และออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุน วัตถุดิบ และพลังงานให้สามารถนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

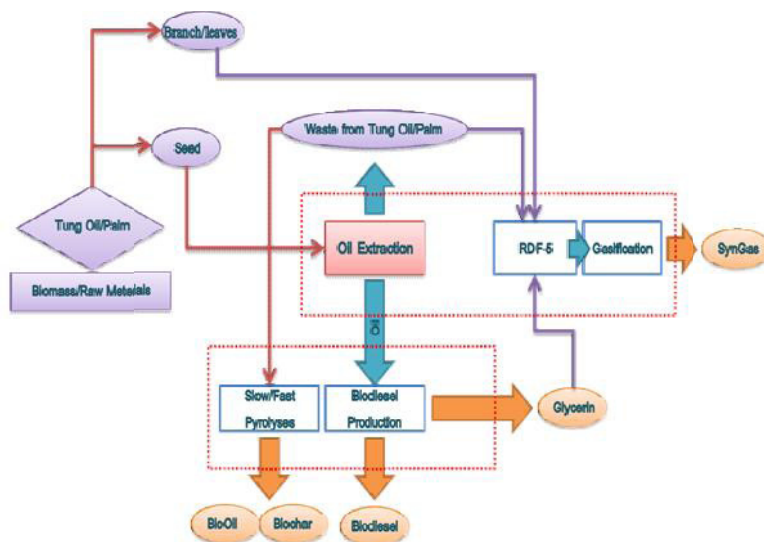
สำหรับการผลิตน้ำมันและถ่านชีวภาพจากวัสดุทางการเกษตร มักจะใช้กระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดการแตกของพันธะโมเลกุลในวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ จากสายโซ่พันธะเคมียาวๆ กลายเป็นสายโซ่สั้นๆ ภายใต้สภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน จะได้ไอน้ำมันที่สามารถควบแน่นได้ และควบแน่นไม่ได้ และถ่าน ไอน้ำมันที่สามารถควบแน่นจะนำไปลดอุณหภูมิเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเหลวต่อไป กระบวนการไพโรไลซิสอาจจำแนกเป็นกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) แบบช้า (Slow Pyrolysis) และแบบทอรรีแฟคชัน (Torrefaction) โดยในกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว อุณหภูมิของชีวมวลภายในปฏิกรณ์จะอยู่ที่ 500-600°C และเวลาที่ชีวมวลอยู่ในปฏิกรณ์จะประมาณ 1 วินาที ขณะที่แบบช้า การคงอยู่ของชีวมวลจะมากกว่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 400-500°C ขณะที่แบบทอรรีแฟคชันจะคล้ายกับแบบช้า แต่อุณหภูมิจะประมาณ 300°C ทั้งนี้ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ และถ่านชีวภาพ ประมาณ 60-70 % และ 10-15 %, 30-35 % และ 30-40 %, 5 % และ 8 % ตามลำดับ

ในประเทศไทยได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตน้ำมันและถ่านชีวภาพ เช่น ทะลายปาล์ม [2] เหน้้ำมันสำปะหลัง [3] รวมถึงสาหร่าย [4] ขานอ้อย และผักตบชวา [5] ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส ในกรณีที่อุณหภูมิสูง จะได้ปริมาณน้ำมันมาก และปริมาณถ่านน้อย และกลับกัน เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ คุณภาพและโครงสร้างของถ่านภายใต้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจะดีกว่า ในกรณีของไพโรไลซิสแบบเร็ว นอกจากนี้ยังมีการนำของเสีย เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ มาผสมกับวัสดุเหลือทิ้งอื่น มาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในรูป RDF-5 [6, 7] รวมถึงการนำแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 ไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาแก๊สซิฟิเคชัน ผลิตแก๊สสังเคราะห์ให้แก่เครื่องปั่นไฟฟ้า [8]

ในบทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดในการนำวัสดุเหลือใช้ หรือเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากพืชน้ำมัน เช่นมะเขายาหิน และปาล์มน้ำมัน เมล็ดมะเขายาหิน เมล็ดปาล์มน้ำมัน หลังจากหีบเพื่อสกัดน้ำมันแล้ว จะถูกนำมาบดละเอียด ตากแห้ง และนำไปผลิตน้ำมันและถ่านชีวภาพ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส สำหรับส่วนใบหรือกิ่งจากต้นมะเขายาหิน ทะลายปาล์ม หรือแม้กระทั่งกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน จะนำมาบดละเอียด ตากแห้งและอัดขึ้นรูปเพื่อนำไปผลิตแท่งเชื้อเพลิง (RDF-5) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหุงต้ม หรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สสังเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าที่เกิดในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน สามารถนำไปปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน หรือใช้ผสมซีเมนต์ เพื่อผลิตคอนกรีต สำหรับน้ำมันพืชดิบหลังการหีบเมล็ดน้ำมัน และผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เพื่อผลิตไบโอดีเซล จะได้กลีเซอริน ซึ่งสามารถนำมาเป็นตัวประสานในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง (RDF-5) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มค่าความร้อนในเชื้อเพลิง เทคนิคข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชน เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการบริหารที่ไม่มีของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้ง หรือให้มือน้อยที่สุด

## 2. วิธีการศึกษา

รูปที่ 1 แสดงรูปแบบแนวทางการศึกษา การผลิตน้ำมันและถ่านจากชีวภาพ ภายใต้การจัดการแบบไม่มีของเสียเหลือทิ้ง จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล จากพืชน้ำมัน คือ มะเขายาหิน และปาล์มน้ำมัน



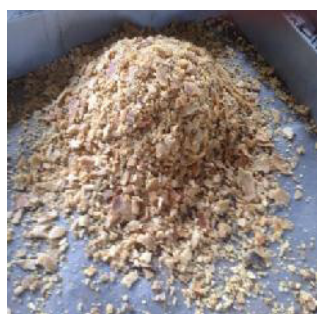
รูปที่ 1: การนำวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้วัตถุดิบจากมะเขายาหินและปาล์มน้ำมัน

เมล็ดมะเขายาหิน และเมล็ดปาล์มน้ำมัน จะถูกอบให้มีอุณหภูมิ 80-100°C และอุณหภูมิ 140°C โดยใช้เวลาประมาณ 30 และ 20 นาที ตามลำดับ แล้วมาหีบอัดโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียว ดังรูปที่ 2 จะได้น้ำมันพืชดิบราว 30-33 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2: เครื่องหีบอัดเมล็ดน้ำมันพืช

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่าง กากเมล็ดมะเขยาคือกากที่เหลือจากการหีบ และน้ำมันมะเขยาคือที่ได้ น้ำมันพืชที่หีบอัดได้จะถูกนำไปกรองเพื่อทำความสะอาด และตรวจหาค่า Free fatty acid โดยไม่ให้เกิน 5 % จากนั้นนำไปผสมกับเมทานอล และ Potassium Hydroxide เพื่อผลิตไบโอดีเซล ภายใต้กระบวนการ Transesterification ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีผลิตภายใต้สนามไฟฟ้า ที่มีปฏิกรณ์ลักษณะ ดังรูปที่ 4

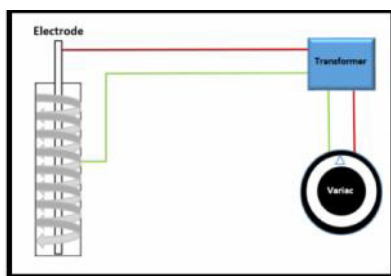


ก. กากมะเขยาคือกากที่เหลือจากการหีบ



ข. น้ำมันมะเขยาคือที่ได้

รูปที่ 3: กากเมล็ดมะเขยาคือกากและน้ำมันดิบ หลังการหีบ (เมล็ดมะเขยาคือ 6 kg จะหีบน้ำมันดิบได้ราว 2 ลิตร)



รูปที่ 4: ปฏิกรณ์ในการผลิตไบโอดีเซลภายใต้สนามไฟฟ้า [9]

วัตถุดิบจะถูกอุ่นมาที่อุณหภูมิประมาณ 40-50 °C แทนที่จะเป็น 60°C ดังวิธีให้ความร้อนทั่วไป ก่อนนำมาป้อนให้ปฏิกรณ์ และการแยกกลีเซอริน จะเกิดขึ้นทันทีที่มีการป้อนสนามไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะอยู่ประมาณ 5-10 นาที ในการผลิต ไบโอดีเซล แทนที่จะเป็น 4-6 ชั่วโมง ตามวิธีปกติ ซึ่งจะได้ไบโอดีเซลและกลีเซอริน โดยใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อลิตรน้อยกว่า 0.02 kWh/lit นั่นคือการผลิตไบโอดีเซล ด้วยวิธีใหม่นี้ จะประหยัดพลังงานและรวดเร็วกว่าวิธีทั่วไปมาก

สำหรับกากเมล็ดมะเขยาคือ และกากเมล็ดปาล์ม จะถูกนำไปตากแห้งและบดเป็นผง ดังรูปที่ 5 เพื่อนำมาผลิตน้ำมันชีวภาพ และถ่านชีวภาพ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส ทั้งแบบช้าและแบบเร็ว ซึ่งในแบบแรกจะได้ปริมาณถ่านในปริมาณมาก และแบบหลังจะได้ปริมาณน้ำมันมาก



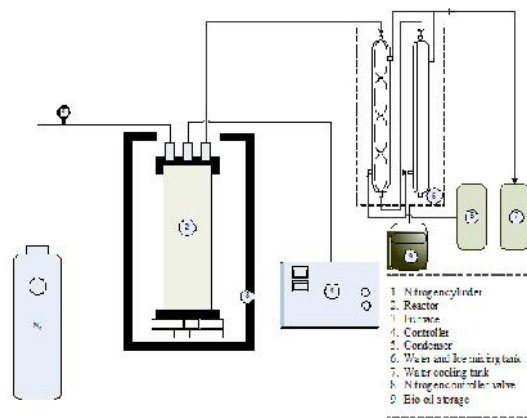
ก. ผงจากกากเมล็ดมะเยาหิน



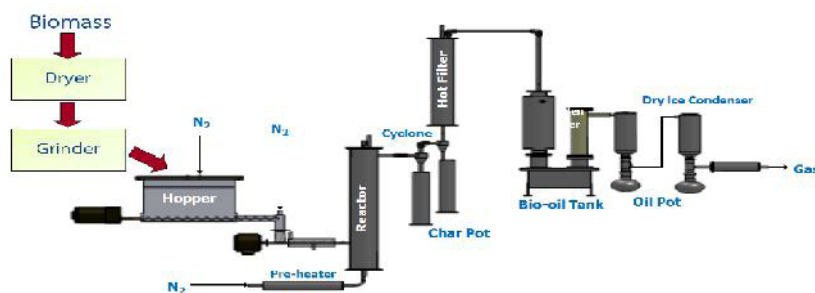
ข. ผงจากเมล็ดปาล์ม

รูปที่ 5: ผงจากเมล็ดพืชน้ำมัน หลังการทึบน้ำมันออกแล้ว [9]

ในงานวิจัยนี้ กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า จะกระทำในเตาแบบเบดนิ่ง ดังรูปที่ 6 และกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วจะดำเนินการในปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด ดังรูปที่ 7 เพื่อศึกษา สัดส่วนและสมบัติของน้ำมัน และถ่านชีวภาพที่ได้



รูปที่ 6 ปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง [5]



รูปที่ 7 ปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด [9]

สำหรับใบ กิ่งของมะเยาหิน หรือ ทะลายปาล์มน้ำมัน รวมถึงกากเมล็ดที่ไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิส จะถูกนำไปอัดแท่ง เพื่อผลิตแท่งเชื้อเพลิงในรูป RDF-5 ทั้งนี้ตัวประสานสามารถใช้ปูนขาว แป้งมัน รวมถึงการใช้กลีเซอรินที่ได้จากการผลิต ไบโอดีเซล จากเมล็ดน้ำมัน ซึ่งกลีเซอรินจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้แก่แท่งเชื้อเพลิงอีกด้วยแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เผาไหม้โดยตรงเพื่อให้ความร้อน หรือนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเตาแก๊สซีไฟเออร์ เพื่อผลิตแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงให้แก่เครื่องปั่นไฟฟ้า ผลิตไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ได้ แก๊สที่ได้สามารถนำมาใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในดิน และอาจนำมาผสมซีเมนต์เพื่อผลิตคอนกรีตได้

### 3. ผลการศึกษา

กากเมล็ดมะเยาหิน และกากเมล็ดปาล์ม หลังจากทึบน้ำมันแล้วจะนำไปตากแห้ง และปั่นทำเป็นผง เพื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและค่าความร้อนของวัตถุดิบดังกล่าว ค่าความร้อนในกากเมล็ดมะเยาหิน หลังการทึบน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับกากเมล็ดปาล์มภายใต้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า โดยใช้ปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง สำหรับกากเมล็ดมะเยาหินพบว่าที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 400 °C รักษาให้คงที่ประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้ปริมาณถ่านชีวภาพ 53.33 % และน้ำมัน 30 % โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนของถ่านที่ได้จะมีค่า 35.83 MJ/kg (HHV) และค่าความร้อนของน้ำมัน จะมีค่า 21.74 MJ/kg แต่ถ้ากระบวนการเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น สัดส่วนของถ่านจะลดลง และสัดส่วนน้ำมันจะสูงขึ้น ในขณะที่ถ่านชีวภาพจะลดลง และค่าความร้อนของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งในกรณีของกากเมล็ดปาล์ม จะให้ผลคล้ายคลึงกัน รูปที่ 8 แสดงถ่านชีวภาพ และน้ำมันชีวภาพ



จากกากเมล็ดมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิต่างๆกัน เมื่อเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง สำหรับกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว จะได้ผลผลิตเป็นน้ำมันส่วนใหญ่ ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1: องค์ประกอบทางเคมีและค่าความร้อนของกากเมล็ดมะเขือเทศและกากเมล็ดปาล์ม หลังจากการที่น้ำมันออกแล้ว

Crop Residue		Tung Oil Seed Cake	Palm Oil Kernel Cake
Proximate Analysis (%)	Moisture	NA	NA
	Volatile	86.17[*]	79.57[9] - 80.01[*]
	Fixed C	10.41[*]	16.74[9] - 9.85[*]
	Ash	3.42[*]	3.69[9] - 10.14[*]
Ultimate Analysis (%)	Carbon	37.42 - 46.7[*]	47.19[9] - 55.3
	Hydrogen	4.32 - 6.4[*]	6.38[9] - 8.5[*]
	Nitrogen	2.71 - 3.7[*]	3.15[9] - 1.6[*]
	Oxygen	25.73 - 42.9[*]	43.28[9] - 34.4[*]
	Sulphur	1.38 - 0.2[*]	NA[9] - 0.2[*]
	HHV (MJ/kg)	14.54 - 18.6[*]	21.91[9] - 20.6[*]

[\*] Present study.

ตารางที่ 2: ร้อยละของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ระยะเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง

Material	Pyrolysis Temperature (°C)		
	400	500	600
Bio-char	53.33 (HHV 35.83 MJ/kg)	22.33 (HHV 21.66 MJ/kg)	16.83 (HHV 19.74 MJ/kg)
Bio-Oil	30 (HHV 21.74 MJ/kg)	56.58 (HHV 29.92MJ/kg)	52.69 (HHV 33.92 MJ/kg)



400°C



500°C



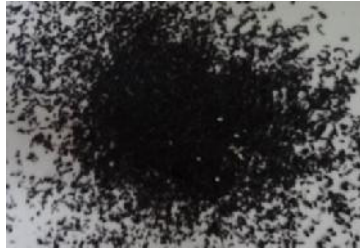
600°C

รูปที่ 8: ถ่านและน้ำมันชีวภาพ จากกากเมล็ดมะเขือเทศ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ที่อุณหภูมิทำงานต่าง ๆ

ตารางที่ 3: ร้อยละของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 500 °C

Material	Percentage of Products		
Tung Oil Seed Cake	Oil 72.1	Char 15.7	Gas 12.2
Palm Oil Kernel Cake	Oil 60.7	Char 30.3	Gas 9.0

ลักษณะของถ่าน และน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส แบบเร็ว แสดงในรูปที่ 9 ค่าสมบัติทางความร้อนของน้ำมันที่ได้ จะต่ำกว่าน้ำมันเตา ส่วนถ่านจะมีค่าความร้อนค่อนข้างสูง ทั้งนี้ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า สัดส่วนน้ำมันจะน้อย และสัดส่วนถ่านจะมาก เทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว รวมไปถึงโครงสร้างของถ่านที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า จะมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า



ถ่านชีวภาพ



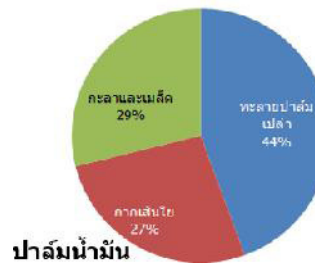
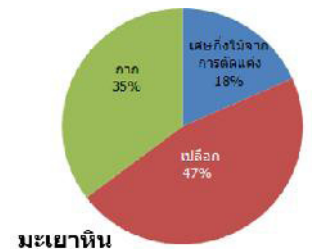
น้ำมันชีวภาพ

รูปที่ 9: ถ่านและน้ำมันชีวภาพจาก กากเมล็ดมะเขือเทศ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว

ใบและกิ่ง ของมะเขือเทศ ทะลายปาล์มและส่วนต่างๆ พบว่ามีปริมาณในจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4: สัดส่วนวัสดุเหลือทิ้งจากพืชพลังงาน [9]

พืชพลังงาน	วัสดุเหลือทิ้ง (กก./ไร่)	ร้อยละ	
มะเขือเทศ	- เศษกิ่งไม้จากการตัดแต่ง	500	18.36
	- เปลือก	1,263	46.38
	- กาก	960	35.26
	<b>รวม</b>	<b>2,723</b>	<b>100</b>
ปาล์มน้ำมัน	- ทะลายปาล์มเปล่า	160	44.44
	- กากเส้นใย	96	26.67
	- กะลาและเมล็ด	104	28.89
	<b>รวม</b>	<b>360</b>	<b>100</b>



องค์ประกอบต่างๆและค่าความร้อน จากวัตถุดิบเหล่านี้บางส่วน แสดงในตารางที่ 5 วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ จะถูกนำมาตากหรืออบให้แห้ง และตีป่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ สามารถนำมาผสมกับกากเมล็ดน้ำมันหลังการหีบเอาน้ำมันออกแล้ว จากนั้นนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 ดังแสดงในรูปที่ 10 สำหรับแท่งเชื้อเพลิงดังกล่าว อาจนำกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาเป็นตัวประสาน โดยสัดส่วนโดยน้ำหนัก ไม่ต่ำกว่า 10 % โดยน้ำหนัก นอกจากนี้กลีเซอรินยังช่วยในการเพิ่มค่าความร้อนในแท่งเชื้อเพลิง แท่งเชื้อเพลิงดังกล่าว ได้นำไปทดสอบเป็นเชื้อเพลิงในเตาแก๊สซิฟิเคชันเพื่อผลิตแก๊สสังเคราะห์ พบว่าแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ มีค่าความร้อน 4,406-5,168 kJ/m<sup>3</sup> ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 3.13-3.33 kg/h เมื่อใช้กลีเซอรินเป็นตัวประสาน 30 % โดยน้ำหนัก แก๊สดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าผ่านเครื่องปั่นไฟฟ้าได้ ส่วนเก่าที่ได้ก็นำไปผสมดิน เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง หรือนำไปผสมซีเมนต์เพื่อผลิตคอนกรีตได้

ตารางที่ 5: องค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งจากมะเขือเทศและปาล์ม [9]

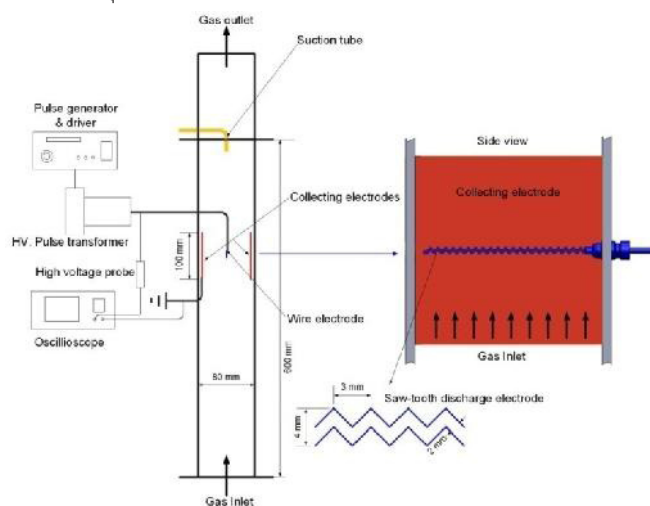
Energy crop Residue		เปลือกผล	กิ่งไม้จาก	ทางใบ	ทะลาย	เส้นใย
		มะเขือเทศ	การตัดแต่ง	ปาล์ม	ปาล์ม	ปาล์ม
		มะเขือเทศ	กิ่ง	น้ำมัน	น้ำมัน	น้ำมัน
Proximate Analysis (%)	Moisture	12.43	6.43	78.40	3.30	40
	Volatile	21.88	20.26	16.60	83.94	45.8
	Fixed C	49.68	68.29	4.6	5.68	9.6
	Ash	16.01	5.2	0.7	7.08	4.6

Energy crop Residue		เปลือกผล มะเขือเทศ	กิ่งไม้จาก การตัดแต่ง กิ่ง	ทางใบ ปาล์ม น้ำมัน	ทะลาย ปาล์มน้ำมัน	เส้นใย ปาล์ม น้ำมัน
Ultimate Analysis (%)	Carbon	37.42	43.54	42.1	53.1	17.7
	Hydrogen	4.32	5.8	5.46	4.37	4.4
	Nitrogen	2.71	0.86	0.7	0.35	0.08
	Oxygen	25.73	38.86	47.46	41.5	33.2
Ultimate Analysis (%)	Sulphur	1.38	1.49	0.13	0.8	0.02
	HHV (MJ/kg)	14.54	15.92	15.56	17.02	11.1

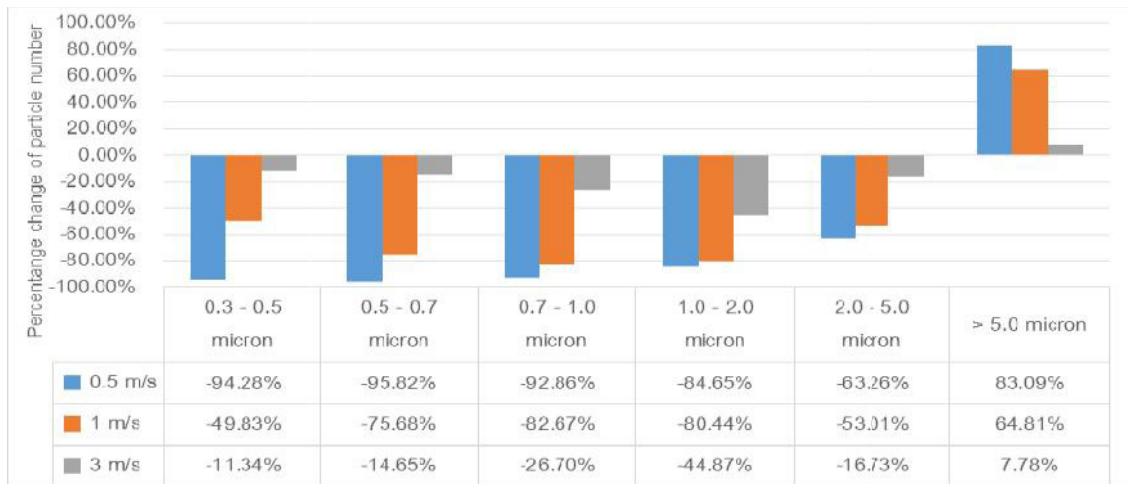


รูปที่ 10: แท่งเชื้อเพลิงในรูป RDF-5

เมื่อมีการนำเชื้อเพลิงดังกล่าว ไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อผลิตความร้อน ปัญหาที่ตามมาคือ มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ตัวการหนึ่งที่จะถูกปล่อยคือ ฝุ่นขนาดเล็กที่ออกไปกับไอเสีย โดยเฉพาะฝุ่นในระดับซับไมครอน ซึ่งระบบดักเก็บฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) โดยทั่วไป ไม่สามารถดักจับได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้พัฒนา เครื่องรวมอนุภาคขนาดเล็กด้วยสนามไฟฟ้า ดังรูปที่ 11 โดยสร้างสนามพลาสมาในบริเวณปล่องไอเสีย ทำให้อากาศหรือแก๊สที่ไหลผ่านแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าที่ต่างขั้วกัน [10] ฝุ่นขนาดเล็กที่อยู่ในไอเสีย เมื่อไหลผ่านสนามพลาสมา จะถูกชาร์จให้มีประจุที่ต่างขั้วกัน ทำให้เกิดการรวมตัวของประจุให้มีขนาดโตขึ้น เมื่ออนุภาคเหล่านี้ไหลผ่านในเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต จะถูกดักจับได้ง่ายขึ้น จากรูปที่ 12 จำนวนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน พบว่าเมื่อไหลผ่านสนามพลาสมา จำนวนฝุ่นขนาดเล็กจะลดลงอย่างชัดเจน และไปเพิ่มจำนวนฝุ่นที่มีขนาดโตกว่า 5 ไมครอน อย่างไรก็ตาม เมื่อความเร็วแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น สมรรถนะจะลดลง



รูปที่ 11: เครื่องรวม อนุภาคขนาดเล็ก ด้วยสนามไฟฟ้า



รูปที่ 12: การลดลงของฝุ่นขนาดเล็กมาก โดยการใช้เครื่องรวม อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งจะเพิ่มจำนวนอนุภาคขนาดใหญ่

#### 4. สรุป

วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ในรูปน้ำมันและถ่านชีวภาพ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการแบบไม่มีของเสียเหลือทิ้ง ในบทความนี้ เมล็ดมะเขือเทศ เมล็ดปาล์มน้ำมัน หลังจากหีบเพื่อสกัดน้ำมันแล้ว จะถูกนำมาบดละเอียด ตากแห้ง และนำไปผลิตน้ำมันและถ่านชีวภาพ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส ในกรณีที่มีความต้องการน้ำมันชีวภาพปริมาณสูงจะใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว กรณีที่มีความต้องการปริมาณถ่านสูง และคุณภาพดีจะใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า นอกจากนี้ ส่วนใบหรือกิ่งหรือทะลายปาล์ม แม้กระทั่งกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ที่ไม่ผ่านการไพโรไลซิส จะนำมาบดละเอียด ตากแห้งและอัดขึ้นรูปเพื่อนำไปผลิตแท่งเชื้อเพลิง (RDF-5) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหุงต้มหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน นำไปใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ ส่วนเถ้าที่เกิดในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน สามารถนำไปปรับความเป็นกรดของดิน หรือใช้ผสมซีเมนต์ เพื่อผลิตคอนกรีต สำหรับกลีเซอรอล ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล สามารถนำมาเป็นตัวประสานในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง (RDF-5) ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนในเชื้อเพลิง นอกจากนี้ในบทความนี้ยังนำเสนอวิธีการจับฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยการใช้สนามไฟฟ้ารวมอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น สามารถดักจับได้ง่ายขึ้นโดยเครื่องดักเก็บฝุ่นด้วยสนามไฟฟ้า

เทคนิคข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชน เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการบริหารที่ไม่มีของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้ง หรือให้มีอย่างน้อยที่สุด

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการความร่วมมือไทย-จีน และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้งบประมาณในการดำเนินงาน

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2557, “โครงการ การจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนอย่างมีส่วนร่วม” [http://www.compost.mju.ac.th/province2554/Waste.Management/hna\\_rk.html](http://www.compost.mju.ac.th/province2554/Waste.Management/hna_rk.html) [อ้างถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2557].
- [2] พิรพล เรืองวีโรรัตน์, 2554, การผลิตน้ำมันชีวภาพจากทะลายปาล์มเปล่าโดยไพโรไลซิสในบรรยากาศไนโตรเจนและไอน้ำ, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Sirijanusorn, S., Sripateep, K. and Pattiya, A., 2013, Pyrolysis of cassava rhizome in a counter rotating twin screw reactor unit, *Bioresource Technology*, 139, pp. 343-348.
- [4] Chaiwong, K. and Kiatsiriroat, T., 2013, Study of bio-oil and bio-char production from algae by slow pyrolysis, *Biomass and Bioenergy*, vol. 56, pp. 600-606.
- [5] เบญจพร เครือชนันไชย ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ กัญญาพร ไชยวงศ์, 2557, “การผลิตและสมบัติของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยเทคนิคไพโรไลซิสแบบช้า,” การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายทอดพลังงาน ความร้อน และมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 13 จันทบุรี.
- [6] เกรียงไกรวงศ์โรจน์ ธนิต สวัสดิ์เสวี นริส ประทีนทองและ ประธาน วงศ์ศรีเวช, 2554, การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสับุดำ, *วิศวกรรมสาร มช.* ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 หน้า 65-72.





- [7] ภมร แสนสิ่ง อนุรักษ์ วรยศ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ เหมือนจิต แจ่มศิลป์, 2554, “การวิเคราะห์พลังงานและต้นทุนของการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากของเสียในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่,” การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายทอดพลังงาน ความร้อน และมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 10 เชียงใหม่.
- [8] ธนะสิทธิ์ แก้วธโนศวรรย์ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2554, “การศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากแท่งเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ผสมกลีเซอรินของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ภายใต้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน,” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ครั้งที่ 4 รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.
- [9] โครงการวิจัย ไทย-จีน, 2557, การพัฒนาชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยการจัดการแบบไม่มีของเสีย, รายงานเสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2556.
- [10] Asanakham, A. and Kiatsiriroat, T., 2013, “Effect of plate bluff-body on fine particle agglomeration under plasma field: An experimental study,” The Fifth International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB V).