



รายงานการวิจัย

การไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์
เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์

**Pyrolysis of Biomass from Herbs in Local Phetchabun Province
for Organic Agriculture**

รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์
เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์

Pyrolysis of Biomass from Herbs in Local Phetchabun Province
for Organic Agriculture

รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์อาทิตย์ หู้เต็ม

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งบประมาณแผ่นดินโดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2560

(ก)

ชื่องานวิจัย	การไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์
ผู้วิจัย	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี และอาจารย์อาทิตย์ หู้เต็ม
สาขาวิชา	เคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีที่เสร็จวิจัย	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์ โดยใช้เตาเผาถ่านแบบแนวนอนและทำการคัดแปลงท่อไยหินเพื่อใช้เป็นท่อคั่นน้ำส้มควันไม้โดยมีระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในท่อร่วมด้วย จากการศึกษาพบว่าพืชสมุนไพรยืนต้นที่มีศักยภาพและมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่านได้ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ไผ่ และไม้ยูคาลิปตัส โดยปัจจัยของอุณหภูมิในท่อถ่าน ความชื้นของไม้ และชนิดของไม้มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ ตลอดจนถ่านที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อใช้ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในท่อเก็บน้ำส้มควันไม้จะสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ในปริมาณมากกว่าและมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าการใช้ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป โดยไม้กระถินมีร้อยละของน้ำส้มควันไม้ที่ได้สูงสุด รองลงมาได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้สะเดา และไม้มะขาม ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ถ่านกัมมันต์สามารถช่วยให้เกิดแยกชั้นของน้ำส้มควันไม้ดิบได้เร็วขึ้น โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอช ไม่แตกต่างจากน้ำส้มควันไม้เริ่มต้นมากนัก แต่ใช้ระยะเวลาในการแยกชั้นสั้นกว่าคือ ใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วัน จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพืชสมุนไพรจำนวน 5 ชนิด พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2.5-3.4 และมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.009-1.024 โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้ไผ่มีค่าพีเอชต่ำสุดและมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ไผ่มีปริมาณกรดทั้งหมดมากที่สุด น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้มะขามมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขามมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด น้ำส้มควันไม้

(ข)

ที่ได้จากไม้สะเดามีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุด ถ่านจากไม้ทั้งหมดมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 17.12-18.56 มีค่าปริมาณสารระเหยได้อยู่ในช่วงร้อยละ 8.12-9.36 มีค่าปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.54-9.68 และมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 63.87-68.15 ค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอยู่ในช่วงประมาณ 13-18 MJ/kg การใช้ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้ที่มีความเข้มข้นสูงสามารถนำไปใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชทางการเกษตรได้ นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้เมื่อถูกเผื่ออาจให้ความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้เพื่อมาเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน กำจัดเชื้อรา ช่วยขยายให้ผลโตขึ้น เพิ่มน้ำตาลในผลไม้ ใช้ในการลดกลิ่นและกำจัดแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ได้ ตลอดจนใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงได้อีกด้วย

คำสำคัญ : น้ำส้มควันไม้, พืชสมุนไพรยืนต้น, ไพโรไลซิส

Type of research: Pyrolysis of Biomass from Herbs in Local Phetchabun Province for Organic Agriculture
Type of research: Applied research (Chemistry)
Researcher: Associate Professor Dr. Piyarut Moonsri and Artit Hutem
Faculty: Science and Technology
University: Phetchabun Rajabhat University
Year: 2018

Abstract

This research was conducted to investigate the pyrolysis of biomass from local perennial herb in Phetchabun Province to benefit from organic agriculture. Using a horizontal charcoal furnace and making modifications. Asbestos pipes are used to trap wood vinegar with a heat exchange system inside the pipe. The study found that the perennial plants have the potential and suitable for the production of wood vinegar and wood charcoal, 5 kinds of tamarind, wood, neem, bamboo, acacia and eucalyptus. By the factor of temperature in the distillation pipe. Moisture of wood and the type of wood affect to the quantity and quality of wood vinegar. Including charcoal derived from the pyrolysis process. When using the heat exchanger system, the wood vinegar can store more wood vinegar and have a higher specific gravity than the conventional wood vinegar. Acacia wood has the highest percentage of wood vinegar and followed by bamboo, eucalyptus, neem, and tamarind trees respectively. In addition, the use of activated carbon can help separate layers of raw wood vinegar faster. The derived wood vinegar has a density, specific gravity, viscosity, and pH values not significantly different from wood vinegar. But the length of separation time is shorter which takes about 30 days. The chemical properties of wood vinegar derived from the pyrolysis process of five medicinal plants were studied. The wood vinegar pH was in the range of 2.5-3.4 and the specific gravity was in the range of 1.009-1.024. The wood vinegar obtained from the pyrolysis of bamboo had the lowest pH value and the highest specific gravity. By analyzing the total acid content, alcohol content, phenolic content, and formaldehyde content. It was found that wood vinegar derived from bamboo had the highest total acidity. Wood vinegar derived from tamarind has the highest alcohol content. Wood vinegar from Tamarind has the highest total

phenolic content. Wood vinegar obtained from neem tree has the highest formaldehyde content. All of the wood charcoal has moisture in the range of 17.12-18.56%, volatile content of 8.12-9.36%. The ash content was in the range of 6.54-9.68% and the carbon content was in the range of 63.87-68.15, respectively. The higher heating value of coal fuel was in the range of 13-18 MJ / kg. The use of high concentration of wood vinegar can be used as an agricultural herbicide. In addition, the wood vinegar, when diluted to the appropriate concentration, can be used to kill microorganisms and insect pests in the soil. In addition it can uses for increasing of sugar in fruit, reduce odors and eliminate insects in the farm. It is also used to produce high quality organic fertilizer as well.

Keywords : wood vinegar, perennial herb, pyrolysis

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์ โดยได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2560 โดยผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์และสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการใช้เป็นแนวทางในการจัดการชีวมวลจากพืชสมุนไพรขึ้นต้นในท้องถิ่น เพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการเกษตรอินทรีย์ และการผลิตเชื้อเพลิงถ่าน ก่อให้เกิดการบริหารจัดการการเผาถ่านของกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการผลิตถ่านจากไม้เหมาะสม ตลอดจนส่งเสริมให้วิสาหกิจชุมชนและผู้สนใจทั่วไป ในการนำเอาข้อมูลและผลการวิจัยที่ได้นี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ต่อไป

รศ. ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	4
1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ชีวมวล	5
2.2 องค์ประกอบของชีวมวลจากไม้	7
2.3 การไพโรไลซิสชีวมวล	10
2.4 เตาเผาถ่าน	13
2.5 พืชสมุนไพร	15
2.6 น้ำส้มควันไม้	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	35
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	35
3.2 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลาย	37
3.3 การออกแบบและเตรียมเครื่องมือ และชุดอุปกรณ์ในการวิจัย	39
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	40

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	53
4.1 ผลการศึกษาการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านจากไม้ ในท้องถิ่นและภูมิปัญญาในการผลิตน้ำส้มควันไม้	53
4.2 ผลการศึกษาการออกแบบและจัดทำชุดท่อตัดกลั่นน้ำส้มควันไม้	56
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้	59
4.4 ผลการศึกษาการลดสิ่งปนเปื้อนในน้ำส้มควันไม้	63
4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้	64
4.6 ผลการศึกษาคุณสมบัติของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิส	69
4.7 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้เทคโนโลยี	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	75
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	35
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	36
4.1 แสดงคะแนนประเมินได้จากการพิจารณาไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นต่าง ๆ จากปัจจัยที่สำคัญ 4 ด้าน เพื่อหาศักยภาพและความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่าน	60
4.2 แสดงปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดักเก็บน้ำส้มควันไม้	61
4.3 แสดงปัจจัยของความชื้นที่มีผลต่อการดักเก็บน้ำส้มควันไม้	62
4.4 แสดงปัจจัยของชนิดของไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดักเก็บน้ำส้มควันไม้	63
4.5 แสดงวิธีการบำบัดน้ำส้มควันไม้ที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้	64
4.6 แสดงค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ	65
4.7 แสดงค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้มะขามและไม้ไผ่ที่ผ่านการเผื่อจึงให้มีความเข้มข้นลดลง	66
4.8 แสดงปริมาณของกรดทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ	66
4.9 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์ทั้งหมดของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ	67
4.10 แสดงปริมาณฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ	67
4.11 แสดงปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ	68
4.12 แสดงปริมาณความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงตัวของถ่านชนิดต่างๆ ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพร	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดงปริมาณความร้อนสูง (HHV) ของถ่านจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมคาโลรีมิเตอร์	70
4.14 แสดงปริมาณความร้อนสูง (HHV) ของถ่านจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณทางทฤษฎี	71
4.15 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ	73

(ณ)

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดแก๊สชีวมวลภายในเตาเผา	10
รูปที่ 2.2 เตาเผาก๊าซ 200 ลิตร แบบแนวนอน	13
รูปที่ 2.3 เตาเผาก๊าซ 200 ลิตร แบบแนวตั้ง	14
รูปที่ 2.4 แสดงรูปตัวอย่างของพืชสมุนไพรอินทรีย์	19
รูปที่ 4.1 แสดงกรอบแนวคิดการออกแบบเตาเผาก๊าซและชุดผลิตน้ำส้มควันไม้	57
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของเตาเผาก๊าซ (ก) และลักษณะของท่อชักเก็บน้ำส้มควันไม้ (ข)	57
รูปที่ 4.3 แสดงเตาเผาก๊าซแบบแนวนอนและท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ ที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันการทำเกษตรอินทรีย์ได้รับความสนใจจากกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย จากข้อมูลในระบบฐานข้อมูลการใช้สารอินทรีย์ทดแทนสารเคมีทางการเกษตร/เกษตรอินทรีย์พบว่า มีจำนวนกลุ่มเกษตรกรในระบบมากกว่า 53,720 กลุ่ม มีจำนวนเกษตรกรมากกว่า 2.5 ล้าน และมีพื้นที่ทางการเกษตรมากกว่า 52 ล้านไร่ (ศูนย์อำนวยการส่งเสริมการเกษตรอินทรีย์ สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ซึ่งในจังหวัดเพชรบูรณ์ก็มีเกษตรกรหันมาสนใจทำการเกษตรอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ ตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์โลกมีมูลค่าการซื้อขายกว่า 72,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ ในปี 2556 และมีแนวโน้มที่จะเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในตลาดเอเชียแปซิฟิกที่ประชากรมีรายได้สูงขึ้นและให้ความสนใจต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น เช่น ประเทศจีนและอินเดีย ที่เป็นผู้บริโภคผักผลไม้อินทรีย์สองอันดับแรกของโลก ส่วนสหรัฐอเมริกาตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ประกอบด้วยสินค้าเกษตรอินทรีย์หลายชนิดทั้งผลิตภัณฑ์จากนม ไปจนถึงเครื่องสำอาง ในปี 2557 ยังคงเติบโตสูงถึงร้อยละ 11.3 โดยผักและผลไม้อินทรีย์เป็นสินค้าที่มีมูลค่าซื้อขายสูงสุด (International Federation of Organic Agriculture Movement – IFOAM, 2014) ผลิตภัณฑ์สินค้าเกษตรปลอดภัยจากกระบวนการผลิตที่ปราศจากการใช้สารเคมีอันตราย จะต้องใช้สารอินทรีย์จากธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้ ตลอดจนสลายตัวได้ง่ายตามธรรมชาติ และไม่มีสารตกค้างอยู่ในสินค้าเกษตรอินทรีย์เหล่านั้น ซึ่งสามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น การหมักวัสดุจากธรรมชาติให้ได้น้ำหมักชีวภาพที่มีฤทธิ์ในการไล่แมลงหรือกำจัดโรคที่ต้องการ การสกัดร่อนหรือการสกัดเย็นเพื่อให้ได้สารสกัดชีวภาพจากพืชสมุนไพรหรือพืชบางชนิดและการผลิตน้ำส้มควันไม้จากกระบวนการไพโรไลซิสไม้เนื้อแข็งของการผลิตถ่านไม้ เป็นต้น การไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้เพื่อให้ได้ถ่าน (char coal) ในระดับชุมชนของจังหวัดเพชรบูรณ์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน เกิดขึ้นอย่างกระจัดกระจายทั่วไปตามพื้นที่ต่าง ๆ มานานแล้ว โดยหลักการของกระบวนการไพโรไลซิสเป็นการกลั่นแยกองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในชีวมวลโดยใช้ความร้อน ซึ่งการแยกสลายขององค์ประกอบของไม้โดยใช้ความร้อนทำให้ได้สารอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก เมทิลอัลกอฮอล์ และน้ำมันดิน เป็นต้น เมื่อสารอินทรีย์ในเนื้อไม้ถูกกลั่นแยกออกไปหมดแล้วสุดท้ายจะได้ถ่านเกิดขึ้นโดยทั่วไปแล้วไม้ประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 50% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 20-30% และลิกนินประมาณ 20-30% ซึ่งเซลลูโลสมีส่วนประกอบหลักคือ กลูโคส เฮมิเซลลูโลสมีส่วนประกอบจากกลีโคไซด์ (glycoside) และลิกนินซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารเอโรมาติก (aromatic compounds) จากที่

กล่าวมาการไพโรไลซิสของไม้จะเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เกิดคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิประมาณ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ และกลายเป็นถ่านสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นในกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลในแต่ละช่วงอุณหภูมิจึงทำให้ได้สารอินทรีย์จากการกลั่นสลายด้วยความร้อนออกมาต่างกัน ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรอินทรีย์ได้ เช่น การนำน้ำส้มควันไม้มาใช้เพื่อไล่แมลงหรือปราบศัตรูพืช โดยการเก็บน้ำส้มควันไม้จากกระบวนการผลิตถ่านมักจะมีสารอินทรีย์อื่น ๆ ปนออกมาด้วยอีกหลายชนิด จึงต้องทิ้งไว้ให้เกิดการตกตะกอนออกไปก่อนและในบางครั้งก็มีประสิทธิภาพในการใช้งานไม่สูงมากนัก ในอีกแง่หนึ่งหากเน้นถึงการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้สารอินทรีย์ที่ต้องการตามแต่ละช่วงอุณหภูมิเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยมีถ่านเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ ก็จะทำให้เกษตรกรได้สารอินทรีย์จากธรรมชาติที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการได้โดยตรงอย่างมีประสิทธิภาพ และมีถ่านเป็นผลพลอยได้ที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนได้อีกด้วย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อให้ได้สารอินทรีย์จากการกลั่นแยกองค์ประกอบจากชีวมวลพืชสมุนไพรด้วยความร้อนสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการทำการเกษตรอินทรีย์ต่อไป ซึ่งงานวิจัยนี้จะช่วยส่งเสริมและพัฒนาการทำเกษตรอินทรีย์ของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดเพชรบูรณ์ในด้านการใช้สารสกัดชีวภาพจากชีวมวลพืชสมุนไพรในการป้องกันศัตรูพืชและโรคพืชบางชนิด อีกทั้งทำให้เกิดการจัดการชีวมวลจากพืชสมุนไพรที่เป็นไม้เนื้อแข็งที่มีอยู่มากมายในท้องถิ่นด้วยได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเป็นประโยชน์ต่อการเกษตรอินทรีย์และผลิตพลังงานทดแทนของภาคเกษตรและอุตสาหกรรม ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาการออกแบบชุดอุปกรณ์ไพโรไลซิสจากภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับการกลั่นแยกสารสำคัญของชีวมวลจากพืชสมุนไพร
2. เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ ความชื้น และชนิดของชีวมวลจากสมุนไพรในท้องถิ่นที่มีต่อชนิดของสารสำคัญที่สกัดได้จากกระบวนการไพโรไลซิส
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบและแนวทางใช้ประโยชน์จากสารสำคัญที่สกัดได้ในการใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอินทรีย์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดอุปกรณ์ไพโรไลซิสจากภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับการกลั่นแยกสารสำคัญของชีวมวลพืชสมุนไพรที่สามารถผลิตได้ทั้งถ่านและสารสำคัญที่สกัดได้จากชีวมวลสมุนไพรในท้องถิ่น
2. ได้ข้อมูลปัจจัยของอุณหภูมิและชนิดของชีวมวลจากสมุนไพรในท้องถิ่นที่มีต่อชนิดของสารสำคัญที่สกัดได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

3. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของสารสำคัญที่สกัดได้จากสมุนไพรในท้องถิ่นจากระบวนการไพโรไลซิส
4. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลพืชสมุนไพรพร้อมทั้งได้สารสกัดที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรอินทรีย์ได้
5. กลุ่มเกษตรกร หน่วยงานภาครัฐและเอกชนหรือผู้สนใจทั่วไปได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้
6. ทำให้เกิดการจัดการวัสดุชีวมวลพืชสมุนไพรที่อยู่ในท้องถิ่นอย่างเหมาะสมในด้านการใช้สารสำคัญที่สกัดได้จากกระบวนการไพโรไลซิสในการทำเกษตรอินทรีย์ และใช้ถ่านที่ได้เป็นเชื้อเพลิง
7. ได้บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารในประเทศหรือต่างประเทศอย่างน้อย 1 เรื่อง หรือสามารถนำไปจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการคาร์บอนในเซชันและการไพโรไลซิสชีวมวลในการผลิตถ่านและการใช้พืชสมุนไพรในการขับไล่และป้องกันแมลงศัตรูพืชในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์
2. ทำการออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับสกัดสารอินทรีย์จากกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อใช้ในการเกษตรอินทรีย์
3. ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรเพื่อให้ได้สารสกัดอินทรีย์ที่สามารถนำไปใช้ในการเกษตรอินทรีย์ได้ โดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิของการไพโรไลซิสและชนิดของพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่มีผลต่อสารอินทรีย์ที่สกัดได้จากกระบวนการไพโรไลซิส
4. ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่ได้จากระบวนการไพโรไลซิส
5. ทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น
6. ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการจากการใช้งานจริง ในภาคสนามและศึกษาแนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอินทรีย์อย่างเหมาะสม
7. ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลงานวิจัยแก่ตัวแทนของกลุ่มหน่วยงานภาครัฐ วิชากิจชุมชนและเครือข่ายกลุ่มเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดเพชรบูรณ์ หรือนำเสนอในการประชุมวิชาการ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง 31 มีนาคม 2561

1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

- ห้องปฏิบัติการทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- พื้นที่สำรวจและการทดลองนำไปใช้ในเขตอำเภอเมือง อำเภอหล่มสัก และอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (biomass) หมายถึง สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหรืออินทรีย์สารต่าง ๆ เช่น ไม้ยืนต้น พืชที่มีส่วนประกอบเป็นแป้งและน้ำตาล วัชพืชบนบกและน้ำ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับเนื่องกับการเกษตร มูลสัตว์ ตลอดจนขยะอินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไป (วรรณช แจงสว่าง, 2553) ในปัจจุบัน ชีวมวลได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (biofuel) ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงเป็นการนำชีวมวลเหล่านั้นมาเผาเพื่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน ส่วนการใช้ประโยชน์ทางอ้อมเป็นการนำชีวมวลเหล่านั้นมาแปรรูปโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้หรือการหมักเพื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีทางชีวภาพ ให้ได้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านไม้ หรือแก๊สเชื้อเพลิง เช่น แก๊สชีวมวล และแก๊สชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งทำให้ได้พลังงานชีวมวล (biomass energy) ที่จัดว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณชีวมวลที่มีอยู่ประเทศไทยและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทนได้มีอยู่ในปริมาณมากทั้งจากต้น ไม้และพืชยืนต้น ตลอดจนชีวมวลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำการเกษตรกรรม เป็นต้น

2.1.1 แหล่งที่มาของชีวมวล

วัฏจักรของการผลิตชีวมวลเป็นวัฏจักรหมุนเวียนมีการเกิดขึ้นและมีการเปลี่ยนรูปของชีวมวลไปเป็นรูปแบบต่าง ๆ ตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) ของสิ่งมีชีวิต โดยพืชที่มีคลอโรฟิลล์ ซึ่งเรียกว่า ผู้ผลิต (producer organism) จะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต ชีวมวลขึ้นต้นและพลังงานของชีวมวลก็จะถูกเก็บอยู่ในพืชเหล่านั้น เมื่อมีการถ่ายโอนสารและพลังงานไปยังสิ่งมีชีวิตที่กินพืชเป็นอาหาร (herbivores) ชีวมวลก็จะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นชีวมวลที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตใหม่ที่ได้อินเข้าไปหรือบางส่วนอาจถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นสารชนิดอื่น ๆ และถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อสิ่งมีชีวิตทั้งที่เป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคลำดับสุดท้ายตายลง ผู้ย่อยสลาย (decomposer organisms) ได้แก่ จุลชีวันทั้งหลาย จะช่วยทำลายหรือย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ให้เน่าเปื่อยผุพัง จนในที่สุดจะสลายตัวเป็นธาตุอาหารและปุ๋ยสะสมเป็นแหล่งอาหาร (nutrient pool) ในดิน เพื่อให้ผู้ผลิตนำไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป ดังนั้นชีวมวลที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเชื้อเพลิงจึงอาจจำแนกตามแหล่งที่มาได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) ชีวมวลที่มาจากพืช ได้แก่ ไม้ชนิดต่าง ๆ ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง พืชวัชพืชน้ำ พืช น้ำมัน วัชพืชบกและวัชพืชน้ำ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และเศษพืชผักที่เหลือทิ้งจากบ้านเรือนหรืออุตสาหกรรม เป็นต้น

2) ชีวมวลที่มาจากสัตว์ ได้แก่ มูลสัตว์ต่าง ๆ เช่น วัว ควาย สุกร เป็ด ไก่ นก รวมถึงเศษซากของสิ่งมีชีวิตของสัตว์เหล่านั้นที่ตายลง เป็นต้น

2.1.2 การแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน

การเปลี่ยนรูปชีวมวลเพื่อให้กลายเป็นพลังงานสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ คือ กระบวนการที่นำพลังงานจากชีวมวลมาใช้โดยทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่มีอยู่ในชีวมวล และผลิตพลังงานออกมา เทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการแปรรูปชีวมวลเพื่อให้ได้เป็นพลังงานออกมามีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ การแปรรูปทางเคมีความร้อน (thermochemical conversion) และการแปรรูปทางชีวเคมี (biochemical conversion) ดังนี้

1) การแปรรูปทางเคมีความร้อน เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานจากชีวมวล ซึ่งได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง การย่อยสลายด้วยความร้อน และการแปรรูปเป็นแก๊สชีวมวล โดยการเลือกวิธีการดึงพลังงานจากชีวมวลออกมาใช้แบบใดจะขึ้นอยู่กับสถานะและลักษณะของชีวมวล โดยชีวมวลบางประเภทอาจต้องมีการแปรรูปให้เป็นแก๊สชีวมวลก่อนนำไปใช้ผลิตพลังงาน เพื่อปรับปรุงคุณภาพในเชิงองค์ประกอบทางเคมี การให้ความร้อน และมีลักษณะตามที่ต้องการที่จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม

- การเผาไหม้โดยตรง (direct combustion) เป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลโดยการเผาในที่ที่มีอากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสารอินทรีย์ในชีวมวลจะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตามปฏิกิริยาการเผาไหม้ และได้พลังงานความร้อนออกมา ชีวมวลที่นิยมใช้วิธีการนี้ได้แก่ ไม้ ฟาง หญ้า เป็นต้น โดยพลังงานของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณลักษณะของชีวมวล

- การย่อยสลายด้วยความร้อน หรือเรียกว่า การไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลโดยใช้ความร้อนในที่ที่มีปริมาณอากาศอย่างจำกัด ซึ่งจะเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของ ๆ แข็ง ของเหลว และแก๊ส การย่อยสลายด้วยความร้อนนี้เป็นกระบวนการทางเคมีแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible chemical process) ทำที่อุณหภูมิตั้งแต่ 150 °C ขึ้นไป และจะต้องป้อนอากาศในปริมาณที่จำกัด แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน (H₂) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สมีเทน (CH₄) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ของเหลือที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ ถ่าน (charcoal) และขี้เถ้า (ash) รวมถึงส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมัน น้ำ และน้ำมันดิน (tar) เป็นต้น

- การแปรรูปเป็นแก๊สชีวมวล หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แก๊สซิฟิเคชัน (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการสลายคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊ส โดยการเผาชีวมวลในอุปกรณ์ที่มีการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า แก๊สชีวมวลหรือไพโรไลเซอร์แก๊ส ซึ่งจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ โดยแก๊สชีวมวลมีองค์ประกอบ คือ แก๊ส H_2 และ CO เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็ยังมีแก๊ส CH_4 , CO และไอน้ำ ปนอยู่ด้วยบางส่วน ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนแต่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ $600\text{ }^{\circ}C$ ขึ้นไป

2) การแปรรูปทางชีวเคมี เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนรูปของชีวมวลผ่านกระบวนการทางชีวเคมีที่ต้องใช้จุลินทรีย์ในการดำเนินการ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ การย่อยสลายในที่ที่ไม่มีอากาศ ซึ่งจะได้อัตกัณท์เป็นแก๊สชีวภาพ และการหมัก ซึ่งจะได้อัตกัณท์เป็นแอลกอฮอล์

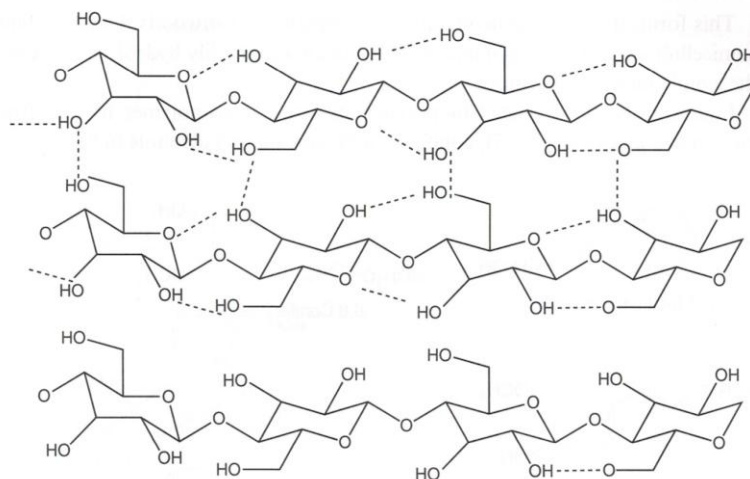
- การย่อยสลายในที่ที่ไม่มีอากาศ (anaerobic digestion) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ของชีวมวลโดยกระบวนการชีวเคมีที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยา (ไม่ใช้อากาศ) ผลิตกัณท์ที่เกิดขึ้นจะได้เป็นแก๊สชีวภาพ (biogas) ซึ่งเป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊ส CH_4 และ CO_2 โดยอาจมีแก๊สอื่น ๆ ปนอยู่ด้วยบ้าง เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรเจน (H_2) และไนโตรเจน (N_2) แก๊สชีวภาพโดยทั่วไปจะมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ 50-75% ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และสภาวะในการย่อยสลาย

- การหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบของชีวมวลโดยกระบวนการชีวเคมีเพื่อให้ได้เป็นเอทานอล (ethanol) หรือเมทานอล (methanol) ซึ่งจะมีแก๊ส CO_2 เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้นด้วย ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ได้จะมีการทำให้บริสุทธิ์ขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรง หรือการนำไปผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมเพื่อใช้ประโยชน์ได้

2.2 องค์ประกอบของชีวมวลจากไม้

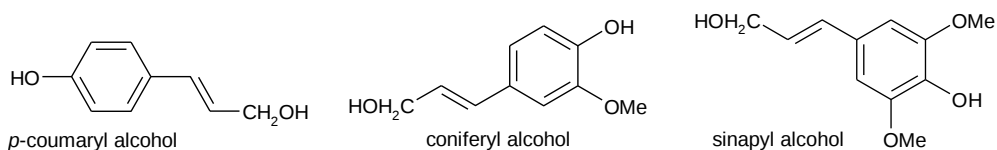
เชื้อเพลิงแข็งชีวมวลประเภทไม้ในประเทศไทยมีอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีทรัพยากรป่าไม้เป็นจำนวนมาก โดยองค์ประกอบทางเคมีในไม้ ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่

2.2.1 เซลลูโลส (cellulose) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 50-65 ของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดในต้นไม้ (plant)

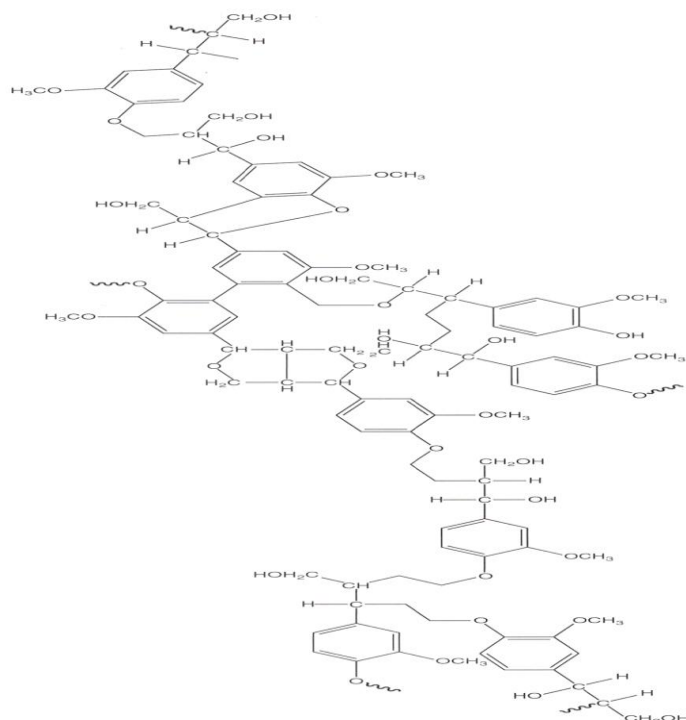


2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์อีกชนิดหนึ่ง ที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 35-50 ในผนังเซลล์ของพืชเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ระหว่างเซลลูโลสไมโครไฟบริล (cellulose microfibrils) ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง โดยปริมาณของ เฮมิเซลลูโลสเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงชนิดไม้เนื้อแข็งหรือไม้เนื้ออ่อน โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่ง บีตา (1-4) เป็นสายโซ่หลัก และอาจมีแมนโนส (mannose) กาแล็กโทส (galactose) หรือกลูโคส (glucose) มาต่อกันเป็นโซ่หลักด้วย นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลชนิดอื่น เช่น อะราบินโนส (arabinose) กรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) มาต่อกันเป็นโซ่แขนง เฮมิเซลลูโลสเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์กระเพาะเดี่ยว ละลายในสารละลายด่างเจือจาง สมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก (cation exchange) เมื่ออยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ของมนุษย์

2.2.3 ลิกนิน (lignin) เป็นไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) ในไม้ที่พบได้ในพืชเท่านั้น เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์อีกชนิดหนึ่งที่นอกเหนือจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส แต่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าพบในไม้ใบกว้าง (hardwood) ไม้ใบแคบ (softwood) และพืชล้มลุก (grasses) ในพืชใบแคบหรือไม้ตระกูลสนจะพบลิกนินประมาณ 25-30 % ส่วนในไม้ใบกว้างจะมีลิกนินประมาณ 20-25 % โมเลกุลของโคพอลิเมอร์ (copolymer) ของลิกนินจะประกอบด้วยมอนอเมอร์หลัก ๆ 3 ชนิด คือ พารา-คูมาริล (p-coumaryl) คอนิเฟอริล (coniferyl) และซินาปิลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol)



ลิกนินเป็นสารที่ทำให้พืชมีโครงสร้างแข็งแรง โมเลกุลพอลิเมอร์ของลิกนินจัดเรียงตัวกันแบบอสัณฐาน เกิดขึ้นต่อจากการฟอร์มตัวของพอลิแซ็กคาไรด์ผนังเซลล์จนกระทั่งสิ้นสุดการสร้างผนังเซลล์ ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินที่พบจากพืช เป็นดังนี้



2.2.4 สารแทรก (extractives) คือ สารที่พืชให้ออกมากเพื่อทำการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) หรือการใช้ตัวทำละลายสกัด (solvent extraction) ซึ่งมักพบอยู่ในปริมาณน้อย สารแทรกนี้จะประกอบไปด้วยสารประกอบหลากหลายชนิด เช่น ไขมัน (fats) กรดไขมันอิสระ (free fatty acids) แวกซ์ (waxes) เรซิน (resins) แทนนิน (tannins) กัมม์ (gums) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สติลเบิน (stilbenes) โทรโพลีนส์ (tropolens) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ (volatile hydrocarbons)

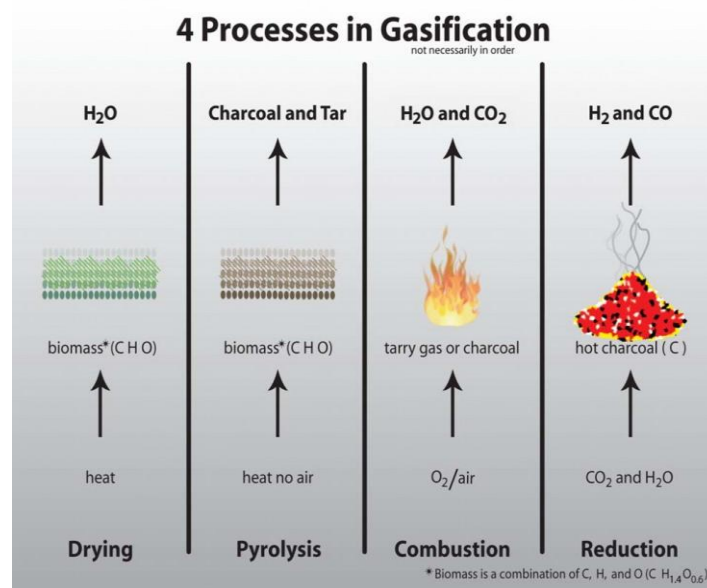
จากองค์ประกอบที่ได้กล่าวมาจึงทำให้ไม้เป็นชีวมวลที่ให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูงกว่าชีวมวลที่ได้จากพืชล้มลุก เศษหญ้า และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เนื่องจากมีลักษณะที่แข็งและแน่น โดยทั่วไปแล้วปริมาณความร้อนที่ไม้ให้จะขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ สำหรับไม้แห้งจะให้ค่าความร้อนประมาณ 19.8-21.0 MJ/ kg (HHV) และ 17-19 MJ/ kg (LHV) ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 500-1,100 kg/ m³ ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้เมื่อลิกนินจะมีค่าความร้อนของการเผาไหม้ที่สูงกว่าเซลลูโลส (26 กับ 18 MJ/ kg ตามลำดับ) โดยค่าความร้อนจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณลิกนิน

2.3 การไพโรไลซิสชีวมวล

การย่อยสลายด้วยความร้อน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลโดยใช้ความร้อนในที่ที่มีปริมาณอากาศอย่างจำกัด ซึ่งจะเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของ ๆ แฉ่ง ของเหลว และแก๊ส การย่อยสลายด้วยความร้อนนี้เป็นกระบวนการทางเคมีแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible chemical process) ทำที่อุณหภูมิตั้งแต่ 150°C ขึ้นไป โดยใช้อากาศในปริมาณที่จำกัด แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ของเหลือที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ ถ่าน (charcoal) และขี้เถ้า (ash) รวมถึงส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมัน น้ำ และน้ำมันดิน (tar) เป็นต้น โดยที่อุณหภูมิประมาณ $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$ จะเป็นช่วงของการไล่ความชื้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 275°C ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาส่วนใหญ่จะเป็นแก๊ส เช่น แก๊ส CO , CO_2 และมีกรดน้ำส้มและเมทานอลถูกกลั่นออกมา ที่ช่วงอุณหภูมิ $280\text{--}350^{\circ}\text{C}$ สารที่มีองค์ประกอบทางเคมีซับซ้อนจะถูกกลั่นออกมา เช่น คีโตน (ketone) แอลดีไฮด์ (aldehydes) ฟีนอล (phenol) และเอสเทอร์ (ester) รวมทั้งแก๊สต่าง ๆ เช่น CO , CO_2 และ CH_4 สำหรับที่อุณหภูมิสูงกว่า 350°C สารระเหยง่ายจะถูกกลั่นแยกออกมาก และมีส่วนที่เหลือคือ ถ่านกับขี้เถ้า เกิดขึ้น

2.3.1 ปฏิริยาเคมีทางความร้อนของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

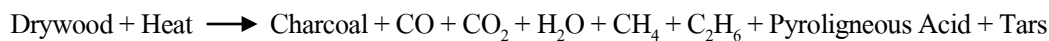
กระบวนการเกิดแก๊สชีวมวลภายในเตาเผาสามารถแบ่งโซนการเกิดแก๊สตามปฏิริยาทางเคมีและความแตกต่างของอุณหภูมิ ได้เป็น 4 โซน ได้แก่ โซนการทำให้แห้ง (drying zone) โซนไพโรไลซิส หรือโซนของการกลั่น (pyrolysis or distillation zone) โซนการเผาไหม้หรือโซนออกซิซัน (combustion or oxidation zone) และโซนรีดักชัน (reduction zone) ดังรูปที่ 2.1



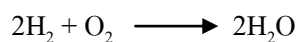
รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดแก๊สชีวมวลภายในเตาเผา
ที่มา (Fisher, Gagnon, and Sutcliffe, 2015)

2.3.1.1 โซนการทำแห้ง หรือ drying zone ในโซนนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100 – 200 °C ซึ่งอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้มีความร้อนที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหย แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะถูกความร้อนทำให้ระเหยตัวออกมาในรูปของไอน้ำ

2.3.1.2 โซนไพโรไลซิส หรือ pyrolysis zone เป็นโซนที่มีอุณหภูมิประมาณ 200 – 500 °C โดยความร้อนจากโซนการเผาไหม้และโซนรีดักชันจะแพร่เข้ามาสู่โซนนี้ทำให้เกิดการกลั่นตัวของสารอินทรีย์ในชีวมวลได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ เมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิน ส่วนแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากผ่านกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปของถ่าน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซนรีดักชันและการเผาไหม้ ปฏิกิริยาที่ได้ในโซนไพโรไลซิสเขียนแสดงได้ดังสมการ

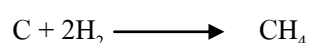
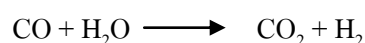
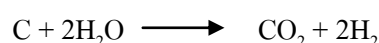
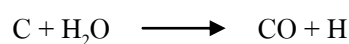
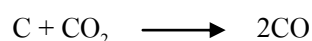


2.3.1.3 โซนการเผาไหม้ หรือ combustion zone ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ให้อากาศและเชื้อเพลิงสัมผัสผสมกัน โดยอากาศจะถูกส่งเข้ามาในโซนนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ โดยอุณหภูมิในโซนการเผาไหม้นี้อยู่ที่ประมาณ 1,100 – 1,500°C ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้นี้ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการ



เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคูดความร้อนในโซนรีดักชันและโซนไพโรไลซิสต่อไป

2.3.1.4 โซนรีดักชัน หรือ reduction zone ในส่วนนี้แก๊สร้อนที่ผ่านมาจากโซนการเผาไหม้จะไหลผ่านมายังโซนรีดักชันนี้ทำให้ในโซนนี้มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 500 – 900 °C โซนรีดักชันมีปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยารีดักชัน โดยแก๊สบางส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ซึ่งได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในโซนการเผาไหม้ จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ จากการที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเกิดปฏิกิริยาขึ้นดังนี้



2.3.2 การแก๊สซิฟิเคชันแบบไพโรไลซิส

การแก๊สซิฟิเคชันแบบไพโรไลซิส (pyrolysis gasification) จากการที่ชีวมวลมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด ดังนั้นเมื่อนำมาผลิตแก๊สชีวมวลจึงทำให้แก๊สที่ได้มีองค์ประกอบของสารระเหยสูงกว่าถ่านหิน วิธีการกลั่นสลาย (pyrolysis) จึงสามารถนำมาใช้ได้ ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเพื่อให้ได้แก๊สชีวมวลที่มีพลังงานปานกลาง โดยจะมีองค์ประกอบเป็นแก๊สมีเทน (light hydrocarbon) รวมถึงถ่านและน้ำมันจากกระบวนการผลิตอีกด้วย การแก๊สซิฟิเคชันแบบนี้แบ่งย่อยออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

1) แก๊สซิฟิเคชันแบบไพโรไลซิสช้า (slow pyrolysis gasification) เป็นวิธีการที่ใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำ ใช้อุณหภูมิปานกลาง และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานาน โดยวิธีนี้เป็นการผลิตแก๊สชีวมวลที่เกิดจากการแปรรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในถ่านและน้ำมันดินให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง แก๊สชีวมวลที่ได้จะเป็นแก๊สที่สะอาดและมีพลังงานในระดับปานกลาง ดำเนินการโดยนำถ่านไปเผาในฟลูอิดิซ์เบด (fluidized bed) ของทรายทำให้ทรายมีความร้อนสูงขึ้นและผ่านทรายร้อนนั้นไปยัง bed ที่สองซึ่งอยู่ถัดไป ทำให้เกิดการกลั่นสลายของถ่านใน bed แรกนี้ ถ่านส่วนหนึ่งใน bed ที่สองจะถูกเผาเพื่อที่จะให้ความร้อนกับไพโรไลซิสแก๊สและนำความร้อนที่ได้ใน fluidized แรก หรือป้อนความร้อนเข้าไปใหม่พร้อมกับชีวมวลเปียกความดันสูง

2) แก๊สซิฟิเคชันแบบไพโรไลซิสเร็ว (fast pyrolysis gasification) วิธีการที่ใช้อัตราการให้ความร้อนสูง (มากกว่า $1,000^{\circ}\text{C}$ ต่อวินาที) ใช้อุณหภูมิปานกลางและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้น โดยไอระเหยของโมเลกุลที่เกิดขึ้นระหว่างการกลั่นสลายนั้นสามารถที่แตกตัวให้สารโอลีฟิน (olefins) ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์สารเคมีอื่นที่เป็นประโยชน์ได้ เช่น แก๊สโซลีน เม็ดพลาสติก สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น นอกจากการผลิตแก๊สชีวมวลโดยใช้รูปแบบของกระบวนการผลิต 3 รูปแบบหลัก ๆ ข้างต้นแล้ว ยังมีการคัดแปลงและปรับปรุงกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลอีกหลายวิธี เพื่อทำให้ได้แก๊สชีวมวล และแก๊สเชื้อเพลิงใหม่ รวมถึงได้ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการได้มากกว่า เช่น การแก๊สซิฟิเคชันด้วยไฮโดรเจน (hydrogen gasification) โดยการใช้แก๊สไฮโดรเจนไปทำปฏิกิริยาในสภาวะที่มีความดันสูงซึ่งจะสามารถเปลี่ยนองค์ประกอบภายในของแก๊สชีวมวลได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือแก๊สได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของการเกิดปฏิกิริยา และการแก๊สซิฟิเคชันโดยวิธีเคมีและไฟฟ้าเคมี (chemical and electrochemical gasification) โดยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีของแก๊สชีวมวลเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจขึ้น เช่น การทำให้ปฏิกิริยารวมตัวระหว่างแก๊สชีวมวลกับแก๊สโบรมีน (Br_2) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรเจนโบรไมด์ (HBr) และแก๊ส CO จากนั้นจึงนำแก๊ส HBr ที่ได้นั้นไปทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเพื่อให้ได้แก๊ส H_2 ต่อไป

2.4 เตาเผาถ่าน

การเผาถ่านในอดีตนั้นทำได้โดยวิธีการที่เรียกว่า เตาหลุมผีหรือเตาเกลบ โดยจะขุดหลุมดินให้เป็นหลุมลึกพอประมาณ จากนั้นก็เอาไม้ฟืนไปกองไว้อย่างเป็นระเบียบแล้วก็เอาดิน ฟางข้าว ใบไม้ หรือ เกลบคลุมกลบแล้วเผาวัสดุเหล่านั้นทางด้านบน จากนั้นก็ใช้น้ำดับ ถ่านไม้ที่ได้จึงมีคุณภาพต่ำได้ปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ฟืนที่ใช้ก่อนทำการเผา และที่สำคัญคือเตาเผาประเภทนี้ไม่สามารถเผากิ่งไม้ขนาดเล็กได้ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ขึ้น ซึ่งเป็นเตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาแบบดั้งเดิม มีทั้งแบบแนวตั้งและแบบแนวนอน สร้างโดยใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร เป็นโครงสร้างหลัก การเผาถ่านอาศัยหลักการใช้ความร้อนไล่ความชื้นในเนื้อไม้ที่อยู่ภายในเตาทำให้กลายเป็นถ่าน เรียกว่า กระบวนการคาร์บอนในเซชัน (carbonization) โดยเตาเผาถ่านมีโครงสร้างลักษณะปิดทำให้สามารถควบคุมอากาศได้ดีจึงไม่สามารถลुकคิดไฟของเนื้อไม้ได้ ผลผลิตที่ได้เป็นถ่านที่มีคุณภาพสูง มีสารก่อมะเร็งต่ำ จี๊ถ่านน้อย และผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านโดยใช้เตาถัง 200 ลิตรนี้ คือ เถ้า และน้ำส้มควันไม้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ ซึ่งในด้านของวัตถุดิบและอุปกรณ์ไม้ที่นำมาเผาถ่านและเชื้อเพลิงหน้าเตา สามารถหาได้ง่าย และสามารถใช้ไม้ฟืนที่มีขนาดเล็ก ใช้เชื้อเพลิงในการเผาถ่านน้อย อุปกรณ์ประกอบเตาหาซื้อได้ตามร้านขายเครื่องก่อสร้างทั่วไป ตัวเตาดูแลรักษาได้ง่าย มีอายุการใช้งานนาน ด้านกรรมวิธีการผลิตใช้เวลาในการเผาถ่านสั้น (ภายใน 1 วันสามารถใช้แรงงานคนเดียวในการเผาไหม้ได้ตามต้องการ การเผาถ่านเกิดเป็นจี๊ถ่านน้อย) สำหรับด้านผลผลิตได้ถ่านที่มีคุณภาพสูง ถ่านที่ได้มีปริมาณน้ำมันดิน (tar) น้อย และได้ผลิตภัณฑ์นอกเหนือจากถ่านคือน้ำส้มควันไม้ ส่วนด้านการลงทุนก็มีค่าใช้จ่ายน้อย เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

2.4.1 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวนอน

เตาเผาถ่านแบบแนวนอนนี้ เป็นเตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาแบบอดีต โดยเตาประเภทนี้อาศัยความร้อนไล่ความชื้นในเนื้อไม้ที่มีอยู่ในเตา ทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน โดยโครงสร้างการออกแบบเป็นลักษณะปิดที่ทำให้สามารถควบคุมการไหลเวียนของอากาศได้ จึงไม่ลुकคิดไฟของเนื้อไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ผลผลิตที่ได้จึงเป็นถ่านที่มีคุณภาพสูง มีจี๊ถ่านน้อย และได้น้ำส้มควันไม้ออกมาเป็นผลพลอยได้



รูปที่ 2.2 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวนอน

2.4.2 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวตั้ง

เตาเผาถ่านแบบแนวตั้งนี้ เป็นเตาเผาถ่านที่ได้มีการพัฒนาระบบความร้อนหมุนเวียนแบบชีวมวลซึ่งเหมือนกับเตาอิวาเตะที่มีการจุดไฟจากด้านล่างของเตา แล้วให้ความร้อนจากการเผาไหม้ข้างล่างเป็นตัวช่วยในการหมุนเวียนภายในแล้วให้ความร้อนลอยขึ้นไปด้านบนถึง ก่อให้เกิดการกระจายความร้อนไปยังพื้นได้อย่างทั่วถึงทั้งด้านหน้าเตา ด้านหลังเตา ด้านล่างของเตา และด้านบนของเตา ซึ่งทำให้เตามีอุณหภูมิในเตาเผาประมาณ 300 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิด้านในทำให้สามารถเผาถ่านได้เร็วกว่าปกติ เป็นการเผาถ่านแบบเตาอบและไถ่ไอน้ำ สามารถทำได้แม้กระทั่งใบไม้ เศษหญ้าให้กลายเป็นถ่าน นอกจากนี้ยังทำให้ได้น้ำส้มควันไม้ด้วย ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวตั้ง

2.4.3 ขั้นตอนในการผลิตถ่านไม้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร

ในการผลิตน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเปลี่ยนสภาพจากไม้ฟืนให้กลายเป็นถ่าน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่

1) ขั้นตอนการไล่ความชื้นหรือคายความร้อน

เมื่อเริ่มจุดไฟหน้าเตาบริเวณที่อยู่หน้าเตา ใส่เชื้อเพลิงให้ความร้อนกระจายเข้าสู่เตาเพื่อไล่อากาศเย็นและความชื้นที่อยู่ในเตาและเนื้อไม้ ควันที่ออกมาจากปล่องควันจะเป็นสีขาว ควันจะมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นกลิ่นของกรดประเภทเมทานอลที่อยู่ในเนื้อไม้ อุณหภูมิบริเวณปากปล่องควันประมาณ 70-75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 150 องศาเซลเซียส เมื่อใส่เชื้อเพลิงต่อไป ควันสีขาวตรงปล่องควันจะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิบริเวณปากปล่องควันประมาณ 70-75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส ควันมีกลิ่นเหม็นฉุน

2) ขั้นตอนการทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน

เมื่อทำการเผาถ่านไปอีกระยะหนึ่ง ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 300-400 องศาเซลเซียส ไม้ที่อยู่ในเตาจะคายความร้อนที่สะสมเอาไว้เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิในเตาเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงนี้ค่อยๆ ลดการป้อนเชื้อเพลิงหน้าเตาลงจนหยุดการป้อนเชื้อเพลิงและ

เริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้ หลังจากการหยุดการป้อนเชื้อเพลิงหน้าเตา จะต้องควบคุมอากาศโดยการหรี่หน้าเตาหรือลดพื้นที่หน้าเตาเพื่อให้เหลือช่องพื้นที่หน้าเตาประมาณ 20-30 ตารางเซนติเมตร สำหรับให้อากาศเข้า เพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิในเตาไว้ให้นานที่สุด และยืระยะเวลาเก็บน้ำส้มควันไม้ให้นานที่สุด โดยช่วงที่เหมาะสมกับการเก็บน้ำส้มควันไม้คือ เมื่ออุณหภูมิบริเวณปล่องควันประมาณ 85-120 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นช่วงที่สารในเนื้อไม้ไม่ถูกขับออกมา จากนั้นควันก็จะเปลี่ยนสีไปจากเป็นควันสีเทาเป็นสีน้ำเงิน จึงหยุดการเก็บน้ำส้มควันไม้ ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณปากปล่องควันประมาณ 100-200 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส

3) ขั้นตอนทำให้ถ่านบริสุทธิ์

ในขั้นตอนนี้เป็นช่วงที่ไม้จะเปลี่ยนเป็นถ่าน ซึ่งต้องการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการเปิดหน้าเตาประมาณ 1 ใน 3 ของหน้าเตา ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เมื่อมีควันสีน้ำเงินเริ่มเปลี่ยนเป็นสีฟ้า แสดงว่าไม้เริ่มกลายสภาพเป็นถ่านใกล้หมดแล้ว จากนั้นควันสีฟ้าอ่อนจะค่อย ๆ กลายเป็นควันใสแทน ซึ่งเมื่อมีควันใสเกิดขึ้นแล้ว ให้เริ่มทำการปิดหน้าเตา โดยใช้ดินเหนียวปิดรอยรั่ว และรอยต่อ จากนั้นทำการปิดปล่องควันให้สนิทและอุดรูรั่วทั้งหมด ไม้ใช้อากาศภายนอกผ่านเข้าไปได้

4) ขั้นตอนการทำให้ถ่านในเตาเย็นลง

ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการเกลี่ยดินที่ปิดออกเพื่อระบายความร้อนในเตาเผา จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน หรือประมาณ 8 ชั่วโมง เป็นอย่างน้อย เพื่อให้ถ่านดับสนิทแล้วเริ่มการเปิดเตาแล้วเริ่มการเปิดเตา และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

การเผาถ่านประกอบด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากไม้และฟืนกลายเป็นถ่านหรือคาร์บอนที่ระดับความสูงและกระบวนการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งผลผลิตที่สำคัญระดับความรื้อยสูง และกระบวนการถ่ายโอนความร้อน ผลผลิตที่สำคัญของนอกเหนือจากถ่านไม้ประกอบด้วยความร้อน ถ่าน ถ่าน ควัน เหม่า และความชื้น (ไอน้ำ)

2.5 พืชสมุนไพร

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยพรรณพืชมากมายหลายชนิด และหลายชนิดได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างมากมาย ทั้งทางด้านการบริโภคอุปโภค การปลูกสร้างบ้านเรือน การทำกระดาษ อุตสาหกรรมต่าง ๆ ด้านการเกษตรกรรม และในการรักษาโรค เป็นต้น สำหรับในด้านการนำพืชมาใช้ในการรักษาโรครักษาไข้เจ็บต่าง ๆ ก็มีอยู่อย่างมากมายทั่วทุกภาคของประเทศไทย ในพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ได้ให้ความหมายของสมุนไพรไว้ว่า คือ ผลผลิตหรือธรรมชาติที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ที่ใช้เป็นยา หรือผสมกับสารอื่นตามตำรับยาเพื่อบำบัดโรค บำรุงร่างกาย หรือใช้เป็นยาพิษ เช่น กระเทียม น้ำผึ้ง รากดิน และในพระราชบัญญัติคุ้มครองและส่งเสริมภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย พ.ศ. 2542 ให้ความหมายของสมุนไพร คือ พืช สัตว์ จุลชีพ ธาตุ วัตถุ สารสกัดดั้งเดิมจากพืชหรือสัตว์ที่ใช้หรือแปรสภาพ หรือผสม หรือปรุงเป็นยา หรืออาหารเพื่อการ

ตรวจวินิจฉัย บำบัดรักษา หรือป้องกันโรค หรือส่งเสริมสุขภาพร่างกายของมนุษย์หรือสัตว์ และให้ความหมายรวมถึงถิ่นกำเนิดหรือถิ่นที่อยู่ของสิ่งดังกล่าวด้วย ดังนั้นจากความหมายข้างต้นจึงอาจสรุปได้ว่า สมุนไพร คือ วัตถุที่ได้จากพืช สัตว์ จุลชีพ และแร่ธาตุ ที่มีสรรพคุณในการรักษาโรค โดยใช้สารสกัดดั้งเดิมหรือใช้แปรรูปภาพ หรือผสม หรือปรุงเป็นยา สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในมนุษย์และสัตว์

2.5.1 ลักษณะของพืชสมุนไพร

ส่วนประกอบของต้นไม้ทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก และผล ส่วนของต้นไม้เหล่านี้มีรูปร่าง ลักษณะ โครงสร้างและบทบาทต่อต้นพืชที่แตกต่างกันไป โดยราก ลำต้น และใบ เป็นส่วนที่ปรุงอาหาร มีบทบาทร่วมกันในการดูดซึมอาหาร ผลิตอาหาร ลำเลียงอาหารและสะสมอาหารให้ต้นพืช ทำให้ต้นพืชได้รับอาหารเพื่อเจริญเติบโตต่อไป ส่วนของดอก ผล รวมทั้งเมล็ด เป็นส่วนที่มีบทบาทสืบพันธุ์ ทำให้ต้นพืชชนิดนั้นมีการกระจายจำนวนขยายพันธุ์ต่อไป

1) ราก คือ ส่วนที่งอกต่อจากต้นที่ยื่นลงไปในดิน ไม่แบ่งข้อและไม่แบ่งปล้อง ไม่มีใบตา และดอก หน้าที่ของรากคือ สะสมและดูดซึมอาหารมาบำรุงเลี้ยงต้นพืช นอกจากนี้ยังช่วยยึดและค้ำจุนต้นพืชอีกด้วย รากของต้นพืชหลายชนิดก็ใช้เป็นยาสมุนไพรได้ เช่น กระชาย ซึ่งลักษณะรูปร่างของรากแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบรากแก้ว และระบบรากฝอย

2) ลำต้น คือ เป็นโครงสร้างที่สำคัญของพืชปกติดินบนดินหรืออาจมีบางส่วนอยู่ใต้ดิน มี ข้อ ปล้อง ใบ หน่อ และดอก หน้าที่ของลำต้นคือช่วยลำเลียงอาหาร ค้ำจุนและสะสมอาหารให้ต้นพืช ลำต้นของต้นไม้หลายชนิดเป็นยาสมุนไพร เช่น จั๊กเหล็ก แคบ้าน บอระเพ็ด ตะไคร้ มะขาม เป็นต้น รูปร่างและลักษณะของลำต้นแบ่งได้เป็น 3 ส่วน หรือ ตา ข้อและปล้อง บริเวณเหล่านี้จะมีกิ่ง ก้าน ใบ และดอก เกิดขึ้น ทำให้ต้นพืชแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยชนิดของลำต้นแบ่งตามลักษณะภายนอกของลำต้นได้เป็น

ก) ประเภทไม้ยืนต้น เป็นไม้ที่ขึ้นตรงและสูงใหญ่ มีเนื้อไม้ค่อนข้างแข็ง มีลำต้นชัดเจน แบ่งกิ่งก้านแยกออกไป เช่น อบเชย มะกา ยอ กล้วย เป็นต้น

ข) ประเภทไม้พุ่ม เป็นไม้ที่มีลำต้นไม่ชัดเจน สามารถแบ่งกิ่งไม้ได้ตั้งแต่ส่วนโคนของลำต้นเป็นต้นไป เช่น ทองพันชั่ง มะนาว ชุมเห็ดเทศ และขลุ่ย เป็นต้น

ค) ประเภทหญ้า มีต้นลักษณะเช่นเดียวกับพวกหญ้า ใบมีลักษณะอ่อนเหนียว เช่น เหงือกหมู หญ้าคา เป็นต้น

ง) ประเภทไม้เลื้อย มีก้านยาวและสามารถตั้งตรงได้ มีลักษณะเลื้อยพันคดเคี้ยวไปโดยใช้ส่วนของพืชเกาะ เช่น หนวด หนาม เนื้อไม้ของลำต้นบางชนิดแข็ง และบางชนิดก็อ่อนเช่นเดียวกับหญ้า เช่น พักทอง บอระเพ็ด มะแว้งเครือ และเล็กมือนาง เป็นต้น

3) ใบ คือ ส่วนประกอบที่สำคัญของต้นพืช มีหน้าที่สังเคราะห์แสง ผลิตอาหาร และเป็นส่วนแลกเปลี่ยนน้ำและอากาศของต้นพืช ใบเกิดจากด้านนอกของกิ่งหรือตาดิ่ง ลักษณะที่พบ

โดยทั่วไปเป็นแผ่นที่มีสีเขียว (จากสารประกอบคลอโรฟิลล์) ใบของพืชหลายชนิดใช้เป็นยาสมุนไพรได้ เช่น มะกา ฟาทะลายโจร กระเพรา ชุมเห็ดเทศ และฝรั่ง เป็นต้น รูปร่างและลักษณะของใบที่สมบูรณ์มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ดั้วใบ ก้านใบและหูใบ สำหรับชนิดของใบแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบใบเดี่ยว ที่ก้านใบอันหนึ่งมีเพียงใบเดียว เช่น กระจวาน กานพลู และขมิ้น เป็นต้น และอีกแบบหนึ่งคือแบบใบประกอบ ที่มีใบตั้งแต่ 2 ใบ ขึ้นไปที่เกิดขึ้นบนก้านใบอันเดียว เช่น แคบ้าน จี่เหล็ก

4) ดอก คือ ส่วนที่สำคัญในการแพร่พันธุ์ของพืช เป็นลักษณะเด่นพิเศษของต้นไม้แต่ละชนิด ส่วนประกอบของดอกมีความแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ไม้ และลักษณะที่ต่างกันนี้ใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการจำแนกประเภทของต้นไม้ ดอกของต้นไม้หลายชนิดใช้เป็นยาได้ เช่น กานพลู ชุมเห็ดเทศ ลำโพง พิกุล และดอกคำฝอย เป็นต้น โดยรูปร่างและลักษณะของดอก มีส่วนประกอบสำคัญ 5 ส่วน คือ ก้านดอก กลีบรอง กลีบดอก เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ซึ่งดอกที่มีส่วนประกอบครบทั้ง 5 ส่วนนี้ เรียกว่า ดอกสมบูรณ์

5) ผล คือ ส่วนของพืชที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ในดอกเดียวกัน หรือคนละดอกก็ได้ มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช มีผลของต้นไม้บางอย่างเป็นยาได้ เช่น มะเกลือ ดิปลี มะแว้งต้น และกระจวาน เป็นต้น โดยรูปร่างและลักษณะของผล มีมากมายหลายอย่างตามชนิดของต้นไม้ที่ต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดของผลได้เป็น ผลเดี่ยว ผลกลุ่ม และผลรวม

2.5.2 สารประกอบทางเคมีในพืชสมุนไพร

สารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในพืชสมุนไพรสามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ primary metabolite และ secondary metabolite (สุนทรี สิงหนุตตรา, 2535) ดังนี้

1) Primary Metabolite เป็นสารที่มีอยู่ในพืชชั้นสูงทั่วไป พบในพืชทุกชนิด เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เม็ดสี (pigment) และเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) เป็นต้น

2) Secondary Metabolite เป็นสารประกอบที่ลักษณะค่อนข้างพิเศษ พบต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด คาดหมายว่าเกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ (biosynthesis) ที่มีเอนไซม์เข้าร่วมในกระบวนการนั้นๆ ด้วย สารประกอบประเภทนี้มีอัลคาลอยด์ (alkaloid) แอนทราควิโนน (anthraquinone) น้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นต้น ส่วนใหญ่สารพวก secondary metabolite จะมีสรรพคุณทางยา แต่ก็ไม่ได้แน่นอนเสมอไป ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารพวก primary metabolite บางตัวก็สามารถออกฤทธิ์ในการรักษาโรคได้เช่นกัน และยังมีข้อสังเกตอีกว่าสารประกอบที่มีฤทธิ์ทางยาในพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง อาจมีใช้ตัวเดียวกัน แต่อาจมีหลายตัวก็ได้ ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้อง จึงจะสามารถสกัดสารที่มีฤทธิ์ทางยาออกมาใช้ได้

2.5.3 ประโยชน์ของพืชสมุนไพร

ในปัจจุบันการนำสมุนไพรมาใช้ประโยชน์ทั้งการนำมาใช้โดยตรงและการนำมาแปรรูปหรือนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีรูปแบบวิธีการใช้ที่สะดวก และมีความปลอดภัยมากขึ้น ดังนั้นประโยชน์ของพืชสมุนไพรจึงมีอยู่อย่างมากมาย โดยประโยชน์ของพืชสมุนไพรในด้านต่างๆ สรุปได้ดังนี้ (สุภาภรณ์ ปิณฑิร, 2551)

- 1) ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยสมุนไพรในกลุ่มนี้เป็นพวกที่มีน้ำมันหอมระเหยอยู่ในตัว สามารถนำมาสกัดโดยวิธีนำมากลั่น ซึ่งจะมีกลิ่นและปริมาณที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของสมุนไพร ซึ่งสมุนไพรที่มีน้ำมันหอมระเหยที่รู้จักกันดี ได้แก่ ตะไคร้หอม น้ำมันตะไคร้หอม นำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ แชมพู น้ำหอม และสารไล่แมลง ไล่พล น้ำมันไพลใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมทาภายนอก ลดการอักเสบฟกช้ำ กระจวน น้ำมันกระจวนใช้แต่งกลิ่นเกล้า เครื่องดื่มต่างๆ และอุตสาหกรรมน้ำหอม พญู น้ำมันพญู ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางหรือเจลทาภายนอก แก้อาการคัน
- 2) ใช้เป็นยารับประทาน มีสมุนไพรหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้รับประทานเพื่อรักษาอาการของโรคต่าง ๆ
- 3) ใช้เป็นยาทาภายนอก เป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณบำบัดโรคที่เกิดตามผิวหนัง รวมทั้งแผลที่เกิดในช่องปาก
- 4) ใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร และเครื่องดื่ม เป็นเครื่องดื่มที่สกัดจากธรรมชาติที่ยังให้ประโยชน์ในการรักษาโรคควบคู่ไปด้วย
- 5) ใช้ทำเครื่องสำอาง มีสมุนไพรหลายชนิดในปัจจุบันที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง และได้รับความนิยมอย่างดีเนื่องจากผู้ใช้นั้นใจว่าปลอดภัยมากกว่าการใช้สารเคมี ได้แก่ ว่านหางจระเข้ อัญชัน ประคำดีควาย โดยใช้เป็นส่วนผสมของแชมพู ครีมนวดผม สบู่ โลชั่นบำรุงผิว
- 6) ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช มักเป็นสมุนไพรจำพวกที่มีฤทธิ์เบื่อเมาหรือมีรสขม ข้อดีคือ ไม่มีฤทธิ์ตกค้างที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 7) ใช้บริโภคเป็นอาหาร และเครื่องเทศ สมุนไพรในกลุ่มนี้จัดว่าเป็นพืชผักสมุนไพรนั่นเอง โดยสามารถนำมารับประทานให้คุณค่าทางอาหาร เพิ่มรสชาติ ดับกลิ่นคาว และยังช่วยย่อยอาหาร ได้แก่ กระเพรา โหระพา แมงลัก ผักชี สะระแหน่ ขิง ข่า ตะไคร้ เป็นต้น
- 8) ปลอดภัย สมุนไพรส่วนมากมีฤทธิ์อ่อน ไม่เป็นพิษหรือมีอาการข้างเคียงมาก แตกต่างกับยาแผนปัจจุบันที่บางครั้งจะมีฤทธิ์เฉียบพลันถ้าบริโภคเกินขนาดเพียงเล็กน้อยอาจเสียชีวิตได้
- 9) ประหยัด ราคาของสมุนไพรถูกกว่ายาแผนปัจจุบันมาก เนื่องจากเป็นทรัพยากรที่มีอยู่แล้วจึงควรอย่างยิ่งที่เราจะนำมาใช้เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ทั้งยังช่วยลดดุลการค้าที่เสียเปรียบต่างประเทศ สอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจของชาติ
- 10) เหมาะสำหรับผู้ที่อยู่ห่างไกล คนไข้ที่อยู่ตามชนบท บางครั้งไม่สามารถมารับบริการจากสถานบริการทางการแพทย์แผนปัจจุบันได้ จึงควรใช้สมุนไพรที่เชื่อถือได้และปลอดภัยรักษาโรค

11) ไม่ต้องกลัวปัญหาขาดแคลนยา ปัจจุบันมียาหลายตัวที่ทำมาจากวัตถุดิบที่ได้จากผลผลิตของน้ำมัน ซึ่งปัจจุบันน้ำมันเริ่มหายากและขาดแคลน ทำให้ทุกสิ่งทุกอย่างถูกกระทบกระเทือนรวมไปถึงการรักษาโรค จึงต้องหันมาศึกษาเกี่ยวกับยาสมุนไพรและนำมาใช้ใช้เป็นประโยชน์มากขึ้น

12) เป็นพืชเศรษฐกิจ ควรส่งเสริมให้มีการปลูกสมุนไพรที่ใช้ในประเทศ และเพื่อการส่งออกอย่างจริงจัง และต้องคำนึงถึงผลผลิตที่มีคุณภาพดี และต้นทุนต่ำสำหรับการส่งออกในรูปแบบของสารสกัด จะทำให้ได้ราคาดีกว่าการส่งออกในรูปแบบของวัตถุดิบโดยตรง

2.5.4 ตัวอย่างพืชสมุนไพร

ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์มีพืชสมุนไพรยืนต้นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการนำมาบริโภค การนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการปลูกเพื่อตกแต่งสถานที่บ้านเรือนให้มีสภาพแวดล้อมที่สวยงาม นอกจากนี้แล้วคุณประโยชน์ของพืชสมุนไพรยืนต้นยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการรักษาโรค การขับไล่แมลง และการเกษตรอื่นๆ ได้อีกด้วย โดยตัวอย่างพืชสมุนไพรในท้องถิ่นแสดงดังภาพที่ 2.4

				
ไมยราบ	ไผ่	มะขาม	สะเดา	กระถิน
				
ยูคาลิปตัส	แคนา	อินทนิลน้ำ	มันสำปะหลัง	ลีลาวดี

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของพืชสมุนไพรยืนต้น

1) ไมยราบ

ชื่อไทย	ไมยราบ
ชื่อสามัญ	Sensitive plant, Sleeping grass, Shameplant
ชื่อวิทยาศาสตร์	Minosa pudica Linn
วงศ์	MINOSACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เป็นไม้ยืนต้น ขนาดใหญ่ ลำต้นมีหนาม สีน้ำตาล เรียวยาว ใบจัดเป็นใบประกอบแบบขนนก 2 ชั้น แกนกลางรวมกับก้านใบ มีความยาวประมาณ 2.5-5 เซนติเมตร ส่วนใบย่อยมี 1-2 ใบ มีความยาวประมาณ 1.5-7 เซนติเมตร เวลาสัมผัสจะยุบลง ดอกมีสีขาวอมชมพู เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกคู่ ออกที่บริเวณซอกใบ
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ทั้งหมด ราก ลำต้น ใบ และดอก
สรรพคุณ	ยาฟาด รักษาฝีของ ดันแห่งนำมาต้มกับน้ำกินช่วยแก้อาการอ่อนเพลียได้ ช่วยแก้เบาหวาน ลดระดับน้ำตาลในเลือด บำรุงกระเพาะอาหาร ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้ ช่วยขับโลหิต เป็นต้น

2) ไผ่

ชื่อไทย	ไผ่
ชื่อสามัญ	Bamboo
ชื่อวิทยาศาสตร์	Bambusa sp.
วงศ์	GRAMINEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	มีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้า ส่วนโคนของลำต้นเหนือดินจะใหญ่และค่อยๆ เรียวไปยังส่วนปลายของลำต้น หน่อใหม่จะเจริญออกมาจากตาข้างหรือตาของเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ลำต้นเป็นกอ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นขึ้นอยู่กับชนิดของไผ่ (ประมาณ 0.5-20 cm) ลักษณะเป็นกลม มีข้อปล้องตามลำต้น ใบเรียวยาวแหลมมีสีเขียวอ่อนประกอบด้วยส่วนของแผ่นใบ กาบใบ ลิ้นใบ และเยื่อใบ ซึ่งมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของไผ่ ออกดอกเป็นช่อดอกย่อย
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ลำต้น หน่อไม้
สรรพคุณ	ใช้เป็นอุปกรณ์ในการต้มยา ใช้นวดหัวฝีช้าง

3) มะขาม

ชื่อไทย	มะขาม
ชื่อสามัญ	Tamarind
ชื่อวิทยาศาสตร์	Tamarindus indica Linn.
วงศ์	CAESALPINIOIDEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ เปลือกต้นหนาขรุขระ ใบประกอบด้วยใบย่อย เรียวกัน 10-15 คู่ บนก้านกลางใบ ดอกเล็กสีเหลืองส้ม มีจุดประสีแดง ออกเป็นช่อ ฝักมีเปลือกค่อนข้างแข็งแต่บางและเปราะ เนื้อในมีทั้ง ชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน เมล็ดแก่สีน้ำตาลไหม้
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ผล เปลือก
สรรพคุณ	ใช้รักษาอาการอ่อนเพลียจากการทำงาน ท้องผูก เล็บขบ เล็บเปื่อย

4) สะเดา

ชื่อไทย	สะเดา
ชื่อสามัญ	Siamese neem tree
ชื่อวิทยาศาสตร์	Azadirachta indica A.
วงศ์	MELIACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	ไม้ต้นสูง 5-10 เมตร เปลือกต้นแตกเป็นร่องลึกตามยาว ใบประกอบ แบบขนนกออกเรียงสลับรูปใบหอก กว้าง 3-4 ซม. ยาว 4-8 ซม. แผ่น ใบเรียบ สีเขียวเป็นมัน ดอกสีขาวนวล ผลอ่อนสีเขียว สุกเป็นสีเหลือง ส้ม เมล็ดเดี่ยว รูปรี
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ดอกช่ออ่อน ขนอ่อน ยอด เปลือก ก้านใบ กระพี้ ขาง แก่น ราก ใบ ผล ต้น เปลือก ราก น้ำมันจากเมล็ด
สรรพคุณ	ดอกช่ออ่อน แก้พิษโลหิต เปลือกต้น แก้ไข้ แก้ท้องเดิน เจริญอาหาร ใบผล ใช้เป็นยาฆ่าแมลง บำรุงธาตุ ผลมีสารรสขม ใช้เป็นยาถ่ายพยาธิ ยาระบาย แก้โรคหัวใจเดินผิดปกติ น้ำมันจากเมล็ด ใช้รักษาโรคผิวหนัง และยาฆ่าแมลง

5) กระถิน

ชื่อไทย	กระถิน
ชื่อสามัญ	White popinac, Wild tamarind, Leadtree
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
วงศ์	LEGUMINOSAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เป็นไม้ยืนต้นขนาดย่อม ขึ้นได้ง่ายทั่วไป ทนแล้งได้ดี ไม่ชอบน้ำท่วมขัง ใบเป็นประกอบขนาดเล็กเป็นฝอย ดอกสีขาวกลมโตเท่าผลพุทรา เป็นฝอยนุ่ม กลิ่นหอมเล็กน้อย ฝักออกเป็นช่อแบนยาว เมล็ดเป็นจุกๆ ตลอดฝัก
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ราก ต้น เปลือก ใบ ดอก
สรรพคุณ	รากช่วยขับระดูขาว ขับลม ต้นและเปลือกใช้สมานแผล ห้ามเลือด แก้ท้องร่วง อาเจียน ใบใช้บำรุงร่างกาย ขับพยาธิ ดอกใช้บำรุงตับ รักษาตับพิการ แก้เกล็ดกระดี่ขึ้นตา

6) ยูคาลิปตัส

ชื่อไทย	ยูคาลิปตัส
ชื่อสามัญ	Eucalyptus
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.
วงศ์	MYRTACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่ สูง 24-30 เมตร ไม่ผลัดใบ เป็นพันธุ์ไม้โตเร็ว ลำต้นเปลาตรงมีกิ่งก้านน้อย ใบเดี่ยวเรียงเวียนสลับ ใบรูปหอกหรือรูปขอบขนานแกมหอก ดอกมีขนาดเล็กออกตามง่ามใบใกล้ปลายกิ่ง เป็นช่อขนาดเล็กสีขาวไม่มีกลิ่น ผลเป็นแบบแห้งแล้วแตกอามีขนาดเล็ก ภายในมีเมล็ดขนาดเล็กมาก
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ใบ ราก
สรรพคุณ	ใบมีน้ำมันยูคาลิปตัส ใช้สูดดมแก้หวัดคัดจมูก ทาถูนิ้ว แก้ปวด บวม ช้ำ รากใช้รากอ่อนฝนกับน้ำหรือเอ็กวินิกินสดๆ แก้ไอ

7) แคนา

ชื่อไทย	แคนา
ชื่อสามัญ	D.longissima Schum D.rheedii Seem.
ชื่อวิทยาศาสตร์	Dolichandrone serrulata (DC.) Seem.
วงศ์	BIGNONIACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	ลำต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สูงได้ถึง 10-20 เมตร ผลัดใบ เปลือกลำต้นสีน้ำตาลอ่อนอมเทาอาจมีจุดดำประ ผิวเรียบ ลำต้นตรง มักแตกกิ่งต่ำ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียว ปลายคี่ออกตรงข้าม 3-5 คู่ รูปไข่แกมขอบขนานปลายแหลม ดอกเป็นช่อแบบช่อกระจุกสั้น ดอกใหญ่รูปแตร สีขาวออก ตามปลายกิ่งยาว 2-3 ซม. ผลเป็นฝักช่อละ 3-4 ฝักแบนรูปขอบขนาน โคน บิดเป็นเกลียวยาว 40-60 ซม.
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ราก เปลือกต้น ใบ ดอก และเมล็ด
สรรพคุณ	รากมีรสหวานเย็น แก้เสมหะและลม บำรุงโลหิต เปลือกต้นมีรสหวานเย็น แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ ใบมีรสเย็นใช้ตำพอกแผล ดอกมีรสหวานเย็น ใช้ขับเสมหะ โลหิตและลม เมล็ดรสหวานเย็น แก้อาการปวดประสาท แก้โรคชัก

8) อินทนิลน้ำ

ชื่อไทย	อินทนิลน้ำ
ชื่อสามัญ	Queen's crape myrtle, Pride of India
ชื่อวิทยาศาสตร์	Lagerstroemia speciosa (L.) Pers.
วงศ์	LYTHRACAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เป็นไม้ยืนต้น ความสูงประมาณ 10-20 เมตร มีกิ่งใหญ่แตกจากลำต้นสูง แผลกว้าง เป็นพุ่มเหมือนร่ม เปลือกมีสีเทาหรือสีน้ำตาลอ่อนค่อนข้างเรียบ ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยว ทรงใบเป็นรูปขอบขนาน กว้าง 5-8 ซม. ยาว 11-25 ซม. ปลายใบลักษณะเรียวแหลม ขอบใบเรียบ ก้านใบยาวประมาณ 1 ซม. ไม่มีขน ลักษณะของดอกมีสีม่วงสดอมชมพูเป็นช่อ สวยงาม
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ใบ เปลือก ราก และเมล็ด
สรรพคุณ	รักษาโรคเบาหวาน ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยลดไขมันและลดความดันโลหิต

9) มันสำปะหลัง

ชื่อไทย	มันสำปะหลัง
ชื่อสามัญ	Cassava
ชื่อวิทยาศาสตร์	Manihot esculenta Crantz
วงศ์	EUPHORBIACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	ต้นเป็นไม้พุ่ม มีรากสะสมอาหารเป็นหัวยาว ลำต้นเปราะ ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงเวียน หยักเป็นแฉกลึก 3-7 แฉก แต่ละแฉกรูปหอกหรือรูปใบหอกแกมรูปแถบ ปลายใบเรียวแหลมกว้าง 1-1.5 ซม. มีดอกออกมีปลายกิ่งหรือซอกใบใกล้ปลายกิ่ง ช่อดอกแบบช่อกระจุกหรือช่อแยกแขนง กลีบเลี้ยงเชื่อมติดกันเป็นรูปประมง หยักเป็นกลีบ 5 กลีบ ผลรูปทรงกลมเป็นสันหรือปึกสั้นๆ 6 ปีก
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	รากหรือหัว ใบอ่อน
สรรพคุณ	ส่วนของรากหรือหัวเมื่อนำมาใช้ปรุงเป็นอาหารจะช่วยลดคอเลสเตอรอลได้ ใบอ่อนนำมาต้มให้สุกให้รับประทานช่วยแก้โรคขาดวิตามินบี 1 ได้

10) ลีลาวดี

ชื่อไทย	ลีลาวดี (ลั่นทม)
ชื่อสามัญ	Frangipani, Pagoda tree, Temple tree
ชื่อวิทยาศาสตร์	Plumeria spp'
วงศ์	APOCYNACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เป็น ไม้ยืนต้นสูงประมาณ 1.2- 12 เมตร ลำต้นแตกกิ่งก้านสาขาและพุ่มใบสวยงาม มียางสีขาวข้น เปลือกลำต้นหนา ใบเป็นใบเดี่ยว มีการเรียงตัวแบบสลับและหนาแน่นใกล้ปลายกิ่ง ใบหนาเหนียวแข็ง สีเขียวอ่อนจนถึงเขียวเข้ม มีเส้นกลางใบแตกสาขาออกไปคล้ายขนนก ดอกจะผลิออกมาจากปลายยอดเหนือใบ เห็นเป็นช่อใหญ่สวยงาม บางชนิดออกช่อดอกระหว่างใบหรือใต้ใบ ในหนึ่งช่อจะมีดอกบานพร้อมกัน 10-30 ดอก
ส่วนที่นำมาใช้รักษา	ต้น ใบ เปลือก ราก เปลือกต้น ดอก เนื้อไม้ ยางจากต้น
สรรพคุณ	ต้นใช้ปรุงเป็นยารักษาโรคไข้พิษการของเมา ใบสดคนไฟประคบร้อนแก้ปวดบวม ใบแห้งชงน้ำร้อนดื่มรักษาโรคหอบหืด เปลือก ราก และเปลือกต้นใช้เป็นยาถ่าย ขับลม ขับปัสสาวะ ดอกใช้ทำรูป ใช้ผสมกับพลูเป็นยาแก้ไข้ เนื้อไม้เป็นยาแก้ไข้ ยาถ่าย ขับพยาธิ ยางจากต้นเป็นยาถ่ายรักษาโรคไขข้ออักเสบ

2.6 น้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) เป็นของเหลวสีน้ำตาลใส มีกลิ่นควันไฟ ได้มาจากการควบแน่น (condensation) จากการไพโรไลซิสไม้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) หรือมักรู้จักกันทั่วไปว่าเป็นกระบวนการผลิตถ่านจากไม้ ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนสภาพกลายเป็นถ่าน (carbonization) อุณหภูมิภายในเตาอยู่ระหว่าง 300-400 °C ซึ่งสารประกอบต่าง ๆ ในไม้พื้นจะถูกสลายตัวด้วยความร้อน (pyrolysis) เกิดเป็นสารประกอบใหม่ๆ มากมาย แต่หากทำการเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงที่มีอุณหภูมิในเตาต่ำกว่า 300 °C แม้ว่าเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) จะเกิดการสลายตัวแล้ว และเซลลูโลสกำลังจะเริ่มสลายตัว แต่ก็จะมีสารประกอบที่มีประโยชน์น้อยมากไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และหากทำการเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 425 °C ซึ่งน้ำมันดินจะเกิดการสลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ เบนโซไพรีน (benzapyrene) และไดเบนแซนทราซีนเมเนทิลคลอลินส-รีน (dibenzanthracenementyl cholinsrene) ถึงแม้ว่าสารดังกล่าวสามารถกำจัดออกไปได้ง่ายเมื่อนำมากลั่นซ้ำที่อุณหภูมิ 60-70 °C แต่การนำมากลั่นซ้ำจะทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบบางอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร สมามคนน้ำส้มควันไม้แห่งประเทศไทยซึ่งเป็นคนกลางในการซื้อขายน้ำส้มควันไม้จึงได้ตั้งเกณฑ์มาตรฐานของการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากเตาอิวาเตะ (iwate) ไว้โดยการวัดอุณหภูมิที่ปากปล่องควันระหว่าง 80-150 °C ซึ่งจะมีอุณหภูมิภายในเตาอยู่ระหว่าง 300-400 °C สำหรับการเก็บน้ำส้มควันไม้สามารถเก็บได้โดยอาศัยเครื่องมือง่ายๆ โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิสูงสู่อากาศรอบปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความชื้นในควันก็จะควบแน่นเป็นหยดน้ำ เมื่อนำมารวบรวมและทำให้บริสุทธิ์ขึ้นก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุดสำคัญของการเก็บน้ำส้มควันไม้คือ ต้องให้ปล่องดักควันอยู่ห่างจากปากปล่องควันของเตาผลิตถ่าน 20-30 cm หากทั้งสองส่วนเชื่อมต่อกันโดยตรงจะเท่ากับเป็นการต่อความยาวให้กับปล่องควันของเตา ซึ่งจะมีผลกระทบไปถึงการไหลเวียนของอากาศภายในเตา และส่งผลกระทบต่อคุณภาพและผลผลิตของถ่านไม้ด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ดักน้ำส้มควันไม้ต้องทำจากวัสดุทนกรด เช่น เหล็กไร้สนิม ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นหากต้องการเก็บน้ำส้มควันไม้จากเตาผลิตถ่านที่มีปล่องควันหลายจุดก็ต้องลงทุนสูงกว่าเตาผลิตถ่านที่มีปล่องควันจุดเดียว เช่น เตาอิวาเตะ โดยผลผลิตของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเก็บโดยการระบายความร้อนด้วยอากาศจะได้ประมาณ 8% ของน้ำหนักไม้พื้น เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก็จะเหลือผลผลิตเพียงประมาณ 5% ดังนั้นหากต้องการเพิ่มผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นโดยอาจได้ถึงประมาณ 15% ก็ต้องมีการระบายความร้อนจากสารที่ใช้หล่อเย็นซึ่งอาจใช้น้ำหรืออากาศ

น้ำส้มควันไม้เป็นผลผลิตหนึ่งที่ได้จากการเผาถ่าน โดยทั่วไปไม้สดที่ตัดทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน ก่อนนำเข้าเตาหนัก 100 กิโลกรัม เมื่อเผาแล้วจะได้ถ่านประมาณ 20 กิโลกรัม และได้น้ำส้มควันไม้ดิบประมาณ 8 กิโลกรัม ซึ่งน้ำส้มควันไม้จัดว่าเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านไม้ มีลักษณะเป็นของเหลวสีชา มีกลิ่นฉุนของควันไฟ มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ๆ การเก็บน้ำส้มควันไม้นั้นควรเก็บในช่วงอุณหภูมิปากปล่องควันประมาณ 80-85 °C ซึ่งช่วงอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ที่ประมาณ 300-400 °C โดย

หากเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะได้สารประกอบที่มีประโยชน์น้อย และหากเก็บควันในช่วงที่มีอุณหภูมิเกิน 425 °C น้ำมันดินหรือน้ำมันทาร์ (tar) จะเกิดการสลายตัวได้เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งได้ ดังนั้นช่วงอุณหภูมิของการเก็บน้ำส้มควันไม้จึงเป็นสิ่งที่สำคัญและมีผลต่อคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ ซึ่งการเก็บน้ำส้มควันไม้ให้มีคุณภาพดีสามารถทำได้โดยเริ่มจากสิ่งแรกคือกระบวนการเผาเริ่มต้น ต่อมาคือหลังจากเกิดควันเป็นจำนวนมากพุ่งออกจากปลายปล่องอย่างแรงหรือมักเรียกกันทั่วไปว่าควันบ้านนั้น ให้หยุดใส่เชื้อเพลิง สังเกตดูว่าเมื่อควันเป็นสีเหลืองนุ่นเก่า ๆ และมีกลิ่นฉุนจัดออกมาจึงเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ ซึ่งมีเทคนิคง่าย ๆ คือ เอาจานกระเบื้องหรือเศษกระเบื้องเคลือบสีขาวมาปิดที่ปากปล่องสักครู่ เมื่อเปิดดูพบว่ามิหยดน้ำใสสีน้ำตาลที่ผ่านกระเบื้องแล้วก็แสดงว่าสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้แล้ว โดยการเผาถ่านแต่ละครั้งสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ประมาณ 3-4 ชั่วโมง เมื่อควันน้ำส้มหมดไปเปลี่ยนเป็นควันใสให้หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ หรือเอากระเบื้องสีขาวมาปิดปากปล่องอีกครั้ง หากมีจัดสีน้ำตาลเข้มเหนียวเกาะติดอยู่ แสดงว่ามีน้ำมันดินออกมามาก สารที่มีประโยชน์หมดแล้ว ให้หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ได้

สำหรับน้ำส้มควันไม้ที่พึ่งได้จากเตาเผาถ่านนั้นยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ทันที ต้องทำให้บริสุทธิ์เสียก่อนโดยการปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน โดยการนำน้ำส้มควันไม้ที่ได้ไปเก็บไว้ในภาชนะถึงทรงสูง หรือขวดน้ำ หรือภาชนะที่ไม่ใช่โลหะ มีความสูงมากกว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า ทิ้งไว้ประมาณ 90 วัน น้ำส้มควันไม้ก็จะตกตะกอนแยกเป็น 3 ชั้น โดยชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมันเบา (light oil) มีปริมาณบาง ๆ บริเวณชั้นผิวหน้า ของเหลวชั้นกลางจะมีปริมาณมากที่สุดเป็นของเหลวใสสีขาว คือน้ำส้มควันไม้ และชั้นล่างสุดเป็นของเหลวสีขุ่นดำ คือน้ำมันดิน หลังจากตกตะกอนจนครบกำหนดแล้ว ให้นำน้ำส้มควันไม้มากรองซ้ำอีกครั้งด้วยผ้ากรอง ก็จะสามารนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งน้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ ต้องมีน้ำมันดินไม่เกิน 1% ซึ่งสามารถตรวจสอบดูได้โดยดูจากความใส ถ้าหากมีน้ำมันดินเกิน 1% น้ำส้มควันไม้จะขุ่นและมีสีดำ น้ำส้มควันไม้ที่ดีจะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีขาว หรือน้ำตาลแดง แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ หลังแยกน้ำมันดินออกแล้วจะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีขาว ถ้าไม่ทิ้งให้ตกตะกอนเมื่อนำไปฉีดพ่น น้ำมันดินจะไปปิดปากใบของพืชและเกาะติดรากพืชทำให้พืชโตช้าหรือตายได้

2.6.1 องค์ประกอบหลักในน้ำส้มควันไม้

องค์ประกอบหลักทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่สำคัญได้แก่ น้ำ กรดฟอร์มิก (formic acid) หรือกรดเมทิล กรดแอซิดิก (acetic acid) หรือกรดน้ำส้ม ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ฟีนอล (phenol) และสารอินทรีย์อื่น ๆ มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช สารประกอบอินทรีย์ในน้ำส้มควันไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย มีคุณสมบัติเช่น เป็นสารปรับปรุงดิน สารป้องกันไล่และกำจัดแมลงศัตรูพืช รักษาโรคพืชบางชนิด เร่งการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ฆ่าเชื้อโรคในพืชได้ ฆ่าเชื้อราที่เป็นพิษ นีดพ่นคอกสัตว์ และลดกลิ่นเหม็นในคอกสัตว์ เป็นต้น

2.6.2 การทดสอบคุณภาพของน้ำส้มควันไม้

การทดสอบคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ทำได้ง่ายคือการวัดค่าความเป็นกรด และความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น เพื่อให้ได้น้ำส้มควันไม้ที่มีประโยชน์นำไปใช้ได้ โดยการตรวจค่าความเป็นกรดอาจทำได้ทั้งการใช้เครื่องมือพีเอชมิเตอร์ หรือการใช้กระดาษลิตมัส ซึ่งค่ามาตรฐานของน้ำส้มควันไม้จะอยู่ที่พีเอชประมาณ 2.5-3.0 สำหรับการตรวจวัดค่าความถ่วงจำเพาะจะนิยมใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมของน้ำส้มควันไม้ที่จะสามารถนำไปใช้ในทางการเกษตร ได้อยู่ที่ประมาณ 1.007-1.024 โดยการทดสอบคุณภาพของน้ำส้มควันไม้นั้นมีความจำเป็นอย่างมาก ซึ่งหากเก็บน้ำส้มควันไม้แล้วไม่ค่าพีเอชหรือความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสม เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ใน สัตว์ตามที่ได้กำหนดไว้ก็จะไม่ได้ผลตามนั้น

2.6.3 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

น้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้จากการเก็บในกระบวนการไพโรไลซิสไม่ให้เกิดสภาพเป็นถ่าน น้ำส้มควันไม้ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากมีสารอื่น ๆ ปนเปื้อนอยู่มาก ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสภาพไม้ให้เป็นถ่านไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตา แต่เริ่มก่อนที่หน้าเตาด้านบน แล้วแผ่ กระจายมายังหลังเตาด้านล่าง ดังนั้นควันที่ออกมาจากปล่องควันจึงเป็นควันที่ผสมกันระหว่างควันที่มี อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ โดยที่อุณหภูมิสูงถึง 300 °C ลิกนิน (lignin) ก็จะเริ่มสลายตัว ซึ่งก็จะมีน้ำมัน ดิน (tar) และสารระเหยได้ (volatile matter) ปนออกมาด้วย ซึ่งน้ำมันดินที่ละลายน้ำไม่ได้ (oil base) จะ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรได้เนื่องจากจะไปปิดปากใบของพืช และเกาะติดรากพืช ทำให้พืชเหี่ยวโทรมหรือตายได้ แต่จะเป็นประโยชน์ในการป้องกันรักษาเนื้อไม้

ในการทำน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเนื้อไม้จากเตาแก๊สซิฟิเคชัน (gasifier stove) ให้บริสุทธิ์นั้นสามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การปล่อยให้ตกตะกอน โดยการนำน้ำส้มควันไม้มาเก็บในถังทรงสูง ซึ่งมีความสูง มากกว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า โดยทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 90 วัน ซึ่งน้ำส้มควันไม้ก็จะตกตะกอน แยกออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นบนสุดเป็นน้ำมันใส ชั้นกลางเป็นน้ำส้มควันไม้ และชั้นล่างสุดเป็นน้ำมัน ดิน และหากนำผงถ่านมาผสมประมาณ 5% โดยน้ำหนัก ผงถ่านก็จะดูดซับทั้งน้ำมันใสและน้ำมันดินให้ ตกตะกอนลงสู่ชั้นล่างในเวลาเร็วขึ้น ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 45 วัน เท่านั้น

2. การกรอง โดยใช้ผ้ากรองหรือถังกรองที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นตัวกรอง ซึ่งจะได้ คุณสมบัติที่แตกต่างกันไป เพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ และจะใช้วิธีนี้เพื่อ นำไปเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมเฉพาะกรณีเท่านั้น

3. การกลั่น โดยสามารถกลั่นได้ทั้งในความดันบรรยากาศ และการกลั่นแบบลดความดัน รวมทั้งการกลั่นแบบลำดับส่วน เพื่อแยกเฉพาะสารใดสารหนึ่งในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ มักจะใช้

ในอุตสาหกรรมผลิตยา แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งการกรองและการกลั่น ต้องทำหลังจากการตกตะกอนเท่านั้น เนื่องจากต้องรอให้เกิดปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อน

2.6.4 คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้มีสิ่งที่แตกต่างกันไปจากน้ำส้มสายชูหรือน้ำส้มอื่น ๆ คือ มีสารประกอบที่หลายหลายเจือปนอยู่มากกว่า โดยเฉพาะสารฟีนอล (phenol) ซึ่งได้จากการสลายตัวของลิกนิน น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปด้วย เช่น น้ำส้มควันไม้จากยูคาลิปตัสจะมีความเป็นกรดต่ำและมีสีใสแต่มีเมทานอล (methanol) สูงกว่าไม้กระถินยักษ์หรือไม้สะเดา เป็นต้น โดยในน้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ มากกว่า 200 ชนิด ซึ่งได้จากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน เกิดเป็นสารประกอบใหม่หลายชนิด เช่น กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ได้จากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ส่วนฟีนอลได้จากการสลายตัวของลิกนิน น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบที่สำคัญได้แก่ น้ำ ประมาณ 85% กรดอินทรีย์ ประมาณ 3% และสารอินทรีย์อื่น ๆ อีกประมาณ 12% มีค่าความเป็นกรด (pH) ประมาณ 3 มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.012-1.024 โดยมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของเนื้อไม้

2.6.5 การใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้

จากการที่น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบอยู่มากมายหลายชนิด จึงทำให้สามารถนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น

1) ในทางอุตสาหกรรม

นิยมใช้ในการผลิตสารดับกลิ่นตัว โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น มีการนำน้ำส้มควันไม้มาผลิตเป็นสารสำหรับการดับกลิ่นตัวมากกว่าปีละ 1 ล้านลิตร ใช้ในการผลิตสารปรับผ้านุ่ม ใช้ในอุตสาหกรรมรมควัน ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมผ้า ใช้ผลิตสารป้องกันเนื้อไม้จากราและแมลง ใช้ผลิตยารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อไทฟอยด์ อาหารเสริมเพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกันทาน อาหารเสริมการทำงานของตับ และใช้ในการผลิตสารช่วยย่อย เป็นต้น

2) ใช้ในครัวเรือน

น้ำส้มควันไม้ที่มีความเข้มข้น 100% สามารถนำมาใช้ในการรักษาแผลสด แผลถูกน้ำร้อนลวกและไฟลวก รักษาโรคน้ำกัดเท้าและเชื้อราผิวหนัง ได้ หากนำมาผสมน้ำเพื่อเจือจาง 20 เท่า จะนำมารดทำลายปลวกและมด หากผสมน้ำเจือจาง 50 เท่า จะป้องกันปลวก มด และสัตว์ต่าง ๆ เช่น ตะขาบ ตะเข็บ แมงป่อง กิ้งกือ และหากผสมน้ำเจือจาง 100 เท่า จะใช้ราดตามโคนต้นไม้เพื่อรักษาโรครา และโรคเน่า รวมทั้งป้องกันแมลงไม่ให้วางไข่ ฉีดพ่นถึงขยะเพื่อป้องกันกลิ่นและแมลงวัน ใช้ดับกลิ่นในห้องน้ำ ห้องครัว และบริเวณชื้นแฉะ ใช้ดับกลิ่นกรงเลี้ยงสัตว์ ใช้หมักขยะสดและเศษอาหาร เป็น

ปุ๋ยสำหรับไม้ประดับรอบบ้าน โดยต้องผสมน้ำอีก 5 เท่า หลังจากหมักแล้ว 1 เดือน นอกจากนี้แล้วหากผสมน้ำเจือจาง 200 เท่า จะใช้ในการฉีดพ่นใบไม้เพื่อขับไล่แมลงและป้องกันเชื้อรา และรดโคนต้นไม้เพื่อเร่งการเจริญเติบโต เป็นต้น

3) ในทางการเกษตร

น้ำส้มควันไม้ที่มีความเข้มข้นสูง มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อที่รุนแรง เนื่องจากมีความเป็นกรดสูงและมีสารประกอบ เช่น เมทานอล และฟีนอล ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อต่าง ๆ ได้ดี เมื่อนำมาเจือจางด้วยน้ำ 200 เท่า จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial microbe) จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น เนื่องจากได้รับสารอาหารจากกรดน้ำส้ม ดังนั้นน้ำส้มควันไม้จึงสามารถนำมาใช้ในการเกษตรได้ดี เช่น

- ใช้ผสมน้ำ 20 เท่า พ่นลงดินเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน โดยประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ที่เข้มข้นจะเทียบเท่ากับการอบฆ่าเชื้อด้วยการรมควัน (fumigation) ซึ่งควรทำก่อนการเพาะปลูก 10 วัน เพราะน้ำส้มควันไม้ที่รดลงดินจะไปทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งจะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นพิษต่อพืช แต่เมื่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แล้วจึงสามารถปลูกพืชได้ รวมทั้งพืชจะได้รับประโยชน์จากแก๊ส CO₂ ด้วย

- เมื่อใช้ผสมน้ำ 50 เท่า แล้วพ่นลงดิน เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เข้าทำลายพืช หากใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ รากพืชอาจได้รับอันตรายได้

- เมื่อใช้ผสมน้ำ 200 เท่า ความเข้มข้นนี้สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยหากใช้ฉีดพ่นที่ใบของพืช รวมทั้งพ่นดินรอบๆ ต้นพืชทุกๆ 7-15 วัน เพื่อขับไล่แมลงป้องกันและกำจัดเชื้อราและกระตุ้นความต้านทานและการเจริญเติบโตของพืช เพราะเนื่องจากความเข้มข้นระดับนี้สามารถทำลายไข่แมลงและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืช เช่น บาซิลโล (bacilli) ที่ไม่มีสปอร์ (spore) รวมทั้งเชื้อไซโฟมัยซิส (syphomycete) ซึ่งอ่อนแอในสภาวะกรดก็จะถูกทำลาย หลังจากนั้นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น แอคติโนมัยซิส (actinomyces) และไตรคอคโคมา (trichodema) จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เหล่านี้จะทำลายโดยการเป็นตัวเบียน (parasitic) ของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืช เช่น corticium rolfsii, curzi, rhizoclonia, pythium, sclerotian แต่ในพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีอย่างหนักและยาวนาน อาจจะไม่เหลือจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์อยู่เลย ต้องใช้ปุ๋ยหมักเข้าช่วยด้วย และหากได้ใส่ถ่านลงไปด้วยก็จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างมาก ในขณะที่เดียวกันสารประกอบอะซิetyl โคเอนไซม์ (acetyl coenzyme) ซึ่งสร้างขึ้นได้โดยพืชและจุลินทรีย์ที่ได้รับสารอาหารจากกรดน้ำส้มก็จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบต่าง ๆ มากมาย กระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อใบพืชถูกกระตุ้นด้วยกรดอินทรีย์อ่อนๆ ชั่วคราว จะกระตุ้นความต้านทานต่อโรค รวมทั้งทำให้ใบหนา แข็ง และเขียวเป็นมัน เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำให้ปรุงอาหารได้ดีขึ้น พืชจะแข็งแรงและเติบโตเร็ว รวมทั้งแก้ปัญหาการสังเคราะห์แสงที่ไม่ดีพอ เนื่องจากขาดแสงในบางฤดู แต่ห้ามใช้ในอัตราส่วนที่เข้มข้นกว่านี้ฉีดพ่นใบพืช เนื่องจากจะทำให้ใบพืชไหม้

เนื่องจากความเป็นกรดสูงเกินไป อัตราส่วนในการผสมน้ำ 200 เท่านี้ จึงช่วยทั้งป้องกัน กำจัดโรคและแมลง กระตุ้นความต้านทาน และกระตุ้นความเจริญเติบโตของพืชได้อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถนำไปฉีดพ่นที่กองปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ช่วยย่อยให้เป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น และควรใช้ร่วมกับถ่าน โดยถ่านจะเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และน้ำส้มควันไม้จะเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์เหล่านั้นได้ขยายจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

- เมื่อใช้ผสมน้ำ 500 เท่า แล้วฉีดพ่นผลอ่อนของพืชเพื่อช่วยขยายให้ผลโตขึ้น หลังจากที่ได้ติดผลมาแล้ว 15 วัน และฉีดพ่นอีกครั้งก่อนเก็บเกี่ยว 20 วัน เพื่อเพิ่มน้ำตาลในผลไม้อีกด้วย เนื่องจากในน้ำส้มควันไม้ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาลและกรดอะมิโน ดังนั้นจึงเพิ่มทั้งผลผลิตและคุณภาพได้

- เมื่อใช้ผสมน้ำ 1000 เท่า จะใช้เป็นสารจับใบซึ่งจะช่วยลดการใช้สารเคมี เนื่องจากสารเคมีจะสามารถออกฤทธิ์ได้ดีในสารละลายที่เป็นกรดอ่อน ๆ และสามารถลดการใช้สารเคมีที่มีราคาแพงได้มากกว่าครึ่งหนึ่งที่เคยใช้

- ช่วยในการทำปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง โดยการใช้ น้ำส้มควันไม้ที่มีความเข้มข้น 100% หมักกับหอยเชอรี่บด เศษปลา เศษเนื้อหรือกากถั่วเหลือง โดยใช้โปรตีนต่าง ๆ 1 กิโลกรัม ต่อน้ำส้มควันไม้ 2 ลิตร หมักนาน 1 เดือน แล้วกรองกากออก จะได้ปุ๋ยน้ำชีวภาพ ซึ่งเวลานำไปใช้งานให้ผสมกับน้ำ 200 เท่า

- ใช้หมักกับสมุนไพร เช่น เมล็ดและใบสะเดา หางไหลแดง ข่าแก่ ตะไคร้หอม เป็นต้น เพื่อเพิ่มฤทธิ์ของน้ำส้มควันไม้ในการไล่แมลงและป้องกันโรค และสามารถเก็บสารละลายนี้ไว้ใช้ได้นาน โดยไม่เน่าเสีย

4) ในทางปศุสัตว์

น้ำส้มควันไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางด้านปศุสัตว์ได้อย่างหลากหลายทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่

- ใช้ในการลดกลิ่นและกำจัดแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ โดยการใช้ครั้งแรกควรผสมน้ำ 100 เท่า หลังจากนั้นให้เพิ่มเป็นผสมน้ำ 200 เท่า ก็จะกำจัดกลิ่นและลดจำนวนแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ใช้ในการผสมอาหารสัตว์ เพื่อช่วยในระบบการย่อยอาหารและป้องกันโรคท้องเสีย แต่การใช้โดยตรงกับสัตว์นั้นมีสิ่งที่ควรระวังคือ สัตว์จะรังเกียจกลิ่นควันไฟ ดังนั้นควรนำไปผสมกับผงถ่านเสียก่อน โดยใช้น้ำส้มควันไม้ 2 ลิตร ผสมกับผงถ่าน 8 กิโลกรัม แล้วนำผงถ่านที่ชุ่มด้วยน้ำส้มควันไม้ไปผสมอาหารสัตว์ 990 กิโลกรัม ก็จะได้อาหารสัตว์ 1 ตันพอดี ซึ่งถ่านที่ผสมอาหารสัตว์จะมีคุณสมบัติและมีประโยชน์ต่าง ๆ เช่น ช่วยทำให้การย่อยและการใช้ประโยชน์จากอาหารดีขึ้น ทำให้สัตว์โตเร็วกว่าปกติ โดยการใช้อาหารเท่าเดิม หรือใช้อาหารน้อยลงไป 5% ในเวลาเท่าเดิม ช่วยใน

การยับยั้งการเกิดแก๊สและช่วยดูดซึมโลหะหนักในกระเพาะอาหารของสัตว์ ทำให้สัตว์มีสุขภาพดี ช่วยป้องกันและรักษาอาการท้องเสีย ช่วยปรับปรุงคุณภาพและลดปริมาณน้ำในเนื้อสัตว์ ทำให้คุณภาพของเนื้อสัตว์ดีขึ้นทั้งรสชาติ สี และกลิ่น ช่วยปรับปรุงคุณภาพของไข่ เพื่อให้ไข่แดงใหญ่และเหนียวขึ้น ทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณวิตามินและลดคอเลสเตอรอล ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนม ช่วยยับยั้งการเกิดแก๊ส แอมโมเนีย และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้ลดกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์ซึ่งช่วยให้สัตว์ไม่เครียด ทั้งยังช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลสัตว์ให้ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการฟักไข่ของแมลงในมูลสัตว์ ทำให้ลดปริมาณของแมลงในบริเวณฟาร์ม โดยเฉพาะแมลงวันได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อริญ ขวัญปาน และชนะกานต์ พงศาสนองกุล (2555) ได้ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเผาไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบให้น้ำส้มควันไม้และศึกษาประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ตามชนิด ความชื้นของไม้ ในการดำเนินการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการสร้างเตาเผาถ่านเพื่อเตรียมน้ำส้มควันไม้จากถังโลหะขนาด 200 ลิตร ขั้นตอนที่สองเป็นการเผาเพื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยศึกษาไม้ 3 ชนิด คือ ไม้ลั่นจี่ ไม้กระถินยักษ์ และไม้มะขาม เมื่อได้น้ำส้มควันไม้มาแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนที่สามคือการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ และขั้นตอนสุดท้ายคือการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้เพื่อวัดประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ ผลจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของเตาเผาถ่านแบบแนวนอนสามารถใช้ในการเผาไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ ไม้ลั่นจี่ ไม้กระถินยักษ์ และไม้มะขามที่มีค่าความชื้นสูงระหว่าง 25-64% ที่ตัดแล้วตากทิ้งไว้ 10-30 วัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาเผาแล้วจะได้ปริมาณถ่านที่แตกต่างกันตามระยะเวลาการตาก โดยไม้ที่จัดแล้วตากทิ้งไว้ 30 วัน จะได้ปริมาณถ่านมากที่สุด และจะให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่แตกต่างกันตามความชื้น ของเนื้อไม้ ซึ่งไม้ที่ตัดตากทิ้งไว้ 10 วัน จะมีความชื้นสูงได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้มากที่สุด และใช้ระยะเวลา ในการเผา 6-7 ชั่วโมง น้ำส้มควันไม้ที่ได้เมื่อตั้งของเหลวทิ้งไว้ 49-67 วัน จะตกตะกอนแบ่งเป็น 3 ชั้น น้ำส้มควันไม้ที่ใช้งานได้จะอยู่ชั้นกลางสามารถนำไปใช้ในการเกษตร ปศุสัตว์ อุตสาหกรรมและครัวเรือน สีของน้ำส้มควันไม้เป็นสีเหลืองอ่อนและน้ำตาลอ่อน ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 1.6-2.5 ความถ่วง จำเพาะมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.09 จึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ดิบ

ศุภวิทย์ วัฒนะสกล พิสิษฐ์ มณีโชติ และสมบัติ ทิมทรัพย์ (2553) ได้ศึกษาการออกแบบเตาคาร์บอนในชั่วชีวิตมวลอย่างต่อเนื่อง เพื่อผลิตถ่าน 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีผลพลอยได้เป็นน้ำส้มควันไม้และแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มคุณค่าของเตา แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้นำไปใช้เดินเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าขนาด 6.5 กิโลวัตต์เพื่อใช้ในระบบ ในการทดสอบจะใช้วัสดุชีวมวลขนาด 2-5 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์แบบ Approximate จากนั้นทำการคาร์บอนในอย่างต่อเนื่อง ที่ความดันบรรยากาศปรับอุณหภูมิและความเร็ว

ในการคาร์บอนไนซ์ บันทึกปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์อย่างต่อเนื่องที่สภาวะต่าง ๆ คาดว่าการผลิตด้านจากเตาที่ออกแบบนี้เมื่อเทียบกับการผลิตแบบวิถีชาวบ้านจะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่มีปริมาณมากกว่า คุณภาพสูงกว่า ใช้เวลาน้อย เมื่อนำผลิตภัณฑ์ถ่านไปวิเคราะห์คาดว่าจะมีค่าคาร์บอนเสถียรที่สูง วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้คาดว่าจะมีความเป็นกรดและมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติกและวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี คาดว่าจะประกอบไปด้วย ไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

บุญแสน เตียนกุลธรรม (2551) ได้ศึกษาการผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ในการปรับปรุงดินเพื่อการปลูกคะน้า ที่ได้จากเตาเผาถ่านของไม้ยูคาลิปตัส ลำไย และสะเดา โดยการนำไปเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:50, 1:100 และ 1:200 ส่วน โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in C.R.D แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง (treatment) 3 ซ้ำ (replication) พบว่าด้านความสูงของผักคะน้า ไม้สะเดาอัตราส่วน 1:100 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33 เซนติเมตร และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้านน้ำหนักสดของผักคะน้าพบว่า ไม้สะเดาอัตราส่วน 1:100 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 41.01 กรัม และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนด้านความยาวของรากผักคะน้า พบว่าไม้ยูคาลิปตัสและลำไยที่อัตราส่วน 1:100 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6 เซนติเมตร และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

เฉลิม วิริยะชัย (2553) ได้ศึกษาน้ำส้มควันไม้ ผลพลอยได้จากการเผาถ่านสู่การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ น้ำส้มควันไม้ ซึ่งผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้มีสารเคมีเป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติและได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมีการใช้สารฟีนอลิกจากการสังเคราะห์เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในอุตสาหกรรมอย่างหลากหลาย แต่เนื่องจากปัจจุบันพบว่าสารดังกล่าวอาจก่อให้เกิดโรคร้ายแรงต่อร่างกาย ทำให้การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างมากมาย น้ำส้มควันไม้จึงเป็นสารจากธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก

เจษฎา ชำรงพานิชย์ (2554) ได้ศึกษาเพื่อประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging และฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ของน้ำส้มควันไม้กลั่น 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ สะเดา และยูคาลิปตัส เพื่อนำไปพัฒนาเป็นสูตรตำรับทางเครื่องสำอาง 2 รูปแบบ คือ เจล และ โทนนอร์ พบว่าน้ำส้มควันไม้ไม้ที่มีความเข้มข้น 1:10 เท่า มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด คือ $93.86 \pm 0.43\%$ จึงพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เจลที่ประกอบด้วยน้ำส้มควันไม้ไม้กลั่น 10% ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านทานอนุมูลอิสระไม่น้อยกว่า 86% แต่ไม่คงตัวในสภาวะแรง ส่วนการทดลองฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ด้วยวิธี Agar cup diffusion พบว่าน้ำส้มควันไม้สะเดากลั่นมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบ ได้แก่ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* TISTR 518, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 และ *Micrococcus luteus* ATCC 9341 ได้ดีที่สุดจึงพัฒนาเป็นโทนนอร์ที่ประกอบด้วยน้ำส้มควันไม้กลั่นจาก

สะเดาในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ที่มีความคงตัวดี พบว่าสูตรโทนเนอร์ที่ประกอบด้วยน้ำส้มควันไม้มากกว่า 90% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus*, *S. epidermidis*, *P. aeruginosa* และ *M. luteus* ได้

ทศพร คมกริช และอัญชลี สวาสดิ์ธรรม (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากกระท้อน มะขามเทศ มะม่วง และลิ้นจี่ต่อการไล่แมลงสาบอเมริกัน (*Periplaneta Americana* L.) ซึ่งได้ดำเนินการระหว่างเดือนธันวาคม 2553 ถึง พฤษภาคม 2555 ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดยมีการทดลองทั้งหมด 6 ขั้นตอน ผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้ การทดลองวงจรชีวิตของแมลงสาบอเมริกันพบว่าการเจริญเติบโต 3 ระยะ คือ ระยะไข่ ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย โดยแต่ละระยะมีอายุระหว่าง 38.34 ± 6.19 , 176.50 ± 13.28 และ 149 ± 12.22 วัน ตามลำดับ ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ 5 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้จากกระท้อน มะขามเทศ มะม่วง ลิ้นจี่ และพีชหลายชนิดรวมกัน พบว่า น้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อนออกเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้ม ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าตั้งแต่ 2.86 ถึง 3.69 และมีค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้ชุมชน คือ ไม่น้อยกว่า 1.005 และมีปริมาณกรดอะซิติกและฟีนอลแตกต่างกันในน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิด โดยน้ำส้มควันไม้จากลิ้นจี่มีปริมาณของสารทั้ง 2 ชนิดสูงสุด คือ มีปริมาณอะซิติกและฟีนอลเท่ากับ 82.56 และ 6.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และน้ำส้มควันไม้จากมะขามเทศมีปริมาณกรดอะซิติกต่ำสุด คือ 46.32 เปอร์เซ็นต์ น้ำส้มควันไม้จากกระท้อนมีค่าฟีนอลต่ำสุด คือ 2.16 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบประสิทธิภาพขององค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ คือ น้ำมันเบน น้ำส้มควันไม้ และน้ำมันทาร์ ในการไล่แมลงสาบพบว่า เฉพาะส่วนของน้ำส้มควันไม้เท่านั้นที่สามารถไล่แมลงสาบได้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ 5 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้จากกระท้อน มะขามเทศ มะม่วง ลิ้นจี่ และพีชหลายชนิดรวมกันในการไล่แมลงสาบอเมริกัน ผลการทดลองพบว่าน้ำส้มควันไม้จากลิ้นจี่มีประสิทธิภาพในการไล่แมลงสาบอเมริกันสูงสุด การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำส้มควันไม้จากลิ้นจี่ในการไล่แมลงสาบอเมริกันโดยเปรียบเทียบความเข้มข้น 50, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถไล่แมลงสาบอเมริกันได้ 24 ชั่วโมง ในการทดสอบหารูปแบบการใช้น้ำส้มควันไม้ในการไล่แมลงสาบอเมริกันในเชิงพาณิชย์โดยการผสมน้ำส้มควันไม้กับกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่าง ๆ 5 ระดับ คือ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมีกลีเซอรอลผสมน้ำเป็นกรรมวิธีควบคุม ผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้และกลีเซอรอลในอัตรา 90:10 สามารถไล่แมลงสาบอเมริกันได้นานถึง 24 ชั่วโมง

Payamara (2011) ได้ศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้เป็นสารอินทรีย์ชนิดใหม่ โดยเทคนิคที่เป็นทางเลือกสำหรับการใช้ประโยชน์จากไม้คือผลิตภัณฑ์จากการคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งได้แก่ถ่านและน้ำส้มควันไม้ องค์ประกอบหลักของน้ำส้มควันไม้คือ กรดอะซิติก เมทานอล กรดโพรพานอิก กรดฟีนอลิก และสารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งน้ำส้มควันไม้สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของดินและช่วยในการไล่แมลง ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และที่อาศัยอยู่ของพืชในการเจริญเติบโต จากการทดสอบทางชีววิทยาของน้ำมันควันไม้ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ

xanthomonas comprestis pv. ได้จากการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ในการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการพ่นละอองทางใบและการพ่นลงไปในดินทุก ๆ 6 วัน หลังจากการเพาะปลูก โดยพบว่าความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้อยู่ที่ 1.95-2.14 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ กรดอะซิติก

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)	BP 210S	Sartorius Germany
เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer)	UV-1700	Simadzu Japan
เครื่องวัดพีเอช (pH meter)	GC700	EUTECH Singapore
เตาอบ (Hot air oven)	UM500	Memmert Germany
เครื่องให้ความร้อนและหมุนเวียน (Hotplate & Stirrer)	4658	Cole-Parmer USA
เครื่องบอมบ์คาร์ลอร์ิมิเตอร์ (Auto Bomb Calorimeter)	Autobomb	Gallenkamp United Kingdom
เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)	CWF13/13	Carbolite England
เครื่องวัดความหนืด (Viscosity meter)	RI:2:M-H	Shannon, Ireland
เครื่องดิจิตัลรีแฟรคโตมิเตอร์ (Digital refractometer)	HI 96813	Woonsocket USA
เครื่องบดสารแบบบอลมิลล์ (Ball-mill machine)	Home made	Thaiarsaco Thailand

3.1.2 สารเคมี

ในการวิจัยนี้ สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรเคมี	MW (g/mol)	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
กรดไฮโดรคลอริก 37% (v/v) (Hydrochloric acid)	HCl	36.46	AR	Merck, Germany
กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)	H ₂ SO ₄	98.07	AR	Fluka Switzerland
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)	KOH	56.11	AR	Merck, Germany
โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate)	C ₈ H ₅ KO ₄	204.23	AR	Fluka Switzerland
แอมโมเนียมแอซิเตต (Ammonium acetate)	CH ₃ COONH ₄	77.08	AR	Fluka Switzerland
กรดอะซิติก (Acetic acid)	CH ₃ COOH	60.05	AR	Fluka Switzerland
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	40.00	Lab	Carlo Erba, Italy
เอทานอล (Ethanol)	C ₂ H ₅ OH	46.07	AR	Fisher, USA
แอซิติลแอซิโตน (Acetylacetone)	C ₅ H ₈ O ₂	100.12	AR	Merck, Germany
สารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde standard solution)	CH ₂ O	30.03	AR	Fluka Switzerland
กรดเบนโซอิก (Benzoic acid)	C ₆ H ₅ COOH	122.12	AR	Sigma USA
โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)	Na ₂ CO ₃	105.99	AR	Fluka Switzerland
ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein)	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	318.33	AR	Fluka, Switzerland

3.2 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลาย

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วัตถุดิบชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้ใช้เฉพาะในส่วนของการลำต้นและกิ่งก้านสาขาของไม้สมุนไพรเหล่านี้เท่านั้น ที่สามารถนำมาใช้ในการทำถ่านจากไม้สมุนไพรเหล่านี้ได้ อีกทั้งได้ใช้แนวทางในการเตรียมวัตถุดิบจากพืชสมุนไพรจากภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่านโดยการใส่เตาเผาถ่านขนาด 200 L โดยในการเตรียมวัตถุดิบจากพืชสมุนไพรเหล่านี้เพื่อใช้ในการศึกษาทำการลดขนาดของไม้ที่ได้จากต้นพืชสมุนไพรเหล่านี้โดยการตัดให้มีขนาดยาวประมาณ 30 cm แล้วทำการตากแดดทิ้งไว้ให้แห้งในช่วงเวลา 7 วัน 14 วัน และ 21 วัน ก่อนนำไม้ของพืชสมุนไพรเหล่านี้มาใช้ในการศึกษาในลำดับขั้นตอนต่อไป

3.2.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.2.1 สารละลายกรดซัลฟริกความเข้มข้น 1.0 M

ปิเปตกรดซัลฟริกเข้มข้น (98%) ปริมาตร 53.99 mL ค่อย ๆ เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1000 mL ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้บางส่วนแล้วประมาณ 800 mL อย่างระมัดระวัง (ควรทำให้ผู้ดูดควัน) จากนั้นปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.0 M

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 g ละลายด้วยน้ำกลั่น 400 mL ในบีกเกอร์ขนาด 500 mL คนด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ของแข็งละลายหมด จากนั้น เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1000 mL อย่างระมัดระวัง แล้วนั้นปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.3 สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7%

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หนัก 35 g ละลายด้วยน้ำกลั่น 200 mL ใน บีกเกอร์ขนาด 500 mL คนด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งโซเดียมคาร์บอเนตของแข็งละลายหมด จากนั้นเทลงในขวดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.4 สารละลายมาตรฐาน Gallic acid ความเข้มข้น 1 mg mL^{-1}

ชั่งสารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ปริมาณ 10 mg ละลายด้วย absolute ethanol ปริมาตร 5 mL ในบีกเกอร์ขนาด 50 mL คนด้วยแท่งแก้วจนของแข็งละลายหมด จากนั้นเทลงในขวดปริมาตรขนาด 10 mL และปรับปริมาตรด้วย absolute ethanol จนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 ppm เก็บไว้ในภาชนะที่ห่อฟรอยด์เพื่อป้องกันแสงแดด จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นช่วง 10 – 100 ppm แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นจนกว่าจะนำไปใช้

3.2.2.5 สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลท

ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลท (potassium hydrogen phthalate) 1 g ละลายด้วยน้ำกลั่น 30 mL ในบีกเกอร์ขนาด 50 mL คนด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งของแข็งละลายหมด จากนั้นเทลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL และปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.6 สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ppm – 100 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 50 mL, 30 mL, 10 mL และ 1 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แต่ละขวด แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 50 ppm, 30 ppm, 10 ppm และ 1 ppm ตามลำดับ

3.2.2.7 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5-20 %

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37%) ปริมาตร 13.5, 27.1, 40.5 และ 54.1 mL ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้บางส่วนแล้วจำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร ภายหลังการเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5, 10, 15, และ 20 % ตามลำดับ

3.2.2.8 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1%

ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) มา 1 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1%

3.2.2.9 สารละลาย Nash's reagent

ชั่งแอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate) ปริมาณ 15 g ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 20 mL จากนั้นเติมกรดอะซิติก (acetic acid) 0.3 mL และอะซิโตน (acetyl acetone) 0.2 mL พร้อมกับกวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเทลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.2.2.10 สารละลาย Follin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10%

ปิเปตสารละลาย Follin-Ciocalteu ปริมาตร 10 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3 การออกแบบและเตรียมเครื่องมือ และชุดอุปกรณ์ในการวิจัย

3.3.1 การออกแบบและจัดทำเตาสำหรับการเผาถ่าน

ทำการศึกษาออกแบบและจัดทำเตาสำหรับการเผาถ่านเพื่อผลิตถ่านจากไม้พื้นและได้น้ำส้มควันไม้เป็นผลพลอยได้ โดยจากการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน นำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบและผลิตเตาสำหรับการเผาถ่านและผลิตน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในการวิจัย สำหรับใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 การออกแบบและจัดทำชุดท่อดักกลั่นน้ำส้มควันไม้

ทำการศึกษาออกแบบและจัดทำชุดท่อดักกลั่นน้ำส้มควันไม้ โดยเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการทำงานวิจัย ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเข้ากับปล่องควันไฟจากเตาเผาถ่าน โดยใช้ท่อซีเมนต์ที่มีความยาวขนาด 180 cm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 10 cm โดยทำการออกแบบและจัดทำชุดท่อดักกลั่นน้ำส้มควันไม้ ซึ่งภายในท่ออาจมีการใช้ชุดท่อทองแดงอยู่ภายในเพื่อให้ น้ำเย็นวิ่งไหลผ่านเพื่อช่วยให้การกลั่นของไอน้ำส้มควันไม้เป็นน้ำส้มควันไม้เกิดได้ดีขึ้น เมื่อได้ชุดท่อดักน้ำส้มควันไม้ที่เหมาะสมในการกลั่นน้ำส้มควันไม้แล้ว จะนำไปใช้ต่อเข้ากับปล่องควันเพื่อให้ได้น้ำส้มควันไม้เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.3.3 การออกแบบและจัดทำชุดคอลัมน์สำหรับทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

ทำการศึกษาออกแบบและจัดทำชุดกรองน้ำส้มควันไม้โดยใช้ถ่านแอคติฟคาร์บอนที่ได้จากการเตรียมจากการเผาฝักระยะขามขึ้นราเพื่อให้ได้ถ่าน แล้วทำการแอคติเวตให้เป็นถ่านแอคติฟคาร์บอน โดยการแช่ในสารละลายกรด จากนั้นนำมาล้างแล้วทำการเผาให้เป็นถ่านแอคติฟคาร์บอนที่อุณหภูมิประมาณ 600-800 °C (โดยผ่านการตรวจเช็คคุณภาพของถ่านแล้ว) ซึ่งจะทำการนำถ่านแอคติฟคาร์บอนนี้หนักประมาณ 400 g บรรจุลงไปในคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm (โดยปลายคอลัมน์ด้านล่างให้ใช้สำลिरองก่อนบรรจุถ่าน เพื่อป้องกันการไหลออกของถ่าน จากนั้นนำคอลัมน์ที่เตรียมได้ไปใช้ในการศึกษาการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ต่อไป

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน

3.4.1.1 การศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้

ทำการศึกษาและสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่านในพื้นที่อำเภอเขาค้อ และอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อให้ได้องค์ความรู้ในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป

3.4.1.2 การศึกษาจากภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้ในด้านการเกษตรอินทรีย์ของคนในท้องถิ่น

ทำการศึกษาและสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้ของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่อำเภอเขาค้อ และอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อให้ได้องค์ความรู้ในการใช้ผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้ในด้านการเกษตรอินทรีย์ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป

3.4.2 การศึกษาการเตรียมน้ำส้มควันไม้จากการไพโรไลซิสพืชสมุนไพร

3.4.2.1 การศึกษาศักยภาพและความเหมาะสมของพืชสมุนไพรในท้องถิ่นสำหรับการนำไปใช้ในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน

1) การตั้งเตา

- เริ่มจากทำการเลือกสถานที่ตั้งเตาซึ่งควรจะเป็นที่ดอนน้ำท่วมไม่ถึง และห่างจากบ้านเรือนหรือสถานที่ที่มีผู้คนอาศัยอยู่อย่างน้อย 50 m

- นำถัง (ถังน้ำมัน) ขนาด 200 L มาเจาะด้านข้างสำหรับใส่ฟืน กว้างประมาณ 8-10 in ความยาวเท่ากับขนาดถัง โดยเว้นระยะจากขอบหน้าและขอบหลังประมาณ 3 in

- นำถังมาเจาะฝาขนาดกว้าง 7 in สูง 10 in วัดจากขอบถังขึ้นไป 7 in เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 in และวัดขึ้นไปอีก 8 in ส่วนก้นถังเจาะรูสี่เหลี่ยมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 in โดยให้ชิดขอบถังเพื่อระบายน้ำ และเป็นช่องระบายควัน

- ตั้งเตาโดยให้ด้านหน้าถังตั้งแฉกขึ้นเล็กน้อย สูงประมาณ 15 cm หรือให้อิฐบล็อกจากแนวถนนหนุนถังเพื่อให้ระบายน้ำออก

- ตอกเสาถ้ายันไม้ที่เป็นพื้นเป็น 4 มุม ขนาด 80 x 80 cm โดยให้ตอกเป็นหลัก ห่างจากด้านข้างเตาประมาณ 250 cm แล้วเทหินรองก้นถังเพื่อป้องกันความชื้นจากดิน

- ติดตั้งท่อด้านหลังเพื่อให้เป็นปล่องควัน

- นำอิฐบล็อกจากวางด้านหน้าเตาเพื่อให้เป็นห้องเผาไหม้สำหรับการเผาฟืนไม้ หรือเชื้อเพลิงที่จะถ่ายเทความร้อนและอากาศร้อนไปยังภายในเตาเผาถ่าน

- ใช้ทรายหรือดินทรายที่เตรียมไว้ในการอุดรอยร้าวตามขอบ หรือบริเวณที่คิดว่าจะมีความร้อนหรือควันหลุดออกไปได้เพื่อให้เป็นระบบปิดมากที่สุด แล้วเทพรายใส่ด้านข้างเตา

2) การเผาและการเก็บน้ำส้มควันไม้

- ตัดไม้พืชมียาวขนาด 15-20 cm วางเป็นหมอน 3 ท่อน โดยวางขวางด้านล่างของตัวเตา โดยให้มีระยะห่างเท่าๆ กัน เพื่อให้มีการไหลเวียนของลมร้อนภายในเตา (ท่อนที่อยู่ด้านหน้าเตาควรใหญ่หน่อยเพราะจะโดยความร้อนมากกว่าอันอื่น)

- การวางพืชมควรเอาส่วนโคนมาทางด้านหน้าเตา เรียงแน่นเท่าไรก็ยิ่งดี ควรมีการมัดไม้ถ้าเป็นไม้แห้งควรจะแห้งทั้งหมด หากเป็นไม้สดควรจะสดทั้งหมด จะช่วยให้ง่ายในการควบคุมอุณหภูมิ (แต่หากจำเป็นต้องผสมให้เอาไม้แห้งไว้ด้านล่างและไม้สดไว้ด้านบน)

- ปิดช่องใส่พืชมด้วยวัสดุเดิมของถังและกลบถังด้วยทราย

- การเริ่มจุดไฟหน้าเตา เริ่มจากการทำช่องใส่ไฟ (เตานี้อยู่ด้านหน้าเตาเผาถ่าน) โดยใส่พืชมจุดปากเตาที่เตานี้อยู่ โดยใส่เชื้อเพลิงทีละน้อยเพื่อให้ความร้อนได้กระจายเข้าไปในเตา และเพื่อให้อากาศเย็นและความชื้นที่อยู่ในเตาออกไป โดยใช้เวลาประมาณ 2-4 h

- จากนั้นเมื่อไล่ความชื้นภายในเตาแล้ว อุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นจนทำให้เนื้อไม้ภายในเตารักษาอุณหภูมิภายในได้เอง โดยให้สังเกตจากควันที่ออกจากปล่องด้านหลังจะพุ่งแรงกว่าปกติ มีควันสีขาวขุ่น เรียกว่า “ควันขาว” (อุณหภูมิปากปล่องประมาณ 80-85°C) ช่วงนี้ให้หยุดใส่เชื้อเพลิงและให้หรี่หน้าเตาลงครึ่งหนึ่ง

- หลังจากนั้นประมาณ 1 h หรือสังเกตสีควันที่ปากปล่อง ถ้าเป็นสีขาวอมเหลืองและมีกลิ่นฉุนแสบจมูก ให้หรี่หน้าเตาลงอีก ช่วงนี้เริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ โดยใช้ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยด้านต่ำ คือ ด้านที่เจาะรูไว้ และนำมาเชื่อมกับปล่องควันและใช้ผ้าชุบน้ำพันรอยต่อ

- นำขวดน้ำหรือภาชนะสำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้มาผูกแขวนรองน้ำส้มควันไม้ตรงที่เจาะรูไว้ จะสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ประมาณ 6-8 h (ขึ้นอยู่กับสภาพไม้) เมื่อน้ำที่หยดมามีลักษณะเป็นยางเหนียวและมีสีดำให้หยุดเก็บ ในช่วงนี้อุณหภูมิที่ปากปล่องจะอยู่ที่ 150 °C และอุณหภูมิในเตาจะอยู่ที่ประมาณ 400 °C ให้เอาท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ออกทันที

- การทำถ่านให้บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นการทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สังเกตต่อจนกระทั่งควันที่ปากปล่องกลายเป็นสีฟ้า ให้เริ่มเปิดหน้าเตา เพื่อให้อากาศร้อนเข้าไปไล่สารตกค้างหรือแก๊สที่ค้างในเตา โดยเปิดหน้าเตาออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1 ใน 3 ของพื้นที่หน้าเตาทั้งหมด

- จากนั้นสังเกตสีของควันถ้ามีสีฟ้าใส ให้วางกระบี่องที่ปากปล่องเพื่อทดสอบความชื้นในถัง โดยวางไว้ 1 นาที และลองจับดู ถ้ากระบี่องเปียกแสดงว่ายังปิดเตาไม่ได้ แต่ถ้าหมาดๆ ให้ปิดเตาได้เลยแสดงว่าไม้ทั้งหมดกลายเป็นถ่านแล้ว ให้ปิดหน้าเตาให้สนิท เอาทรายหรือดินทรายผสมน้ำปิดรอยต่อให้สนิทเพื่อไม่ให้อากาศเข้าไป

- และเพื่อไล่น้ำมันทาร์ ให้เอาผ้าจี๊วห่อทรายทำเป็นลูกประคบจุ่มน้ำให้เปียก ไปอุดปากปล่องควันไม่ให้ให้อากาศเข้าไปในเตาได้เด็ดขาด จากนั้นรอนเตาเย็นลงจึงเปิดเอาถ่านออกมาใช้ได้ ห้ามนำน้ำไปรยเตา

3) การคัดเลือกพืชสมุนไพรในท้องถิ่นที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่าน

ทำการศึกษาการผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่าน จากพืชสมุนไพรไม้ยืนต้นในท้องถิ่น จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้จากไมยราบ ไม้จากมะขาม ไม้จากต้นมันสำปะหลัง ไม้จากต้นลิลาวดี ไม้จากต้นอินทนิล และไม้จากต้นแคนา แล้วคัดพืชสมุนไพรไม้ยืนต้นจากปัจจัยที่พิจารณาได้แก่ ความหาได้ง่าย (คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50) ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้ (คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50) ปริมาณถ่านที่ได้ (คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 100) และคุณภาพของถ่านไม้ที่ได้ (คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50) โดยปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ จากเกณฑ์ระดับความเหมาะสม 5 ระดับ ซึ่งจะคัดเลือกใช้ไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นที่มีคะแนนสูงสุด 5 ลำดับแรก เพื่อนำไปใช้ในการวิจัยในขั้นต่อไป

3.4.2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของการผลิตน้ำส้มควันไม้

ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของการผลิตน้ำส้มควันไม้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและพืชสมุนไพรที่จะใช้ในการศึกษาการผลิตน้ำส้มควันไม้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรอินทรีย์ต่อไป โดยจะทำการศึกษปัจจัยของอุณหภูมิในท้องถิ่น (ทอดักน้ำส้มควันไม้) ต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ การศึกษาปัจจัยของความชื้นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ และการศึกษาปัจจัยของชนิดของพืชสมุนไพรต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ ดังนี้

1) ทำการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในท้องถิ่นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

- เตรียมท่อซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 10 cm และมีความยาวของท่อเท่ากับ 1.8 m จำนวน 3 ท่อ โดยแต่ละท่อทำการตัดในส่วนของปลายท่อเพื่อให้เข้ากันได้กับท่อซีเมนต์ปล่องควันของเตาเผาถ่าน โดยให้ทำมุมกันประมาณ 30 องศา โดยแต่ละท่อทำการเจาะรูเพื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ขนาด 2 x 4 cm ให้มีระยะห่างจากปลายท่อเท่ากับ 30 cm, 60 cm และ 90 cm ซึ่งกำหนดให้เป็นท่อ A, B และ C ตามลำดับ

- เตรียมท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 5 mm มีความยาว 1 m แล้วทำการม้วนให้เป็นขดโดยใช้แบบที่จัดเตรียมขึ้นเพื่อให้ได้ขดท่อทองแดงที่มีความยาวประมาณ 60 cm (เพื่อให้ได้ท่อทองแดงสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อช่วยในการกลั่นไอของน้ำส้มควันไม้) ทำแบบเดียวกันจำนวน 3 ชุด

- นำท่อทองแดงม้วนขดที่ได้แต่ละอันไปต่อเชื่อมกับท่อซีเมนต์แต่ละอัน โดยให้ท่อทองแดงอยู่ด้านในท่อเหนือจากรูของท่อซีเมนต์ที่เจาะเพื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ ทำการเจาะรูด้านข้าง

ท่อซีเมนต์เพื่อนำปลายท่อทองแดงออกด้านนอกท่อ ไว้สำหรับการต่อท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก โดยใช้ กาวพอลิเมอร์ (อีพอกซี) อัดรูทั้งสองด้านไม่ให้มีควันหรือไอหลุดออกมาได้

- ด้านนอกของท่อซีเมนต์ (ท่อใยหิน) เหนือจากรูของท่อซีเมนต์ให้ใช้ผ้าเปียก ที่ชุบน้ำพันโดยรอบท่อ

- นำไม้ยูคาลิปตัสมีขนาดตามที่เตรียมไว้ และผ่านการตากทิ้งไว้นาน 14 วัน บรรจุลงในเตาเผาถ่าน 200 L ให้เต็มเตา จากนั้นจุดไฟหน้าเตาเพื่อไล่ความชื้น และดำเนินการตามวิธีการ เผาถ่านและการเก็บน้ำส้มควันไม้ตามที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 2 แต่ในช่วงของการเกิดควันสีขาวปนเหลือง และมีกลิ่นฉุนแสบจมูก (ช่วงเกิดควันดำ) ให้นำท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ (ท่อแบบ A) ต่อเข้ากับปากปล่อง ควัน แล้วพันด้วยผ้าชุบน้ำให้ปิดสนิทไม่ให้มีควันหลุดออกมาได้ แล้วใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิ ภายในเตาเผา และอุณหภูมิภายในท่อกถัน (เหนือช่องเก็บน้ำส้มควันไม้เล็กน้อย) จากนั้นเมื่อสังเกตสี ของควันไฟมีสีน้ำตาลปนเทา (ช่วงเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้) ให้ทำการเปิดให้น้ำเข้าและออกผ่านท่อ ทองแดงโดยการใช้น้ำโซลาร์เซลล์ที่ให้แหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ปลายท่อของน้ำออกให้จุ่มไว้ใน ถังที่บรรจุน้ำอยู่ประมาณ 200 L ส่วนปลายของท่อน้ำเข้าก็ให้จุ่มอยู่ในถังน้ำเช่นเดียวกัน เพื่อให้เกิดการ ไหลหมุนเวียนต่อเนื่องกันไปในระบบการแลกเปลี่ยนความร้อน

- เมื่อเกิดหยดน้ำส้มควันไม้หยดแรกให้อ่านอุณหภูมิภายในเตาเผา และ อุณหภูมิที่ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ จากใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลที่ได้ติดตั้งไว้ในเตาเผาและในท่อเก็บน้ำส้ม ควันไม้

- เมื่อเวลาการเก็บน้ำส้มควันไม้ผ่านไปนานประมาณ 6-8 h (ขึ้นอยู่กับสภาพ ไม้) หรือสังเกตเห็นควันไฟเป็นสีน้ำตาลปนขาว (ช่วงหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้) หรือเมื่อของเหลวที่หยด ออกมามีลักษณะเป็นยางเหนียวและมีสีดำให้หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ แล้วอย่างอุณหภูมิภายในเตาเผาและ ภายในท่อกถันอีกครั้ง

- บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้

- ทำการศึกษาซ้ำแต่เปลี่ยนเป็นท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด B, ชนิด C และท่อ เก็บน้ำส้มควันไม้ที่ใช้กันทั่วไป ตามลำดับ

- นำน้ำส้มควันไม้ดิบที่เก็บได้จากท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิด ได้มาวัด ปริมาณทั้งหมดของ ๆ เหลว ที่เก็บได้ แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ในกรวยสกัด นานประมาณ 3 เดือน สังเกตการแยกชั้น

- เมื่อครบกำหนดจะเกิดการแยกชั้นเป็น 3 ส่วน สังเกตการแยกชั้น ทำการไข ของเหลวในแต่ละส่วนของน้ำส้มควันไม้ไปวัดหาปริมาณ แล้วเก็บของเหลวส่วนกลาง ซึ่งเป็นส่วนของ น้ำส้มควันไม้ไปตรวจหาคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ และความ ถ่วงจำเพาะ เป็นต้น แล้วทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากการใช้ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิด

- นำผลการศึกษาที่ได้เพื่อหาท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ที่เหมาะสมในการศึกษาต่อไป

2) ทำการศึกษาปัจจัยของความชื้นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

- นำไม้ยูคาลิปตัสที่มีขนาดตามที่เตรียมไว้จำนวน 3 ชิ้น ไปแช่น้ำหนัก (เทคนิค 2 ตำแหน่ง) แล้วบันทึกน้ำหนักของไม้แต่ละชิ้นที่แน่นอน จากนั้นไปตากทิ้งไว้กลางแดดนาน 7 วัน แล้วนำไม้แต่ละชิ้นไปแช่น้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเข้าไปอบทิ้งไว้ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 1 วัน (หรือจนน้ำหนักคงที่) ไปแช่น้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำ น้ำหนักที่วันได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (ค่าเฉลี่ย) ในไม้ ทำซ้ำตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่เปลี่ยน ระยะเวลาในการตากทิ้งไว้กลางแดดนาน 14 วัน และ 21 วัน ตามลำดับ

- นำไม้ยูคาลิปตัสที่มีขนาดตามที่เตรียมไว้ และผ่านการตากทิ้งไว้ 7 วัน (ซึ่งน้ำหนักของไม้ทั้งหมดที่ใช้) บรรจุลงในเตาเผาถ่าน 200 L ให้เต็มเตา จากนั้นจุดไฟหน้าเตาเพื่อไล่ ความชื้น และดำเนินการตามวิธีการเผาถ่านและการเก็บน้ำส้มควันไม้ตามที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 2 ซึ่ง ในช่วงของการเกิดควันสีขาวอมเหลืองและมีกลิ่นฉุนแสบจมูก ให้นำท่อของการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ เหมาะสมซึ่งได้จากการศึกษาในข้อ 1 ต่อเข้ากับปากปล่องควัน แล้วพันด้วยผ้าชุบน้ำให้ปิดสนิทไม่ให้มี ควันหลุดออกมาได้ ทำการเปิดให้น้ำเข้าและออกผ่านท่อทองแดงโดยการใช้น้ำโซลาร์เซลล์ที่ให้ แหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ปลายท่อของน้ำออกให้จุ่มไว้ในถังที่บรรจุน้ำอยู่ประมาณ 200 L ส่วนปลาย ของท่อน้ำเข้าก็ให้จุ่มอยู่ในถังน้ำเช่นเดียวกัน เพื่อให้เกิดการไหลหมุนเวียนต่อเนื่องกันไปในระบบการ แลกเปลี่ยนความร้อน

- เมื่อเวลาการเก็บน้ำส้มควันไม้ผ่านไปนานประมาณ 6-8 h (ขึ้นอยู่กับสภาพ ไม้) หรือเมื่อน้ำที่หยดมามีลักษณะเป็นยางเหนียวและมีสีดำให้หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้

- บันทึกระยะเวลาในการเกิดควันบ้ำ ระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ นำ น้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้มาวัดปริมาณทั้งหมดของ ๆ เหลว ที่เก็บได้ แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ในกรวยสกัด นาน ประมาณ 3 เดือน สังเกตการแยกชั้น

- ภายหลังจากการปิดเตาประมาณ 24 h นำถ่านภายในเตาเผาออกมา แล้วชั่งหา ปริมาณถ่านที่ได้ทั้งหมด จากนั้นคำนวณหาร้อยละของปริมาณถ่านที่ได้เทียบกับน้ำหนักของไม้ทั้งหมด ที่ใช้

- เมื่อครบกำหนดจะเกิดการแยกชั้นเป็น 3 ส่วน ทำการไขของเหลวในแต่ละส่วน ของน้ำส้มควันไม้ไปวัดหาปริมาณ แล้วเก็บของเหลวส่วนกลาง ซึ่งเป็นส่วนของน้ำส้มควันไม้ไปหา ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ได้ คำนวณหาร้อยละที่ได้เทียบกับน้ำส้มควันไม้ดิบ และศึกษาของและ ลักษณะทางกายภาพ และความฉ่ำจำเพาะ

- ทำการศึกษาซ้ำแต่เปลี่ยนเป็นไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการตากทิ้งไว้ 14 วัน และ 21 วัน ตามลำดับ

- นำผลการศึกษาที่ได้เพื่อหาไม้ที่มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการศึกษาใน ขั้นตอนต่อไป

3) ทำการศึกษาปัจจัยของชนิดของพืชสมุนไพรต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

จากสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำส้มควันไม้จากข้อที่ 1 (อุณหภูมิที่เหมาะสม) และข้อที่ 2 (ความชื้นที่เหมาะสม) จะทำให้ได้ท่อซิเมนต์ที่ใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการตากไม้ จากนั้นนำไม้จากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น จำนวน 5 ชนิด มาทำการตัดให้มีขนาดประมาณ ขนาด 15-20 cm แล้วทำการตากไม้จากชีวมวลพืชสมุนไพรเหล่านี้เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมตามข้อ 2 จากนั้นนำไม้จากชีวมวลพืชสมุนไพรแต่ละชนิดไปทำการหาปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อไม้ จากนั้นจึงทำการเผาถ่านจากไม้และผลิตน้ำส้มควันไม้ตามขั้นตอนและวิธีการดังกล่าว ขั้นตอนของไม้จากพืชสมุนไพรขึ้นต้นแต่ละชนิด

นำน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้จากชีวมวลของพืชสมุนไพรที่ศึกษาทั้งหมด มาวัดปริมาณทั้งหมดของ ๆ เหลว ที่เก็บได้จากพืชสมุนไพรแต่ละชนิด แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ในกรวยสกด นานประมาณ 3 เดือน สังเกตการณ์แยกชั้น จากนั้นเมื่อครบกำหนดจะเกิดการแยกชั้นเป็น 3 ส่วน ทำการไขของเหลวในแต่ละส่วนของน้ำส้มควันไม้ไปวัดหาปริมาณ แล้วเก็บของเหลวส่วนกลาง ซึ่งเป็นส่วนของน้ำส้มควันไม้ไปตรวจหาลักษณะปรากฏ และความถ่วงจำเพาะ ของน้ำส้มควันไม้ จากนั้นทำการคำนวณหาร้อยละของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรแต่ละชนิด

4) ทำการศึกษากำหนดให้น้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้น

ทำการศึกษากำหนดให้น้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้น ผ่านวิธีการ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการที่ 1) การแช่ทิ้งไว้ในถ่านกัมมันต์ (โดยใช้อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักของน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์) วิธีการที่ 2) การกรองด้วยคอลัมน์บรรจุถ่านกัมมันต์ และวิธีการที่ 3) การกลั่นด้วยเครื่องกลั่น โดยในการศึกษาในขั้นตอนนี้ใช้ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้จากไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งจากการศึกษาก่อนหน้าข้างต้น จากนั้นนำน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แต่ละวิธีไปศึกษาลักษณะทางกายภาพ ปริมาณน้ำมันดิน ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และพีเอชของน้ำส้มควันไม้ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำส้มควันไม้ที่ไม่ผ่านการบำบัด (น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการแยกชั้นตามวิธีการปกติ) ดังนี้

ก) การหาลักษณะปรากฏของน้ำส้มควันไม้

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงไปในกระบอกตวงขนาด 500 mL จากนั้นสังเกตลักษณะสี และลักษณะทางกายภาพทั่วไปของน้ำส้มควันไม้ บันทึกสิ่งที่สังเกตเห็นได้

ข) การหาปริมาณน้ำมันดิน (สาร Tar)

อบด้วยระเหยที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าที่ได้ จากนั้นทำการปิเปตน้ำส้มควันไม้มา 25 mL ใส่ในถ้วยระเหย แล้วนำถ้วยระเหยที่ใส่น้ำส้มควันไม้ไปทำการระเหยจนน้ำระเหยออกไปหมด แล้วจึงนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลานาน 3 h ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ แล้วทำการอบซ้ำที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลานาน 3

h อีกครั้งหนึ่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ทำการคำนวณหาปริมาณน้ำมันดินจากผลต่างของน้ำหนักของสารตัวอย่างและถ้วยระเหยที่บันทึกได้ลบด้วยน้ำหนักของถ้วยระเหย

ค) การหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงไปในกระบอกตวงขนาด 500 mL จากนั้นนำไฮโดรมิเตอร์วัดความถ่วงจำเพาะ หย่อนลงไปในสารละลายน้ำส้มควันไม้ในกระบอกตวงนั้น แล้วอ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากสเกลของไฮโดรมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้

ง) การหาค่าความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้

ทำการอบขวดพิคโนมิเตอร์พร้อมฝาให้แห้งสนิท จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างเทใส่ลงไปในขวดพิคโนมิเตอร์จนเต็ม ปิดฝา แล้วใช้กระดาษทิชชูเช็ดโดยรอบขวดให้แห้ง แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่ได้ คำนวณหาผลต่างของน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างที่ใช้ แล้วคำนวณหาความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้จากน้ำหนักของน้ำส้มควันไม้ที่ใช้หารด้วยปริมาณของขวดพิคโนมิเตอร์

จ) การหาค่าความหนืดของน้ำส้มควันไม้

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 50 mL แล้วนำไปวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (viscosity meter) บันทึกค่าที่อ่านได้

ฉ) การหาพีเอชของน้ำส้มควันไม้

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 50 mL แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้โดยใช้พีเอชมิเตอร์ (pH meter) ที่อุณหภูมิห้อง บันทึกค่าที่อ่านได้

3.4.3 การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากการใช้พืชสมุนไพรจำนวน 5 ชนิด ซึ่งน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากพืชสมุนไพรแต่ละชนิดจะทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงจากเดิม 20 เท่า, 100 เท่า และ 500 เท่า จากนั้นนำสารละลายของน้ำส้มควันไม้แต่ละตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ดังนี้

3.4.3.1 การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ ที่อุณหภูมิห้อง

3.4.3.2 การหาค่าความเป็นถ่วงจำเพาะ

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงไปในกระบอกตวงขนาด 500 mL จากนั้นนำไฮโดรมิเตอร์วัดความถ่วงจำเพาะ หย่อนลงไปในสารละลายน้ำส้มควันไม้ในกระบอกตวงนั้น แล้วอ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากสเกลของไฮโดรมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้

3.4.3.3 การหาค่าปริมาณกรดทั้งหมด (total acid)

ในขั้นตอนนี้เป็นการหาปริมาณกรดทั้งหมด (ซึ่งโดยองค์ประกอบของกรดส่วนใหญ่ในน้ำส้มควันไม้เป็นกรดแอซิดิก) ทำโดยการปิเปตน้ำส้มควันไม้มา 10 mL ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่หยด 1% Phenolphthalein indicator ลงไป 3 หยด แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3 M (โดยการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายโพแทสเซียมพทาเลต) บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ และคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4.3.4 การหาค่าปริมาณแอลกอฮอล์

นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างไปวัดค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (methanol base) โดยใช้เครื่องวัดร้อยละแอลกอฮอล์ โดยการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย

3.4.3.5 การหาค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

การหาค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) ทำโดยใช้วิธีของ Loypimai และคณะ (2010) โดยการดูดสารละลายตัวอย่างของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเจือจางมาแล้ว 10 เท่า (โดยการปิเปตน้ำส้มควันไม้ปริมาตร 10 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับให้มีปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน) มาปริมาตร 1 mL เติมสารละลาย Follin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 1 mL และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 2.0 mL จากนั้นเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 25 นาที จนปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm โดยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกรดแกลลิกมาตรฐาน

สร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกโดยนำสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 100 ppm มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 20, 40, 60 และ 80 ppm นำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมาอย่างละ 1 mL ใส่ลงไปในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นนำทุกหลอดเติมสารละลาย Follin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 1 mL และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 2.0 mL เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 25 นาที จนปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ความยาวคลื่น 750 nm เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-Visible spectrophotometer) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3.4.3.5 การหาค่าปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์

ทำการหาปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์โดยใช้วิธีทาง spectrophotometry โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometry ซึ่งทำโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์จาก Stock Standard solution $1,000 \text{ mg L}^{-1}(\text{ppm})$ โดยใช้ น้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI water) เป็นตัว

ทำละลายเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ 1 ppm, 10 ppm, 30 ppm, 50 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์มาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มา 4 mL ใส่ในหลอดทดลองแต่ละหลอด เติม Nash' reagent 2 mL ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด แล้วนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 413 nm แล้วนำค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ที่วัดได้และความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์ไปเขียนกราฟมาตรฐาน ซึ่งในการเตรียมสารละลาย Nash' s reagent โดยการผสมแอมโมเนียมอะซิเตต 15 g ด้วย กรดอะซิติก 0.3 mL, อะซิติกอะซิโตน 0.2 mL และน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตร 100 mL

สำหรับการตรวจหาปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ในน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างทำโดย นำน้ำส้มควันไม้ตัวอย่างปริมาณ 10 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับให้มีปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นเปิดสารละลายตัวอย่างนี้ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม Nash' reagent 2 mL ลงในหลอดทดลอง แล้วนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 413 nm แล้วนำค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ที่วัดได้ไปเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลายตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน แล้วทำซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลายน้ำส้มควันไม้ตัวอย่าง แล้วคำนวณย้อนกลับเพื่อหาปริมาณของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่าน 200 L

3.4.4 การศึกษาคุณภาพของถ่านที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำส้มควันไม้

3.4.4.1 การวิเคราะห์หาสมบัติแบบประมาณ

ทำการวิเคราะห์หาสมบัติแบบประมาณ (proximate analysis) ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในถ่านที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้ทั้ง 5 ชนิด ดังนี้

ก. การหาปริมาณความชื้น (moisture)

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของถ่านตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173 มีวิธีการดังนี้

1.1 ทำการอุ่นเตาเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

1.2 อบด้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลานาน 3 h ปลดออกทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.3 ชั่งถ่านหนัก 1.0 g (โดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปในถ้วยกระเบื้อง แล้วนำไปอบจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นในถ่านตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A และ B = น้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ ตามลำดับ

ข. การหาปริมาณสารระเหยในตัวอย่าง (volatile matter)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของถ่านตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175 มีวิธีการดังนี้

1.1 เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลานาน 3 h ปลดปล่อยก๊าซไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งถ่านที่แห้งสนิท หรือ ใช้ถ่านตัวอย่างที่ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้ว หนัก 1.0 g (โดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปในถ้วยกระเบื้องและปิดฝา

1.3 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C นาน 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทันที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในสภาพบรรยากาศประมาณ 20 นาที แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.4 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา ทำซ้ำจนกระทั่งถ่านตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

1.5 คำนวณหาปริมาณสารระเหยในถ่านตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A และ B = น้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา ตามลำดับ

ค. การหาปริมาณเถ้า (ash)

การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าของถ่านตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 มีวิธีการดังนี้

1.1 เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลานาน 3 h ปลดปล่อยก๊าซไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งถ่านที่แห้งสนิท หรือ ใช้ถ่านตัวอย่างที่ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้ว หนัก 1.0 g (โดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปในถ้วยกระเบื้องและปิดฝา

1.3 เผาถ่านตัวอย่างที่อุณหภูมิ 650 °C (เปิดฝาถ้วยกระเบื้องขณะเผา) แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.4 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา ทำซ้ำจนกระทั่งถ่านตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

1.5 คำนวณหาปริมาณเถ้าในถ่านตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักถ่านตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักถ่านตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

จ. การหาค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D3172-89 ซึ่งจะใช้ค่าที่หาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ASTM D3173) ปริมาณเถ้า (ASTM D3174) และปริมาณสารระเหย (ASTM D3175) โดยใช้การคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว} = 100 - \text{ร้อยละความชื้น} - \text{ร้อยละเถ้า} - \text{ร้อยละสารระเหย}$$

3.4.4.2 การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่านทำโดยใช้ 2 วิธี คือ การใช้เครื่องมือบอมคาร์ลอร์มิเตอร์ และการประมาณค่าจากสมการ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าที่

ก) การหาปริมาณความร้อนโดยวิธีบอมคาร์ลอร์มิเตอร์

ก่อนการใช้งานเครื่อง AutoBomb (ในครั้งแรก) จะทำการ calibrate เพื่อทำการหาค่า water equivalent ของ Bomb calorimeter พร้อมอุปกรณ์ โดยในการ calibrate ทุกครั้งควรใช้สารกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ซึ่งเป็นสารที่มีค่าความร้อนที่ได้รับการทดสอบจากโรงงานแล้วเป็นสารมาตรฐาน โดยทำการทดลองเพื่อหาปริมาณค่าความร้อนดังนี้

1. เตรียม sample (Benzoic acid) โดย ชั่งน้ำหนักของ sample ประมาณ 1.1-1.2 g แล้วนำไปอัดเม็ด โดยที่ระหว่างทำการอัดเม็ดให้นำ cottonwire ใส่งไป และจะต้องได้เป็นเม็ดของ sample ที่มีลักษณะสมบูรณ์ไม่แตกหัก จากนั้นนำเม็ด sample ที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก (ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แล้วบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ไว้

2. นำ sample ที่ได้ใส่งไปใน crucible แล้ววางลงใน crucible support ring ของ Ignition terminal

3. ต่อ Firingwire เข้ากับขั้ว Electrode ทั้ง 2 ข้าง แล้วล็อกให้แน่น

4. นำปลายของสาร Firing cotton ผูกเข้ากับ Firingwire

5. หมุน crucible support ring ให้เข้าที่ แล้วหมุน ring clamping nut เพื่อล็อก crucible support ring ให้แน่น

6. เติมน้ำกลั่นลงใน Bomb body ประมาณ 1 mL

7. นำ Ignition terminal ใส่ลงใน Bomb body ก่อนใส่ควรตรวจสอบความเรียบร้อยอีกครั้งแล้วปิดฝาให้แน่น

8. เติม oxygen ให้ Oxygen Bomb 30 bar

9. นำ Oxygen Bomb ที่ได้ทดสอบวงจรการจุดระเบิดโดยวาง Oxygen Bomb ไว้บน Bombconsole นำ Firing circuit test plug เสียบเข้ากับ Firing socket แล้วกดปุ่ม Test ไฟที่ปุ่ม Test จะต้องติด หากไฟที่ปุ่ม test ไม่ติดแสดงว่าวงจรไฟฟ้า (Firing wire) ที่ต่ออยู่ด้านใน Oxygen Bomb ขาดหรือหลวมหรือหลุด เมื่อทดสอบเสร็จให้นำ Firing circuit test plug เสียบกลับคืนในตำแหน่งเดิม

10. นำ Oxygen Bomb ใส่ลงไปใน Vessel (ภายใน Vessel จะบรรจุน้ำกลั่น โดยเมื่อชั่งน้ำหนักของ Vessel + น้ำ = 2.85 kg) ภายใน Vessel จะมีขาตั้งสำหรับรองรับ Oxygen Bomb อยู่

11. ปิดฝา Jacket cover กด Firing plug เพื่อให้ต่อเข้ากับ Firing socket ของ Oxygen Bomb แล้วกดปุ่ม Test ไฟที่ปุ่ม Test จะติด ถ้าไม่ติดแสดงว่า Firing plug ไม่ต่อกับ Firing socket

12. ตรวจสอบอุณหภูมิของ water jacket โดยอ่านค่าจาก thermometer แบบธรรมดา และตรวจสอบอุณหภูมิของ vessel โดยอ่านค่าจาก digital thermometer (Autotherm II) โดยอุณหภูมิของ water jacket และ vessel จะต้องเท่ากันหรือต่างกันได้ไม่เกิน 0.5 องศา

ในกรณีที่อุณหภูมิมีค่าแตกต่างกัน จะมี 2 กรณี คือ

- อุณหภูมิของ vessel สูงกว่าอุณหภูมิของ water jacket สามารถปรับได้จากตัวเครื่อง โดยหมุนปุ่ม balance ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แล้วหมุนกลับมาในตำแหน่งเดิม

- อุณหภูมิของ water jacket สูงกว่าอุณหภูมิของ vessel สามารถปรับได้โดยการนำเอาถัง vessel มาตั้งบน hotplate เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ

13. ทำการป้อนข้อมูลให้กับเครื่อง

14. ทำการทดสอบหาค่าความร้อนตามวิธีการในคู่มือการใช้เครื่อง AutoBomb

ข) การหาปริมาณความร้อนโดยวิธีการประมาณจากค่า proximate analysis

จากแนวคิดใหม่ของ Nhuchhen and Salam (2012) ได้สร้างสมการเพื่อประมาณค่าความร้อนสูง (High heating value, HHV) จากความสัมพันธ์กับค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัว ร้อยละของสารระเหยได้ และร้อยละของเถ้า โดยความสัมพันธ์ของ linear correlation และ non-linear correlation ไว้ดังนี้

- สมการตามความสัมพันธ์แบบ linear correlation

$$HHV = 19.2880 - 0.2135x (VM/FC) + 0.0234 x (FC/ASH) - 1.9584 x (ASH/VM)$$

- สมการตามความสัมพันธ์แบบ non-linear correlation

$$\begin{aligned} HHV = & 20.7999 - 0.3214 x (VM/FC) + 0.0051 x (VM/FC)^2 - 11.2277 x (ASH/VM) \\ & + 4.4953 x (ASH/VM)^2 - 0.7223 x (ASH/VM)^3 + 0.0383 x (ASH/VM)^4 \\ & + 0.0076 x (FC/ASH) \end{aligned}$$

เมื่อ VM = ปริมาณร้อยละของสารระเหย

FC = ปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัว

ASH = ปริมาณร้อยละของเถ้า

3.4.5 การศึกษาความพึงพอใจต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่านจากการศึกษาวิจัย

ทำการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จากผู้ที่สนใจเข้าร่วมการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์ จากผลการวิจัยที่ได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ได้ทำการศึกษาการไฟโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์ โดยในการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านจากไม้ในท้องถิ่น และภูมิปัญญาในการผลิตน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในการเกษตรและการใช้พืชสมุนไพรในการเกษตร รวมถึงภูมิปัญญาในการประดิษฐ์เตาเผาถ่าน และทำการออกแบบและผลิตเตาเผาถ่านสำหรับการไฟโรไลซิสชีวมวลเพื่อให้ได้น้ำส้มควันไม้ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสารอินทรีย์สกัดจากชีวมวลพืชสมุนไพรในท้องถิ่นโดยใช้วิธีการไฟโรไลซิส และขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสารประกอบทางเคมีที่สำคัญเพื่อให้ได้แนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านเกษตรอินทรีย์ ตลอดจนศึกษาคุณภาพของถ่านที่ได้ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งรายละเอียดของผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในแต่ละขั้นตอน เป็นดังนี้คือ

4.1 ผลการศึกษาการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านจากไม้ในท้องถิ่น และภูมิปัญญาในการผลิตน้ำส้มควันไม้

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านจากไม้ในท้องถิ่น และภูมิปัญญาในการผลิตน้ำส้มควันไม้ จากการสอบถามและสัมภาษณ์จากปราชญ์ชาวบ้านซึ่งสังกัดสำนักงานพลังงานจังหวัดเพชรบูรณ์ และการลงพื้นที่สำรวจการผลิตถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ ผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่าน

ได้ทำการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่านจากการสัมภาษณ์ในเบื้องต้นจากปราชญ์ชาวบ้านที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการสร้างเตาเผาถ่านและการผลิตถ่านสังกัดสำนักงานพลังงานจังหวัดเพชรบูรณ์จำนวน 2 ท่าน ได้แก่ คุณประสิทธิ์ ตระการฤทธิ์ ประธานศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงและพลังงานทดแทนบ้านโนนแดง จังหวัดเพชรบูรณ์ และคุณพยัคฆ์ ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านพลังงานทดแทน จังหวัดเพชรบูรณ์ ประธานศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงและพลังงานทดแทนตำบลทุ่งสมอ โดยทั้งสองท่านได้รับการคัดเลือกจากจังหวัดเพชรบูรณ์ให้เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดและเป็นปราชญ์ชาวบ้านที่อยู่ในทำเนียบหอภูมิปัญญาและวิถีชาวบ้านจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งจากการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถ่านของกลุ่มเกษตรกรและชาวบ้านที่ผลิตถ่านขายในจังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

ในด้านชนิดของเตาเผาถ่านที่มีการผลิตขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนในการผลิตถ่านของกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มชาวบ้านที่มีใช้กันอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์อาจแบ่งได้ดังนี้คือ เตาหลุมกลบ เตาเผาถ่านที่ผลิตจากถังน้ำมัน 200 L เตาอิฐก่อ เตาดินเหนียวก่อ และเตาอิฐอะตะ โดยเตาแต่ละแบบสรุปได้ดังนี้คือ

เตาหลุมกลบหรือเตาหลุมกรมป่าไม้ มักทำโดยการขุดหลุมให้มีขนาดกว้าง x ยาว x ลึก ประมาณ 2 m x 3 m x 0.5 m ผนังเตาก่อด้วยอิฐมอญ ดินเหนียวและทรายละเอียด มีการทำปล่องควันด้านข้าง 3 ปล่อง และช่องสำหรับจุดไฟ 1 ช่อง รอบเตา ต่อกับหลุมสำหรับเผาถ่าน โดยเมื่อเรียงไม้สำหรับผลิตถ่านเต็มเตาแล้วก็จะใช้แผ่นสังกะสีปิดทับและใช้ดินเหนียวผสมทรายละเอียดและน้ำยาตามรอยต่อแล้วใช้ขี้เถ้าหรือดินใส่คลุมด้านบนอีกชั้นหนึ่ง โดยเตาในลักษณะนี้มีข้อดีคือทำได้ง่ายลงทุนต่ำ และลงทุนไม่สูง ใช้ระยะเวลาตั้งแต่การเผาถ่านจนถึงการเก็บถ่านประมาณ 2 วัน แต่ก็มีข้อเสียคือขั้นตอนในการผลิตถ่านต้องใช้เทคนิคเฉพาะมากถึงจะได้ถ่านที่มีคุณภาพดี และไม่เหมาะสำหรับการเผาถ่านที่ต้องการนำสั้ควันไม้ในปริมาณมาก

เตาเผาถ่านจากถังน้ำมัน 200 L โดยใช้ถังน้ำมันขนาด 200 L เป็นตัวเตามีทั้งแบบแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งจะมีห้องสำหรับการจุดไฟด้านข้าง (เตาน้อง) เตาเผาถ่านประเภทนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าเตาแบบแรก โครงสร้างของเตาช่วยในการไหลเวียนของอากาศและความร้อนได้ดี ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการลงทุนผลิตเตาไม่สูงมากนัก และสามารถเก็บน้ำสั้ควันไม้จากกระบวนการเผาถ่านได้ในปริมาณมาก ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ใช้ระยะเวลาตั้งแต่การเผาถ่านจนถึงการเก็บถ่านประมาณ 2 วัน

เตาอิฐก่อ เป็นเตาสำหรับเผาถ่านที่นิยมใช้สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนในเชิงการค้า เนื่องจากมักสร้างให้มีขนาดห้องเตาเผาที่มีความจุสูงประมาณ 20 m³ มีรูปทรงเหมือนมะนาวผ่าซีก ผนังเตาทำด้วยอิฐมอญ นิยมใช้ในการเผาถ่านจากทั้งไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้มะขาม ไม้ประดู่ ไม้เต็ง ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไมยราบ เป็นต้น ข้อดีของเตาประเภทนี้คือ มีความคงทน เตาถ่านได้คุณภาพดี สามารถเก็บน้ำสั้ควันไม้ได้ แต่ก็มีข้อเสียคือ ต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูง เคลื่อนย้ายไม่ได้ ใช้พื้นที่ในการสร้างเตามาก และใช้ระยะเวลาตั้งแต่การเผาถ่านจนถึงการเก็บถ่านนานประมาณหนึ่งอาทิตย์

เตาดินเหนียวก่อ เป็นเตาเผาถ่านที่ทำมาจากการใช้ดินเหนียวก่อ โดยผนังเตาส่วนหนึ่งอยู่บนดิน และอีกส่วนหนึ่งขุดลึกลงไปต่ำกว่าระดับผิวดิน การก่อเตาจะมีรูปทรงคล้ายกับจอมปลวก มีปล่องควันต่อออกมาจากด้านล่างฐานเตาด้านข้าง และมีการขุดช่องสำหรับการจุดไฟด้านหน้าและเชื่อมไปยังห้องเผาถ่าน เป็นเตาที่พบมากสำหรับอุตสาหกรรมการเผาถ่านที่ชาวบ้านตามชนบทนิยมใช้กันเนื่องจากมีต้นทุนในการทำไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับเตาอิฐมอญ สามารถเผาถ่านได้ในปริมาณมาก สามารถเก็บน้ำสั้ควันไม้ได้ แต่ก็มีข้อเสียคือเคลื่อนย้ายไม่ได้ มีอายุการใช้งานไม่นานมากนัก ต้องคอยตรวจสอบต้องคอยขยารอยร้าวรอบเตาเพื่อใช้ไปหลาย ๆ ครั้ง และใช้ระยะเวลาตั้งแต่การเผาถ่านจนถึงการเก็บถ่านนานประมาณหนึ่งอาทิตย์

เตาอิวาเตะ เป็นเตาเผาถ่านที่ผลิตถ่านได้ในคุณภาพสูง มีต้นกำเนิดมาจากประเทศญี่ปุ่นมีรูปทรงของเตาเป็นแบบหยดน้ำมีปล่องควัน 1 ปล่อง มีความสูงน้อยกว่าเตาอิฐของไทย มีผนังเตาหนาป้องกันการสูญเสียความร้อนได้ โดยโครงสร้างของเตาช่วยให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศภายในเตาได้อย่างดี ข้อดีของเตาอิวาเตะนี้คือ สามารถให้ผลผลิตถ่านคุณภาพสูงได้ในปริมาณมาก ถ่านที่ได้ให้ค่าความร้อนสูง สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ในปริมาณมากกว่าเตาชนิดอื่น มีอายุการใช้งานนานมากประมาณ 8-10 ปี แต่ใช้งบประมาณในการลงทุนก่อสร้างแพงมาก (ประมาณสี่หมื่นบาท) ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนสูงกว่าเตาเผาถ่านข้างต้นที่ผ่านมา และใช้ระยะเวลาตั้งแต่การเผาถ่านจนถึงการเก็บถ่านนานประมาณหนึ่งอาทิตย์

จากการลงพื้นที่สำรวจการสร้างเตาเผาถ่านและการผลิตถ่านของกลุ่มเกษตรกร ชาวบ้าน และผู้ประกอบการอุตสาหกรรมครีวเรือน ในท้องถิ่นของพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอเขาค้อ และอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ส่วนใหญ่เป็นเตาเผาถ่านแบบหลุมกลบ เตาดินเหนียวก่อ เตาเผาถ่านจากถังน้ำมัน 200 L เตาอิฐก่อ และเตาอิวาเตะ ตามลำดับ

ดังนั้นจากการสัมภาษณ์ปราชญ์ชาวบ้านผู้เชี่ยวชาญในด้านการสร้างเตาเผาถ่านและการเผาถ่าน ตลอดจนได้มีการลงพื้นที่เพื่อสำรวจการทำเตาเผาถ่านและการผลิตถ่านในท้องถิ่น จึงได้เลือกเตาเผาถ่านแบบนอนที่ผลิตจากถังน้ำมัน 200 L เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ เนื่องจากใช้งบประมาณในการลงทุนในการทำเตาไม่สูงมากนัก ใช้ไม้สำหรับการเผาถ่านในแต่ละครั้งในปริมาณที่ไม่มากนัก สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ในปริมาณมาก และสามารถเคลื่อนย้ายได้

4.1.2 ผลการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตน้ำส้มควันไม้และการใช้ประโยชน์

จากการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตน้ำส้มควันไม้และการใช้ประโยชน์ โดยการสัมภาษณ์ในเบื้องต้นจากปราชญ์ชาวบ้านที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการสร้างเตาเผาถ่านและการผลิตถ่านจำนวน 2 ท่าน ดังที่ได้กล่าวแล้วในข้อ 4.1.1 แล้วได้ทำการสัมภาษณ์ปราชญ์ชาวบ้านที่มีความเชี่ยวชาญด้านการเกษตรอินทรีย์อีก 2 ท่าน ได้แก่ คุณไพรัตน์ ตะไบ ประธานศูนย์กสิกรรมธรรมชาติเขาค้อ และ ร.ต. กิตติภพ ลีอ่อน ปราชญ์ชาวบ้านด้านการผลิตน้ำส้มควันไม้ สรุปข้อมูลที่ได้ดังนี้

ด้านการผลิตน้ำส้มควันไม้พบว่าส่วนใหญ่แล้วการผลิตน้ำส้มควันไม้จะเก็บได้จากกระบวนการเผาถ่านในช่วงระหว่างการเกิดควันบ้างซึ่งมีควันไฟเป็นสีขาวปนเหลืองอ่อน (เป็นช่วงของการเริ่มขั้นตอนของการเปลี่ยนสภาพจากไม้ไปเป็นถ่าน) และหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงของควันจากปล่องออกมาเป็นสีน้ำตาลปนขาว (เป็นช่วงของการเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านเกิดขึ้นสมบูรณ์) โดยในช่วงแรกจะเป็นน้ำส้มควันไม้ที่มีน้ำปนออกมาในปริมาณมาก ในขณะที่ช่วงท้ายของการเก็บน้ำส้มควันไม้จะมีสารน้ำมันดิน (tar) ปนออกมามาก ดังนั้นในการเก็บน้ำส้มควันไม้เพื่อให้ได้น้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพดีควรต้องเก็บในช่วงของการเกิดน้ำส้มควันไม้ที่เหมาะสม และหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ทันทีหากเริ่มมีของเหลวสีน้ำตาลดำที่มีลักษณะหนืดไหลออกมา หรือทดสอบได้จากการใช้กระเบื้องเคลือบองที่ปาก

ปล่องควันหากมีลักษณะของของเหลวสีน้ำตาลเกาะเป็นจุด ๆ ใ้หยุดเก็บทันที โดยคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บน้ำส้มควันไม้ข้างต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ที่นำมาเผาถ่าน ความชื้นของไม้ และการเปิดปิดหน้าต่างเพื่อควบคุมการไหลเข้าของอากาศและการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านด้วย สำหรับเตาเผาถ่านที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ได้ดีและเป็นที่ยอมรับนำมาใช้เผาถ่านควบคู่ไปกับการเก็บน้ำส้มควันไม้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอินทรีย์ โดยทั่วไปคือ เตาเผาถ่านจากถังน้ำมัน 200 L และเตาเผาถ่านดินเหนียวก่อ แต่หากจะให้ได้น้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพดีควรจะใช้เตาเผาอิฐ หรือไม้ก็เตาเผาอิฐ แต่จะใช้เวลาในการเผาถ่าน

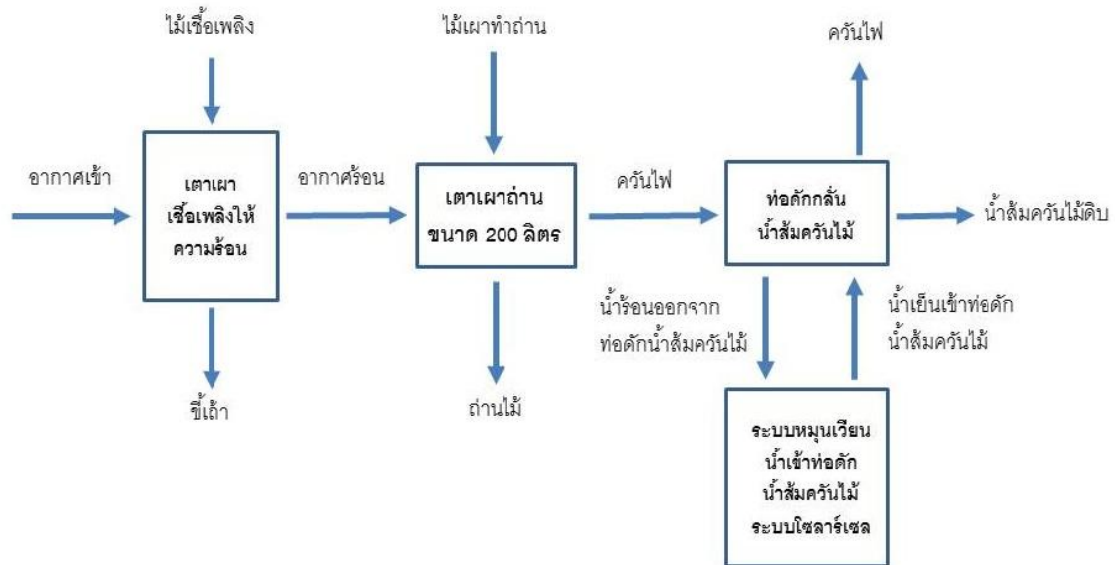
ในด้านการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์นั้น เมื่อนำน้ำส้มควันไม้จากการเผาถ่านแล้วยังไม่สามารถนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นประมาณ 3 เดือน ซึ่งส่วนที่แยกชั้นออกมาล่างสุดหรือพวกเศษตะกอนและน้ำมันดิน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีดำ ส่วนชั้นของเหลวที่อยู่ส่วนกลางคือน้ำส้มควันไม้ซึ่งเป็นของเหลวที่มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ส่วนของเหลวชั้นบนสุดคือน้ำมันใส (light oil) ที่มีลักษณะเป็นของเหลวลอยอยู่เหนือชั้นของน้ำส้มควันไม้ สำหรับการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอินทรีย์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นกับความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยน้ำส้มควันไม้เข้มข้นเริ่มต้นจะมีฤทธิ์เป็นกรดสูงมาก เมื่อทำการเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 20 เท่า จะนำไปใช้ในการฆ่าและไล่แมลง ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 50 เท่า จะนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในดินที่ทำลายต้นพืช เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 100 เท่า จะนำไปใช้ในการรักษาโรคราของต้นพืชและป้องกันแมลง เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 200 เท่า จะนำไปใช้ในเร่งการเจริญเติบโต ขั้วไล่แมลง ป้องกันเชื้อรา เป็นต้น เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 500 เท่า จะนำไปใช้ในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มความหวานให้กับผลไม้ เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 1000 เท่า จะนำไปใช้ในการเป็นสารจับใบร่วมกับการใช้สารชีวภาพอื่น ๆ เป็นต้น

4.2 ผลการศึกษาการออกแบบและจัดทำชุดทดลองถักถนน้ำส้มควันไม้

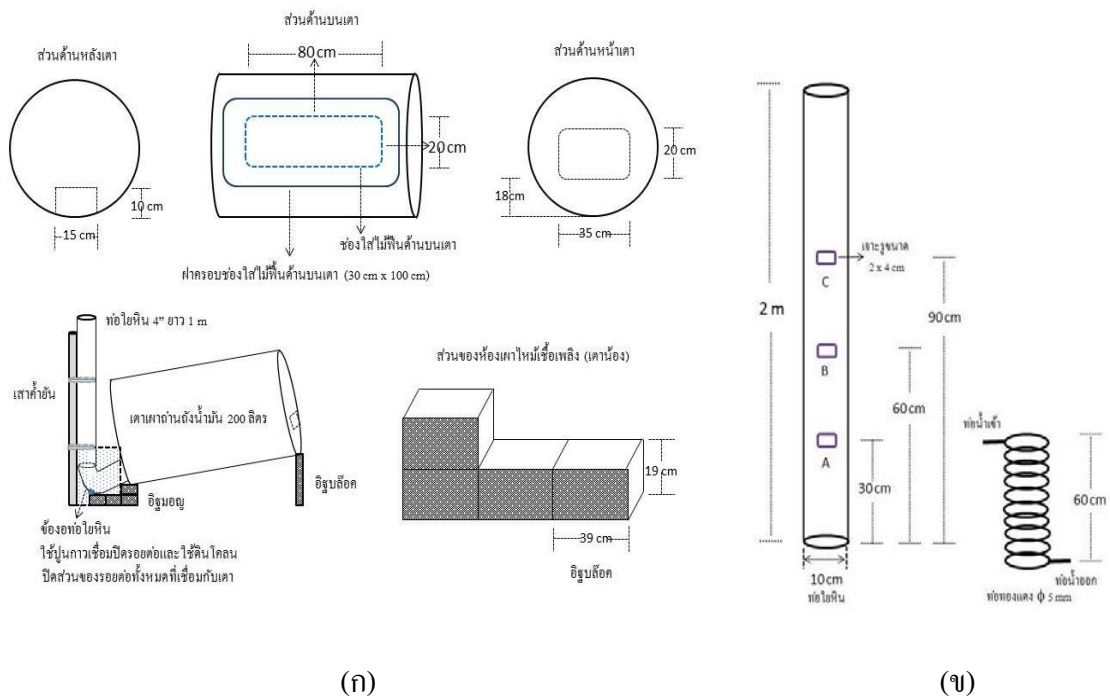
ในขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ในการทำเตาเผาถ่านและการเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยได้พิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยในขั้นตอนต่อไป และการให้ได้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้ออกมาในปริมาณมาก ใช้ต้นทุนไม่สูงมากนัก ตลอดจนมีการใช้พลังงานทดแทนมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนต่าง ๆ ของการเก็บน้ำส้มควันไม้ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาการออกแบบเตาและชุดทอดักกลั่นน้ำส้มควันไม้

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบเตาเผาถ่านเพื่อใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้ และทำการเก็บน้ำส้มควันไม้ ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงกรอบแนวคิดการออกแบบเตาเผาถ่านและชุดผลิตน้ำส้มควันไม้



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของเตาเผาถ่าน (ก) และลักษณะของทอดักเก็บน้ำส้มควันไม้ (ข)

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบดัดแปลงท่อดักน้ำส้มควันไม้ โดยได้มีการใช้ท่อทองแดงใส่ลงไปในท่อดักน้ำส้มควันไม้เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเย็นไหลผ่านภายในท่อด้วยระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้ปั้มน้ำ ซึ่งมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟได้จากแผงโซลาร์เซลล์

4.2.2 ผลการศึกษาการสร้างเตาเผาถ่านจากถังน้ำมัน 200 L และท่อดักน้ำส้มควันไม้

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการสร้างเตาเผาถ่านจากถังน้ำมัน 200 L และท่อสำหรับการดักน้ำส้มควันไม้เพื่อทำการเก็บน้ำส้มควันไม้ ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงเตาเผาถ่านแบบแนวนอนและท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ ที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษาศักยภาพและความเหมาะสมของพืชสมุนไพรในท้องถิ่นสำหรับการนำไปใช้ผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของการผลิตน้ำส้มควันไม้ และการศึกษาปัจจัยของความชื้นต่อน้ำส้มควันไม้ ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาศักยภาพและความเหมาะสมของพืชสมุนไพรในท้องถิ่นสำหรับการนำไปใช้ผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้

ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาถึงศักยภาพและความเหมาะสมของพืชสมุนไพรในท้องถิ่นสำหรับการนำไปใช้ผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ โดยการจัดลำดับความสำคัญและความเหมาะสมจากการให้คะแนนและหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก จากปัจจัยการพิจารณาถึงศักยภาพและความเหมาะสม ได้แก่ ความหาได้ง่ายในท้องถิ่น ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ ปริมาณของถ่านที่ได้ และคุณภาพของถ่านที่ได้ ซึ่งคะแนนมีความหมายดังนี้

5 คะแนน	หมายถึง	มากที่สุด
4 คะแนน	หมายถึง	มาก
3 คะแนน	หมายถึง	ปานกลาง
2 คะแนน	หมายถึง	น้อย
1 คะแนน	หมายถึง	น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.1 แสดงคะแนนที่ประเมินได้จากการพิจารณาไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นต่าง ๆ จากปัจจัยที่สำคัญ 4 ด้าน เพื่อหาศักยภาพและความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่าน

ปัจจัยที่พิจารณา	คะแนนที่ประเมินได้จากการพิจารณาไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้น									
	สะเดา	กระถิน	ไผ่	ยูคาลิปตัส	ไมยราบ	อินทนิล	แคนา	มันสำปะหลัง	ลีลาวดี	มะขาม
1) ความหาได้ง่าย	5	5	5	4	3	3	3	5	3	5
คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50	250	250	250	200	150	150	150	250	150	250
2) ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้	5	5	5	5	4	5	5	4	4	5
คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 100	500	500	500	500	400	500	500	400	400	500
3) ปริมาณถ่านที่ได้	5	5	4	5	4	4	4	3	3	5
คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50	250	250	200	250	200	200	200	150	150	250
4) คุณภาพถ่านที่ได้	4	4	5	4	4	3	4	3	3	5
คะแนนถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50	200	200	250	200	200	150	200	150	150	250
รวมคะแนนที่ได้ (คะแนนเต็ม 1250)	1200	1200	1200	1150	950	1000	1050	950	850	1250
ร้อยละที่ได้	96	96	96	92	76	80	84	76	68	100

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นที่ได้คะแนนร้อยละสูงที่สุด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้แคนา ไม้อินทนิล ไม้ไมยราบ ไม้มันสำปะหลัง และไม้จากลีลาวดี ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพและความเหมาะสมของไม้ที่ได้มาจากพืชสมุนไพรยืนต้นชนิดต่าง ๆ แล้ว จากผลที่ได้จึงได้เลือกไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ไผ่ และไม้ยูคาลิปตัส ในการนำไปใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.3.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของการผลิตน้ำส้มควันไม้

4.3.2.1 ผลการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในท่อก้นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในท่อก้นที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ ซึ่งอุณหภูมิในท่อก้นมีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ โดยได้มีการออกแบบท่อก้นสำหรับการเก็บน้ำส้มควันไม้ซึ่งได้แบ่งออกเป็นท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด A

(แบบทั่วไป) ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด B และท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด C ซึ่งแต่ละชนิดได้มีการเจาะช่องสำหรับการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ระยะห่างจากปล่องควันของเตาที่แตกต่างกัน 3 ระยะ และได้มีการเพิ่มขดลวดทองแดงลงไปในท่อเพื่อให้น้ำไหลผ่านช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนของไอร้อนกับน้ำในท่อทองแดง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป และใช้ไม้จากยูคาลิปตัสที่ผ่านการตากแดดทิ้งไว้นาน 1 อาทิตย์ ในปริมาณเท่ากัน ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดักเก็บน้ำส้มควันไม้

ปัจจัยที่ศึกษา	ชนิดของท่อเก็บน้ำส้มควันไม้			
	แบบทั่วไป	ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C
อุณหภูมิภายในเตาเผา				
-ช่วงสีของควันเป็นสีขาวปนเหลือง (ช่วงเกิดควันบ่า)	320-350 °C	320-350 °C	320-350 °C	320-350 °C
-ช่วงสีของควันเป็นสีน้ำตาลปนเทา (ช่วงเริ่มเก็บน้ำส้มฯ)	320-380 °C	320-380 °C	320-380 °C	320-380 °C
-ช่วงสีของควันเป็นสีน้ำตาลปนขาว(ช่วงหยุดเก็บน้ำส้มฯ)	430-450 °C	430-450 °C	430-450 °C	430-450 °C
อุณหภูมิภายในท่อกลั่น				
-ช่วงสีของควันเป็นสีขาวปนเหลือง (ช่วงเกิดควันบ่า)	82-85 °C	75-83 °C	68-78 °C	62-74 °C
-ช่วงสีของควันเป็นสีน้ำตาลปนเทา (ช่วงเริ่มเก็บน้ำส้มฯ)	350-380 °C	310-370 °C	280-320 °C	263-310 °C
-ช่วงสีของควันเป็นสีน้ำตาลปนขาว(ช่วงหยุดเก็บน้ำส้มฯ)	150-170 °C	140-165 °C	135-162 °C	130-158 °C
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้ (h)	4	4	4	4
ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้ (mL)	1150	1380	950	740
ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้	1.018	1.024	1.010	1.005

จากผลการศึกษาพบว่า การเก็บน้ำส้มควันไม้โดยใช้ท่อดักน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป จะทำได้เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผาอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 320-350 °C โดยจะมีอุณหภูมิในท่อดักเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิ 350-380 °C และมีอุณหภูมิในท่อดักเก็บที่หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิ 150-170 °C เมื่อใช้ท่อกลั่นที่มีท่อทองแดงซึ่งทำให้มีน้ำเย็นไหลผ่านภายในท่อของท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด A, B และ C จะทำให้มีอุณหภูมิภายในท่อกลั่นลดลงตามลำดับ เมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ 4 ชั่วโมงพบว่า ท่อชนิด A จะสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ในปริมาณมากที่สุดและมีค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้สูงกว่าน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้โดยใช้ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป

4.3.2.2 ผลการศึกษาปัจจัยของความชื้นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

ในการศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงปัจจัยของความชื้นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ โดยการใช้ไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นชนิดเดียว คือ ไม้จากยูคาลิปตัส ที่ผ่านการตัดเป็นท่อนและตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน, 14 วัน และ 21 วัน ทำการบรรจุในเตาเผาขนาด 200 L โดยวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้นของไม้ และศึกษาถึงระยะเวลาในการเกิดควันไฟและการเก็บน้ำส้มควันไม้ในแต่ละขั้นตอน ตลอดจนปริมาณน้ำส้มควันไม้และค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้ โดยผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 แสดงปัจจัยของความชื้นที่มีผลต่อการดักเก็บน้ำส้มควันไม้

ปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนวันที่ตากไม้ทิ้งไว้แล้วจึงนำไปเผาถ่าน		
	7 วัน	14 วัน	21 วัน
ร้อยละความชื้นในเนื้อไม้	65.1	42.8	18.4
ระยะเวลาในการเกิดควันบ้ำ (hr)	8	7	5
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำส้มฯ (hr)	6	5	4
ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้ (mL)	930	918	820
ความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้	1.005	1.008	1.012
ร้อยละของปริมาณถ่านที่ได้	22	25	32

จากการศึกษาพบว่าไม้ที่ผ่านการตากแดดทิ้งไว้ 7 วัน, 14 วัน และ 21 วัน มีความชื้นร้อยละ 65.1, 42.8 และ 18.4 ตามลำดับ โดยปริมาณความชื้นในไม้ผลต่อระยะเวลาในการเกิดควันบ้ำและระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ คือ ไม้ที่มีความชื้นน้อยจะมีระยะเวลาในการเกิดควันบ้ำและระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้สั้นกว่าไม้ที่มีปริมาณความชื้นสูง ปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้ (ผ่านการตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น 3 เดือน แล้ว) ของไม้ที่มีความชื้นสูงจะมีปริมาณมากกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำ แต่มีค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ต่ำกว่า ซึ่งในกระบวนการไฟโรไลซิสไม้ที่มีความชื้นที่แตกต่างกันนี้เมื่อหาปริมาณร้อยละของถ่านที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตน้ำส้มควันไม้นี้พบว่าไม้ที่มีความชื้นน้อยกว่าจะมีร้อยละของปริมาณถ่านที่ได้สูงกว่า (ถ่านที่ได้จะมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 22-25 kg)

4.3.2.3 ผลการศึกษาปัจจัยของชนิดของพืชสมุนไพรต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

การศึกษาปัจจัยของชนิดพืชสมุนไพรต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้สะเดา และไม้กระถิน โดยการใช้ไม้จากการตากแดดทิ้งไว้ 21 วัน ในการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งได้ศึกษาถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อไม้ ระยะเวลาที่เกิดควันบ้ำ ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำส้ม ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ ค่าความถ่วงจำเพาะของ ๆ เหลวที่ได้ จากนั้นทำการทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 90 วัน โดยใช้กรวยสกักขนาด 1000 mL แล้วสังเกตการแยกชั้นและไขปริมาณของเหลวในแต่ละชั้นออกมาเพื่อวัดในเชิงปริมาณ โดยการโดยผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปัจจัยของชนิดของไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดักเก็บน้ำสัมน้ำมัน

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าที่ได้จากการศึกษาการผลิตน้ำสัมน้ำมันจากไม้ชนิดต่าง ๆ				
	ไม้มะขาม	ไม้กระถิน	ไม้ไผ่	ไม้ยูคาลิปตัส	ไม้สะเดา
ร้อยละความชื้นในเนื้อไม้	17.2	18.5	17.8	18.8	17.5
ปริมาณของๆ เหลวทั้งหมดที่ได้ (mL)	1,150	1,200	1,250	1,320	1,180
ปริมาณของน้ำสัมน้ำมันที่ได้ (mL)	750	830	850	882	785
ร้อยละของน้ำสัมน้ำมันที่ได้	65.2	69.1	68.0	66.8	66.5
ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสัมน้ำมัน	1.009	1.012	1.024	1.014	1.011

จากผลการศึกษาพบว่าการผลิตน้ำสัมน้ำมันจากไม้ของพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีความชื้นของไม้อยู่ในช่วงร้อยละ 17.2-18.8 จะได้ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่เก็บได้ในช่วงของการเก็บน้ำสัมน้ำมันอยู่ในช่วง 1,150-1,320 mL ซึ่งเมื่อทำการทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นนาน 3 เดือน จะได้ปริมาณของน้ำสัมน้ำมันที่ได้ในช่วง 750-882 mL คิดเป็นร้อยละประมาณ 65.2-69.1 mL โดยน้ำสัมน้ำมันที่ได้จะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.009-1.024 โดยไม้กระถินมีร้อยละของน้ำสัมน้ำมันที่ได้สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้สะเดา และไม้มะขาม ตามลำดับ

4.4 ผลการศึกษาการลดสิ่งปนเปื้อนในน้ำสัมน้ำมัน

จากการศึกษาการศึกษาการทำน้ำสัมน้ำมันให้มีความบริสุทธิ์ขึ้น โดยใช้น้ำสัมน้ำมันที่ได้จากการไฟโรไลซิสไม้กระถิน โดยได้ศึกษาการทำน้ำสัมน้ำมันให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การใช้ถ่านกัมมันต์ในการช่วยในการแยกชั้น การทำให้บริสุทธิ์โดยการผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ และการกลั่น เปรียบเทียบกับวิธีการทำให้บริสุทธิ์ทั่วไป ซึ่งได้ทำการศึกษาคูสมบัติของน้ำสัมน้ำมันหลังจากการผ่านการบำบัดด้วยแต่ละวิธี โดยการศึกษาลักษณะปรากฏ ปริมาณน้ำมันดิน ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอช ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงวิธีการบำบัดน้ำส้มควันไม้ที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

ปัจจัยที่ศึกษา	วิธีปกติ	วิธีการที่ 1	วิธีการที่ 2	วิธีการที่ 3
ลักษณะปรากฏ	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลอ่อน	สีน้ำตาลอ่อน	สีน้ำตาลอ่อน
ปริมาณน้ำมันดิน	2.5097	0.7822	0.1352	0.0246
ความหนาแน่น	1.016	1.022	0.998	1.061
ความถ่วงจำเพาะ	1.012	1.014	0.983	1.036
ความหนืด (mPa.s)	12	12	8	8
ค่าพีเอชของน้ำส้มฯ	3.20	3.15	6.82	3.04

จากผลการศึกษาที่ได้ดังตารางที่ 4.4 จะพบว่าการเก็บน้ำส้มควันไม้ก่อนการบำบัดจะมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำมันดิน 2.5097 g มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.012 มีค่าความหนืด 12 mPa.s และมีค่าพีเอชประมาณ 3.2 เมื่อทำการบำบัดด้วยวิธีการต่าง ๆ แล้วพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณน้ำมันดินลดลงอย่างมากโดยการกลั่นจะทำให้มีปริมาณน้ำมันดินลดลงมากที่สุด น้ำส้มควันไม้ได้จากการบำบัดมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.998-1.061 g/cm³ และมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.983-1.036 ซึ่งน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการบำบัดโดยการผ่านคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์จะมีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด ในขณะที่วิธีการกลั่นมีค่ามากที่สุด สารละลายที่ได้มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 8-12 mPa.s มีค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้อยู่ในช่วง 3.04-6.82 โดยวิธีการผ่านคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์จะมีค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้สูงสุด ในขณะที่การกลั่นทำให้น้ำส้มควันไม้ที่มีค่าพีเอชต่ำสุด โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ช่วยในการแยกชั้นจะมีค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอช ไม่แตกต่างจากน้ำส้มควันไม้เริ่มต้นมากนัก แต่ใช้ระยะเวลาในการแยกชั้นสั้นกว่าคือ ใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วัน ก็จะสังเกตเห็นการแยกชั้นได้

4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพืชสมุนไพรจำนวน 5 ชนิดจากการศึกษาในขั้นตอนที่ผ่านมา โดยผลจากการศึกษาได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าปริมาณกรดทั้งหมด ค่าปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และค่าปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังนี้

4.5.1 ผลการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความถ่วงจำเพาะ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณความเป็นกรดต่าง และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้กระถิน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และไม้สะเดา ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำส้มควันไม้	ค่าพีเอช	ค่าความถ่วงจำเพาะ
น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขาม	3.4	1.009
น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน	3.0	1.012
น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่	2.5	1.024
น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส	2.9	1.014
น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา	3.2	1.011

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ จำนวน 5 ชนิด ซึ่งจากตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2.5-3.4 และมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.009-1.024 ซึ่งค่ามาตรฐานของน้ำส้มควันไม้ได้กำหนดไว้ที่ค่าพีเอช 1.5-2.8 และค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่า 1.001 โดยจากการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้ไผ่จะมีค่าพีเอชต่ำที่สุดและมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงที่สุด และน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้มะขามจะมีค่าพีเอชสูงที่สุดในขณะที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด โดยสภาพความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ที่มีค่าแตกต่างกันนั้นอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของปริมาณองค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่มีอยู่ในปริมาณแตกต่างกันของไม้ที่เป็นไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง ซึ่งไม้เนื้ออ่อนจะมีปริมาณของเซลลูโลสที่สูงกว่าไม้เนื้อแข็งแต่มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่น้อยกว่าไม้เนื้อแข็ง โดยเมื่อเซลลูโลสได้รับความร้อนจนถึงขั้นที่สามารถเกิดการสลายตัวได้ก็จะเกิดการสลายตัวไปเป็นสารประกอบที่มีสภาพเป็นกรดได้ ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสและลิกนินซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างซับซ้อนมากกว่าก็จะสามารถสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ ได้อีก เช่น แอลกอฮอล์ ฟีนอล และแอลดีไฮด์ ได้

เมื่อทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้ที่มีผลต่อค่าพีเอชและค่าความถ่วงจำเพาะ โดยการเจือจางน้ำส้มควันไม้ตัวอย่าง ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยใช้น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขามและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ โดยทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลง 20 เท่า 100 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ แล้วทำการวิเคราะห์หาค่าพีเอชและค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ตัวอย่าง ผลที่ได้แสดงได้ดังตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้มะขามและไม้ไผ่ ที่ผ่านการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลง

ความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้	น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขาม		น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่	
	ค่าพีเอช	ค่าความถ่วงจำเพาะ	ค่าพีเอช	ค่าความถ่วงจำเพาะ
น้ำส้มควันไม้ความเข้มข้นปกติ	3.4	1.009	2.5	1.024
น้ำส้มควันไม้เจือจาง 20 เท่า	4.7	1.003	4.4	1.012
น้ำส้มควันไม้เจือจาง 100 เท่า	5.1	0.979	4.9	1.006
น้ำส้มควันไม้เจือจาง 500 เท่า	5.3	0.972	5.8	1.002

จากผลการศึกษาที่ได้พบว่าน้ำส้มควันไม้เมื่อผ่านการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงพบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นและมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง โดยเมื่อทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 500 เท่า พบว่าจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.3-5.8 และมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.97-1.00

4.5.2 ผลการหาค่าปริมาณกรดทั้งหมด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้กระถิน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และไม้สะเดา ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณของกรดทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำส้มควันไม้	ปริมาณกรดทั้งหมด (M)
น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขาม	0.126
น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน	0.154
น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่	0.212
น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส	0.184
น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา	0.137

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้ไผ่มีปริมาณกรดทั้งหมดโดยกรดส่วนใหญ่คือ กรดอะซิติก (Payamara, 2011) สูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถิน ไม้สะเดา และไม้มะขาม ตามลำดับ

4.5.3 ผลการหาปริมาณแอลกอฮอล์

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณของแอลกอฮอล์ ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์ทั้งหมดของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำส้มควันไม้	ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)
น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขาม	7.2
น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน	5.5
น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่	4.8
น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส	5.3
น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา	6.5

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดนี้ มีปริมาณแอลกอฮอล์ทั้งหมด โดยมีเมทานอลเป็นองค์ประกอบหลัก (Payamara, 2011) อยู่ในช่วงร้อยละ 5.3-7.2 โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้มะขามมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ

4.5.4 ผลการหาค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำส้มควันไม้	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ppm)
น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขาม	821.90
น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน	764.05
น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่	652.48
น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส	697.93
น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา	788.84

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดนี้ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 652.48 – 821.90 ppm โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้มะขามมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ

4.5.5 ผลการหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำส้มควันไม้	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (ppm)
น้ำส้มควันไม้จากไม้มะขาม	267.33
น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน	277.23
น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่	215.35
น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส	232.67
น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา	297.03

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดนี้ มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในช่วง 215.35 – 297.03 ppm โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้สะเดามีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน ไม้มะขาม ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ

4.6 ผลการศึกษาคุณสมบัติของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิส

จากการศึกษานำถ่านที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิด ไปศึกษาคุณสมบัติของถ่านที่เป็นผลพลอยได้ ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.6.1 ผลการวิเคราะห์หาสมบัติแบบประมาณ

จากการวิเคราะห์หาสมบัติแบบประมาณ (proximate properties) ซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile matter, VM) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) ของถ่านชนิด A (จากไม้มะขาม) ถ่านชนิด B (จากไม้กระถิน) ถ่านชนิด C (จากไม้ไผ่) ถ่านชนิด D (จากไม้ยูคาลิปตัส) และถ่านชนิด E (จากไม้สะเดา) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.12 เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.12 แสดงประมาณความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงตัว ของถ่านชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพร

ชนิดของถ่าน	ค่าการวิเคราะห์เชิงประมาณขององค์ประกอบ (% wt)			
	ปริมาณความชื้น	ปริมาณสารระเหยได้	ปริมาณเถ้า	ปริมาณคาร์บอนคงตัว
ถ่านชนิด A	17.12	8.19	6.54	68.15
ถ่านชนิด B	18.14	9.36	8.32	64.18
ถ่านชนิด C	17.46	8.52	9.68	64.34
ถ่านชนิด D	18.56	8.86	8.71	63.87
ถ่านชนิด E	17.48	8.45	7.10	66.97

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณค่าความชื้นของถ่านจากไม้ทั้ง 5 ชนิด ภายหลังจากตากแดดทิ้งไว้ นานประมาณ 20 วัน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่า ถ่านจากไม้ทั้งหมดมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 17.12-18.56 มีค่าปริมาณสารระเหยได้ในช่วงร้อยละ 8.12-9.36 โดยถ่านจากไม้กระถินมีปริมาณสารระเหยได้มากที่สุด มีค่าปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.54-9.68 โดยถ่านจากไม้ไผ่มีค่าปริมาณเถ้ามากที่สุด และมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 63.87-68.15 โดยพบว่าถ่านจากไม้มะขามมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด

4.6.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่าน

จากการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของถ่านที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรของถ่านชนิด A (จากไม้มะขาม) ถ่านชนิด B (จากไม้กระถิน) ถ่านชนิด C (จากไม้ไผ่) ถ่านชนิด D (จากไม้ยูคาลิปตัส) และถ่านชนิด E (จากไม้สะเดา) จากการหาค่าความร้อนของถ่านโดยใช้เครื่องบอมคาลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) เปรียบเทียบกับการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทางทฤษฎีโดยอาศัยสมการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของ Nhuchhem et al. (2012) ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.6.1 โดยวิธีบอมคาลอริมิเตอร์

ค่าความร้อน High Heating Value (HHV) ของถ่านที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมคาลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ผลการศึกษาที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงประมาณความร้อน (HHV) ของถ่านจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมคาลอริมิเตอร์

ชนิดของถ่าน	ค่าความร้อน (MJ/kg) จาก Bomb calorimeter
ถ่านชนิด A	17.8862
ถ่านชนิด B	17.4136
ถ่านชนิด C	16.5750
ถ่านชนิด D	16.9391
ถ่านชนิด E	17.3342

จากผลการศึกษาพบว่าถ่านจากไม้ชนิดต่าง ๆ มีค่าปริมาณความร้อนสูง (HHV) ซึ่งหาได้จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อนโดยใช้เครื่องบอมคาลอริมิเตอร์ มีค่าอยู่ในช่วง 16.9391 MJ/kg ถึง 17.8862 MJ/kg หรือคิดเป็น 4,048 kCal/kg ถึง 4,274 kCal/kg โดยพบว่าถ่านที่ได้จากไม้มะขามมีค่าปริมาณความร้อนที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องบอมคาลอริมิเตอร์มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาได้แก่ถ่านจากไม้กระถิน ถ่านจากไม้สะเดา ถ่านจากไม้ยูคาลิปตัส และถ่านจากไม้ไผ่ ตามลำดับ

4.6.2 โดยวิธีประมาณจากค่า proximate analysis

จากการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของถ่านจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ โดยใช้เทคนิควิธีการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทางทฤษฎีโดยอาศัยสมการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของ Nhuchhem et al. (2012) โดยผลการศึกษาที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงประมาณความร้อน (HHV) ของถ่านจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณทางทฤษฎี

ชนิดของถ่าน	ค่าความร้อน (MJ/kg) จากคำนวณทางทฤษฎี	
	Linear correlation	Non-Linear correlation
ถ่านชนิด A	18.0866	14.4467
ถ่านชนิด B	17.8219	13.9549
ถ่านชนิด C	17.2942	12.9050
ถ่านชนิด D	17.6275	13.5210
ถ่านชนิด E	17.9735	14.2177

จากผลการศึกษาพบว่าถ่านเชื้อเพลิงจากไม้ของพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ นี้ มีค่าปริมาณความร้อนสูง (HHV) ซึ่งหาได้จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อนทางทฤษฎีจากสมการของ Nhuchhem et al. (2012) ซึ่งสร้างสมการเพื่อหาค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงชีวมวลจากองค์ประกอบร้อยละ (% by wt. dry basis) ของสารระเหยได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว ในชีวมวลตัวอย่าง โดยได้สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ทั้งสมการแบบ linear correlation และแบบ non-linear correlation ซึ่งผลจากการคำนวณที่ได้พบว่าหากใช้สมการแบบ linear correlation ค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 17.29 MJ/kg – 18.09 MJ/kg ในขณะที่การใช้สมการแบบ non-linear correlation แสดงค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 12.91 MJ/kg – 14.45 MJ/kg ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าถ่านจากไม้ชนิดต่าง ๆ ที่เตรียมได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนี้ สามารถให้ปริมาณพลังงานความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 13-18 MJ/kg

4.7 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเทคโนโลยี

การศึกษาคความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (ผู้ผ่านการฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี) ในการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์ โดยการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งลักษณะของแบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) จำนวน 10 ข้อ มีตัวเลือก 5 ตัวเลือก คือ พึงพอใจมากที่สุดให้ 5 คะแนน พึงพอใจมากให้ 4 คะแนน พึงพอใจปานกลางให้ 3 คะแนน พึงพอใจน้อยให้ 2 คะแนน และ พึงพอใจน้อยที่สุดให้ 1 คะแนน

สำหรับเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ ที่ได้จากการสอบถามและประมวลผลของคะแนนความพึงพอใจของผู้เข้ารับการอบรมในแต่ละด้านเพื่อแสดงระดับความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้เกณฑ์ในการประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
4.51 – 5.00	พึงพอใจมากที่สุด
3.51 – 4.50	พึงพอใจมาก
2.51 – 3.50	พึงพอใจปานกลาง
1.51 – 2.50	พึงพอใจน้อย
1.00 – 1.50	พึงพอใจน้อยที่สุด

ผลที่ได้จากการสอบถามและการประมวลผลของความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้และได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ที่สนใจเข้าร่วมการอบรม แสดงได้ดังตารางที่ 4.15 ดังนี้

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ

หัวข้อในการประเมิน ความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้งานในระดับต่าง ๆ					ค่าเฉลี่ยการ ประเมิน
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปาน กลาง (3)	น้อย (2)	น้อย ที่สุด (1)	
1.ความสะดวกและความง่ายในการ จัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิต น้ำส้มควันไม้	(12) 60%	(6) 30%	(2) 10%			4.5 มากที่สุด
2.ความสะดวกและความง่ายของ วิธีการเตรียมชีวมวลในการผลิต น้ำส้มควันไม้	(4) 20%	(10) 50%	(6) 30%			3.9 มาก
3.ความสะดวกและความง่ายของ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการ เตรียมน้ำส้มควันไม้		(8) 40%	(6) 30%	(6) 30%		3.1 ปานกลาง
4.ความสะดวกและความง่ายของ วิธีการเตรียมน้ำส้มควันไม้	(6) 30%	(8) 40%	(6) 30%			4.0 มาก
5.ปริมาณและคุณภาพของน้ำส้ม ควันไม้ที่เตรียมได้	(3) 15%	(9) 45%	(8) 40%			3.75 มาก
6.ลักษณะและคุณภาพของถ่านที่ เตรียมได้	(8) 40%	(8) 40%	(4) 20%			4.2 มาก
7.ความสะดวกและความง่ายของ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำ น้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้น	(6) 30%	(10) 50%	(4) 20%			4.1 มาก
8.การใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควัน ไม้ที่ผลิตได้	(6) 30%	(10) 50%	(4) 20%			4.1 มาก
9.การใช้ประโยชน์จากถ่านที่ผลิต ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวล	(5) 25%	(8) 40%	(7) 35%			3.9 มาก
10.การนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้ ไปใช้ประโยชน์ได้จริง	(6) 30%	(10) 50%	(4) 20%			4.1 มาก
ค่าเฉลี่ยรวมในทุกด้าน						3.96 มาก

จากการศึกษาพบว่าผู้เข้าอบรมมีความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นและได้ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ ในด้านต่าง ๆ ดังนี้ ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายในการจัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้อยู่ในระดับมากที่สุด (4.5) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของวิธีการเตรียมชีวมวลในการผลิตน้ำส้มควันไม้มาก (3.9) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมน้ำส้มควันไม้อยู่ในระดับปานกลาง (3.1) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของวิธีการเตรียมน้ำส้มควันไม้อยู่ในระดับมาก (4.0) ระดับความพึงพอใจด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ที่เตรียมได้มาก (3.75) ระดับความพึงพอใจด้านความลักษณะและคุณภาพของถ่านที่เตรียมได้อยู่ในระดับมาก (4.2) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้นอยู่ในระดับมาก (4.1) ระดับความพึงพอใจด้านการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้อยู่ในระดับมาก (4.1) ระดับความพึงพอใจด้านการใช้ประโยชน์จากถ่านที่ผลิตได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลอยู่ในระดับมาก (3.9) ระดับความพึงพอใจด้านการนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ประโยชน์ได้จริงในระดับมาก (4.1) ดังนั้นในภาพรวมของระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (3.96)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการไฟโรไลซิสชีวมวลจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรอินทรีย์ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ 1) เพื่อพัฒนาการออกแบบชุดอุปกรณ์ไฟโรไลซิสจากภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับการกลั่นแยกสารสำคัญของชีวมวลจากพืชสมุนไพร 2) เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ ความชื้น และชนิดของชีวมวลจากสมุนไพรในท้องถิ่นที่มีต่อชนิดของสารสำคัญที่สกัดได้จากกระบวนการไฟโรไลซิส และ 3) เพื่อศึกษาองค์ประกอบและแนวทางใช้ประโยชน์จากสารสำคัญที่สกัดได้ในการใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอินทรีย์ โดยการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 เป็นการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านจากไม้ในท้องถิ่น การผลิตน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในการเกษตรและการใช้พืชสมุนไพรในการเกษตร การประดิษฐ์เตาเผาถ่านสำหรับใช้ในการวิจัย ระยะที่ 2 เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสารอินทรีย์สกัดจากชีวมวลพืชสมุนไพรในท้องถิ่น โดยใช้วิธีการไฟโรไลซิส และระยะที่ 3 เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ตลอดจนศึกษาคุณภาพของถ่านที่ได้ โดยการทำการวิจัยตามระยะต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

5.1 การศึกษาการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตถ่านจากไม้ในท้องถิ่นและภูมิปัญญาในการผลิตน้ำส้มควันไม้

จากการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการผลิตถ่านและการผลิตน้ำส้มควันไม้ของกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มชาวบ้านที่มีถิ่นอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าเตาที่ใช้ในการผลิตถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ที่ใช้กันอยู่ได้แก่ เตาหลุมกลบ เตาเผาถ่านที่ผลิตจากถังน้ำมัน 200 L เตาอิฐก่อ เตาดินเหนียวก่อ และเตาอิฐเตะ โดยส่วนใหญ่ที่พบเป็นเตาเผาถ่านแบบหลุมกลบ เตาดินเหนียวก่อ เตาเผาถ่านจากถังน้ำมัน 200 L เตาอิฐก่อ และเตาอิฐเตะ ตามลำดับ ในด้านการผลิตน้ำส้มควันไม้พบว่าส่วนใหญ่แล้วการผลิตน้ำส้มควันไม้จะเก็บได้จากกระบวนการเผาถ่านในช่วงระหว่างการเกิดควันบ้ำซึ่งมีควันไฟเป็นสีขาวปนเหลืองอ่อน (เป็นช่วงของการเริ่มขั้นตอนของการเปลี่ยนสภาพจากไม้ไปเป็นถ่าน) และหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงของควันจากปล่องออกมาเป็นสีน้ำตาลปนขาว (เป็นช่วงของการเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านเกิดขึ้นสมบูรณ์) โดยในช่วงแรกจะเป็นน้ำส้มควันไม้ที่มีน้ำปนออกมาในปริมาณมาก ในขณะที่ช่วงท้ายของการเก็บน้ำส้มควันไม้จะมีสารน้ำมันดิน (tar) ปนออกมาด้วย ดังนั้นในการเก็บน้ำส้มควันไม้เพื่อให้ได้น้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพดีควรต้องเก็บในช่วงของการเกิดน้ำส้มควันไม้ที่เหมาะสม และหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ทันทีหากเริ่มมีของเหลวสีน้ำตาลดำที่มีลักษณะหนืดไหลออกมา โดยคุณภาพของน้ำส้มควันไม้้นอกจากจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บน้ำส้มควันไม้ข้างต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ที่นำมาเผาถ่าน ความชื้นของไม้ และการเปิดปิดหน้าเตาเพื่อควบคุมการไหลเข้าของอากาศและการควบคุมอุณหภูมิ

ภายในเตาเผาถ่านด้วย สำหรับเตาเผาถ่านที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ได้ดีและเป็นที่ยอมรับนำมาใช้เผาถ่านควบคู่ไปกับการเก็บน้ำส้มควันไม้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอินทรีย์

ในด้านการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์นั้น เมื่อนำน้ำส้มควันไม้จากการเผาถ่านแล้วยังไม่สามารถนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นประมาณ 3 เดือน โดยการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอินทรีย์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งน้ำส้มควันไม้เข้มข้นเริ่มต้นจะมีฤทธิ์เป็นกรดสูงมาก เมื่อทำการเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 20 เท่า จะนำไปใช้ในการฆ่าและไล่แมลง ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 50 เท่า จะนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในดินที่ทำลายต้นพืช เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 100 เท่า จะนำไปใช้ในการรักษาโรคราของต้นพืชและป้องกันแมลง เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 200 เท่า จะนำไปใช้ในเร่งการเจริญเติบโต ขั้วไล่แมลง ป้องกันเชื้อรา เป็นต้น เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 500 เท่า จะนำไปใช้ในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มความหวานให้กับผลไม้ เมื่อเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 1000 เท่า จะนำไปใช้ในการเป็นสารจับใบรวมกับการใช้สารชีวภาพอื่น ๆ เป็นต้น

5.2 การออกแบบชุดเตาเผาถ่านสำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้

จากการออกแบบเตาเผาถ่านเพื่อใช้งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและจัดทำเตาเผาถ่านเพื่อใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้จากถ่านน้ำมันขนาด 200 L และจัดทำเตาแบบแนวนอน ด้านหน้าของเตาจะเป็นช่องสำหรับให้อากาศร้อนผ่าน โดยใช้อิฐมอญและอิฐทนไฟก่อเป็นเตาสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง (เตานึ่ง) ในส่วนด้านหน้าของเตาเผาถ่าน สำหรับด้านหลังของเตาจะเป็นช่องสำหรับให้ควันไฟและแก๊สอื่นๆ ไหลผ่านเพื่อระบายออกสู่ภายนอกผ่านท่อซีเมนต์ (ท่อใยหิน) ซึ่งในการเก็บน้ำส้มควันไม้นั้นได้ทำการดัดแปลงท่อซีเมนต์ที่ใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยการใช้ท่อทองแดงใส่ลงไปในท่อดักน้ำส้มควันไม้เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเย็นไหลผ่านภายในท่อด้วยระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้ปั๊มน้ำ ซึ่งมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟได้จากแผงโซลาร์เซลล์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ได้แก่ การศึกษาสัณยภาพและความเหมาะสมของพืชสมุนไพรในท้องถิ่นสำหรับการนำไปใช้ผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของการผลิตน้ำส้มควันไม้ และการศึกษาปัจจัยของความชื้นต่อน้ำส้มควันไม้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้แคนา ไม้อินทนิล ไม้โมยราบ ไม้มันสำปะหลัง และไม้จากลิลาวดี เมื่อพิจารณาถึงสัณยภาพและความเหมาะสมของไม้ที่ได้มาจากพืชสมุนไพรยืนต้นชนิดต่าง ๆ แล้ว พบว่าไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ไผ่ และไม้ยูคาลิปตัส มีสัณยภาพและมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ได้จริงในชุมชน และได้นำไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นเหล่านี้ไปใช้ในการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ต่อไป

จากการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในท่อกลับที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ ซึ่งอุณหภูมิในท่อกลับมีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ โดยได้มีการออกแบบท่อกลับสำหรับใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้ซึ่งได้แบ่งออกเป็นท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด A (แบบทั่วไป) ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด B และท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด C ซึ่งแต่ละชนิดได้มีการเจาะช่องสำหรับการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ระยะห่างจากปล่องควันของเตาที่แตกต่างกัน 3 ระยะ และได้มีการเพิ่มขดลวดทองแดงลงไปในท่อเพื่อให้น้ำไหลผ่านช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนของไอร้อนกับน้ำในท่อทองแดง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป และใช้ไม้จากยูคาลิปตัสที่ผ่านการตากแดดทิ้งไว้ 1 อาทิตย์ ในปริมาณเท่ากัน พบว่าการเก็บน้ำส้มควันไม้โดยใช้ท่อดักน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป จะทำได้เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผาอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 320-350 °C โดยจะมีอุณหภูมิในท่อดักเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิ 350-380 °C และมีอุณหภูมิในท่อดักเก็บที่หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิ 150-170 °C เมื่อใช้ท่อกลับที่มีท่อทองแดงซึ่งทำให้มีน้ำเย็นไหลผ่านภายในท่อของท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ชนิด A, B และ C จะทำให้มีอุณหภูมิภายในท่อกลับลดลงตามลำดับ เมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ นาน 4 ชั่วโมงพบว่า ท่อชนิด A จะสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ในปริมาณมากที่สุดและมีค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้สูงกว่าน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้โดยการใช้ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้แบบทั่วไป

จากการศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงปัจจัยของความชื้นต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้ โดยการใช้ไม้จากพืชสมุนไพรยืนต้นชนิดเดียว คือ ไม้จากยูคาลิปตัส ที่ผ่านการตัดเป็นท่อนและตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน, 14 วัน และ 21 วัน พบว่าไม้ที่ผ่านการตากแดดทิ้งไว้ 7 วัน, 14 วัน และ 21 วัน มีความชื้นร้อยละ 65.1, 42.8 และ 18.4 ตามลำดับ โดยปริมาณความชื้นในไม้ผลต่อระยะเวลาในการเกิดควันบ้ำและระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ คือ ไม้ที่มีความชื้นน้อยจะมีระยะเวลาในการเกิดควันบ้ำและระยะเวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้สั้นกว่าไม้ที่มีปริมาณความชื้นสูง ปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้ (ผ่านการตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น 3 เดือน แล้ว) ของไม้ที่มีความชื้นสูงจะมีปริมาณมากกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำ แต่มีค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ต่ำกว่า ซึ่งในกระบวนการไพโรไลซิสไม้ที่มีความชื้นที่แตกต่างกันนี้ เมื่อหาปริมาณร้อยละของถ่านที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตน้ำส้มควันไม้นี้พบว่าไม้ที่มีความชื้นน้อยกว่าจะมีร้อยละของปริมาณถ่านที่ได้สูงกว่า

จากการศึกษาปัจจัยของชนิดพืชสมุนไพรต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้สะเดา และไม้กระถิน โดยการใช้ไม้จากการตากแดดทิ้งไว้ 21 วัน พบว่าไม้ของพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ มีความชื้นของไม้ในช่วงร้อยละ 17.2-18.8 จะได้ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่เก็บได้ในช่วงของการเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วง 1,150-1,320 mL ซึ่งเมื่อทำการทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นนาน 3 เดือน จะได้ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ในช่วง 750-882 mL คิดเป็นร้อยละประมาณ 65.2-69.1 mL โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.009-1.024 โดยไม้กระถินมีร้อยละของน้ำส้มควันไม้ที่ได้สูงสุด รองลงมาได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้สะเดา และไม้มะขาม ตามลำดับ

5.3 การศึกษาการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้น

จากการศึกษาการศึกษาการทำน้ำส้มควันไม้ให้มีความบริสุทธิ์ขึ้น โดยใช้ น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้กระถิน โดยได้ศึกษาการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การใช้ถ่านกัมมันต์ในการช่วยในการแยกชั้น การทำให้บริสุทธิ์โดยการผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ และการกลั่น เปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไป พบว่าน้ำส้มควันไม้ดิบก่อนการบำบัดจะมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำมันดิน 2.5097 g (จากน้ำส้มควันไม้ปริมาตร 25 mL) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.012 มีค่าความหนืด 12 mPa.s และมีค่าพีเอชประมาณ 3.2 เมื่อทำการบำบัดโดยวิธีการต่าง ๆ แล้วพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณน้ำมันดินลดลงอย่างมากโดยการกลั่นจะทำให้มีปริมาณน้ำมันดินลดลงมากที่สุด น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการบำบัดมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.998-1.061 g/cm³ และมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.983-1.036 ซึ่งน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการบำบัดโดยการผ่านคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์จะมีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด ในขณะที่วิธีการกลั่นมีค่ามากที่สุด สารละลายที่ได้มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 8-12 mPa.s มีค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ที่อยู่ในช่วง 3.04-6.82 วิธีการผ่านคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์มีค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้สูงสุด ในขณะที่การกลั่นทำให้ได้น้ำส้มควันไม้ที่มีค่าพีเอชต่ำสุด โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ช่วยในการแยกชั้นมีค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอชไม่แตกต่างจากน้ำส้มควันไม้เริ่มต้นมากนัก แต่ใช้ระยะเวลาในการแยกชั้นสั้นกว่าคือ ใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วัน ก็จะสังเกตเห็นการแยกชั้นได้

5.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพืชสมุนไพรจำนวน 5 ชนิด พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2.5-3.4 และมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.009-1.024 ซึ่งค่ามาตรฐานของน้ำส้มควันไม้ได้กำหนดไว้ที่ค่าพีเอช 1.5-2.8 และค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่า 1.001 โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้ไผ่มีค่าพีเอชต่ำสุดและมีความถ่วงจำเพาะสูงสุด ขณะที่น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้ชะมามีค่าพีเอชสูงที่สุดแต่มีความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของปริมาณองค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่มีอยู่ในปริมาณแตกต่างกันของไม้ที่เป็นไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง ซึ่งไม้เนื้ออ่อนจะมีปริมาณของเซลลูโลสที่สูงกว่าไม้เนื้อแข็งแต่มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่น้อยกว่าไม้เนื้อแข็ง โดยเมื่อเซลลูโลสได้รับความร้อนจนถึงขั้นที่สามารถเกิดการสลายตัวได้ก็จะเกิดการสลายตัวไปเป็นสารประกอบที่มีสภาพเป็นกรดได้ ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสและลิกนินซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างซับซ้อนมากกว่าก็จะสามารถสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ ได้อีก เช่น แอลกอฮอล์ ฟีนอล และแอลดีไฮด์ ได้ เมื่อทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้ให้มีความเข้มข้นลดลง 20 เท่า 100 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ พบว่าเมื่อน้ำส้มควันไม้มีความเข้มข้นลดลงจะมีค่าพีเอชสูงขึ้นและมีความถ่วงจำเพาะลดลง เมื่อเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงประมาณ 500 เท่า พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.3-5.8 และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.97-1.00

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณเอทานอล ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด จากผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้ไผ่มีปริมาณกรดทั้งหมด (โดยกรดส่วนใหญ่คือกรดอะซิติก) สูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถิน ไม้สะเดา และไม้มะขาม ตามลำดับ น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดนี้ มีปริมาณเมทานอลอยู่ในช่วงร้อยละ 5.3-7.2 โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้มะขามมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดนี้ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 652.48 – 821.90 ppm โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้มะขามมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา ไม้กระถิน ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ ปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้จากพืชสมุนไพร 5 ชนิด มีปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 215.35 – 297.03 ppm โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลจากไม้สะเดามีปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์สูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำส้มควันไม้จากไม้กระถิน ไม้มะขาม ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ

5.5 การศึกษาคุณสมบัติของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิส

จากการศึกษานำถ่านที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของไม้จากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิด ไปศึกษาคุณสมบัติของถ่านที่เป็นผลพลอยได้ โดยการวิเคราะห์หาสมบัติแบบประมาณ (proximate properties) ซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณสารระเหยได้ (Volatime matter, VM) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) ของถ่านชนิด A (จากไม้มะขาม) ถ่านชนิด B (จากไม้กระถิน) ถ่านชนิด C (จากไม้ไผ่) ถ่านชนิด D (จากไม้ยูคาลิปตัส) และถ่านชนิด E (จากไม้สะเดา) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าปริมาณค่าความชื้นของถ่านจากไม้ทั้ง 5 ชนิด ภายหลังจากตากแดดทิ้งไว้นานประมาณ 20 วัน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวพบว่า ถ่านจากไม้ทั้งหมดมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 17.12-18.56 มีค่าปริมาณสารระเหยได้อยู่ในช่วงร้อยละ 8.12-9.36 โดยถ่านจากไม้กระถินมีปริมาณสารระเหยได้มากที่สุด มีค่าปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.54-9.68 โดยถ่านจากไม้ไผ่มีค่าปริมาณเถ้ามากที่สุด และมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 63.87-68.15 โดยพบว่าถ่านจากไม้มะขามมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด

ค่าความร้อน High Heating Value (HHV) ของถ่านที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมคาลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) พบว่าถ่านจากไม้ชนิดต่าง ๆ มีค่าปริมาณความร้อนสูง (HHV) ซึ่งหาได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนโดยใช้เครื่องบอมคาลอริมิเตอร์ มีค่าอยู่ในช่วง 16.9391 MJ/kg ถึง 17.8862 MJ/kg หรือคิดเป็น 4,048 kCal/kg ถึง 4,274 kCal/kg โดยพบว่าถ่านที่ได้จากไม้มะขามมีค่าปริมาณความร้อนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ถ่านจากไม้กระถิน ถ่านจากไม้สะเดา ถ่านจากไม้ยูคาลิปตัส และถ่านจากไม้ไผ่ ตามลำดับ

และจากการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของถ่านจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ โดยใช้เทคนิควิธีการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทางทฤษฎีโดยอาศัยสมการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของ Nhuchhem et al. (2012) ซึ่งสร้างสมการเพื่อหาค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงชีวมวลจากองค์ประกอบร้อยละ (% by wt. dry basis) ของสารระเหยได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวในชีวมวลตัวอย่าง โดยได้สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ทั้งสมการแบบ linear correlation และแบบ non-linear correlation ซึ่งผลจากการคำนวณที่ได้พบว่าหากใช้สมการแบบ linear correlation ค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 17.29 MJ/kg – 18.09 MJ/kg ในขณะที่การใช้สมการแบบ non-linear correlation แสดงค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 12.91 MJ/kg – 14.45 MJ/kg ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าถ่านจากไม้ชนิดต่าง ๆ ที่เตรียมได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนี้ สามารถให้ปริมาณพลังงานความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 13-18 MJ/kg

5.6 แนวทางการใช้ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้จากพืชสมุนไพรไม้ยืนต้น

จากการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยนี้ผ่านโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ ในด้านต่าง ๆ และได้หาความพึงพอใจด้านความสะดวก และความง่ายในการจัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ ด้านความสะดวกและความง่ายของวิธีการเตรียมชีวมวลในการผลิตน้ำส้มควันไม้ ด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมน้ำส้มควันไม้ ด้านความสะดวกและความง่ายของวิธีการเตรียมน้ำส้มควันไม้ ด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ ด้านความลักษณะและคุณภาพของถ่านที่เตรียมได้ ด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ขึ้น ด้านการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ ด้านการใช้ประโยชน์จากถ่านที่ผลิตได้จากการไพโรไลซิสชีวมวล และด้านการนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ประโยชน์ได้จริง พบว่าในภาพรวมของระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (3.96) ซึ่งได้มีการระดมความคิดเห็นในเรื่องแนวทางการใช้ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้จากพืชสมุนไพรไม้ยืนต้นในด้านการเกษตรอินทรีย์ ดังนี้

น้ำส้มควันไม้ที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งมีความเป็นกรดสูงและมีสารประกอบ เช่น เมทานอล และฟีนอล อยู่มาก สามารถนำไปใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชทางการเกษตรได้ เมื่อนำมาเจือจางโดยผสมน้ำ 20 เท่า พ่นลงดินสามารถนำไปใช้เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดินได้ เมื่อใช้ผสมน้ำ 50 เท่า แล้วพ่นลงดิน เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เข้าทำลายพืช เมื่อใช้ผสมกับน้ำ 200 เท่า ความเข้มข้นนี้สามารถใช้ได้ทั้งขับไล่แมลงป้องกันและกำจัดเชื้อรา และกระตุ้นความต้านทานและการเจริญเติบโตของพืช เมื่อใช้ผสมกับน้ำ 500 เท่า แล้วฉีดพ่นผลอ่อนของพืชเพื่อช่วยขยายให้ผลโตขึ้น และใช้เพื่อเพิ่มน้ำตาลในผลไม้ตลอดจนการนำไปใช้ในการลวกถัสดและกำจัดแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ได้ และการนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- โครงการอนุรักษ์พันธุ์พืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. (2561). ข้อมูลพันธุ์ไม้ [Online]. Available HTTP: www.rspg.or.th/plants_data/index.html [เข้าถึงเมื่อ 20 มิถุนายน 2561].
- เจษฎา ชำรงพาณิชย์ (2554). **ฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำส้มควันไม้ในเครื่องสำอาง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง) มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- เฉลิม เรื่องวิริยะชัย (2553). **น้ำส้มควันไม้ ผลพลอยได้จากการเผาถ่านสู่การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ**. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 51-56.
- ทศพร คมกริช และอัญชลี สวัสดิ์ธรรม. (2555). **ประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากกระท้อน มะขามเทศ มะม่วง และลิ้นจี่ ต่อการไล่แมลงสาบอเมริกัน**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 15 ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ 2555, หน้า 190-199.
- บัญญัติ โจลานันท์ และอาทิตย์ พุทธรักษาติ (2554). **พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์**. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ฉบับที่ 16 (1), หน้า 20-31.
- บุญแสน เตียนกุลธรรม. (2551). **การศึกษาผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ปรับปรุงดินเพื่อการปลูกคะน้า**. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. นครสวรรค์. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- ปิยรัตน์ มูลศรี วิไลพร ปองเพชร และกฤษฎิยา มูลศรี. (2555). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระบายที่เสียหายจากการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์**. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- วรุณ ขี้ส่าง. (2553). **พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรพงษ์ คล้ายมูล. (2545). **การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นและไหลลงโดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สุนทร สิงบุตร. (2535). **สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด**. กรุงเทพฯ: คูณ 39 จำกัด.
- สุภาภรณ์ ปิติพร. (2551). **ความหลากหลายทางชีวภาพกับการแพทย์พื้นบ้านไทย**. เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการสำรวจรวบรวมข้อมูลความหลากหลายทางชีวภาพระดับท้องถิ่น (พื้นที่ป่าตะวันตก) ครั้งที่ 2 สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

- ศุภวิทย์ ลวณะสกล พิสิษฐ์ มณีโชติ และสมบัติ ทิมทรัพย์. (2553). การออกแบบเตาคาร์บอนในชั่วชีวิตมวลอย่างต่อเนื่อง. เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 15–17 ธันวาคม 2553 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.
- อรัญ ขวัญปาน และชนะกานต์ พงสาสนองกุล. (2555). **ประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่าน.** รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- Bekgiorno, V., De Feo, G., Della Rocca, C., Napoli, R.M.A. (2003). **Energy from gasification of solid wastes.** *Waste Management*. 23. p1-15.
- Boyle, G. (1996). **Renewable energy power for a sustainable future.** Alden University. Energypedia. (2015). **Types of Biogas Digester and Plant** [Online]. Available HTTP: www.energypedia.info/wiki/types_of_biogas_digesters_and_plants [2015, April 25].
- Fisher, D., Gagnon, D., & Sutcliffe, D. C. (2015). **Gasifier Powered Go-Kart** [Online]. Available HTTP: www.engin1000.pbworks.com/w/page/18942701/ [2015, June 14].
- IFOM. (2014). The world of organic agriculture statistics & emerging trends 2014. Research institute of organics agriculture, Switzerland.
- Jorgensen, P. J. (2009). **Biogas-green energy.** 2 nd ed. Aarhus : Aarhus University.
- Kopeliovich, D. (2013). **Combustion, pyrolysis and gasification of scrap tires** [Online]. Available HTTP: www.substech.com/dokuwiki/ [2015, June 16].
- Loypimai, P., Moongngam, A., and Chottanom, P. (2009). **Effects of Ohmic Heating on Lipase Activity, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Rice Bran.** *Australian Journal of Basic and Applied Science*. 3(4). P3642-3652.
- Nhuchhen, D. R., Salam, P. A. (2012). **Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach.** *Fuel*. Vol 99. Pp 55-63.
- Obernberger, I. &Thek, G. (2008). Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in Europe State of the Art and relevant future developments. Publish in: Proc.of the 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boiler, April 2008, Portugal.
- Payamara, J. (2011). **Usage of Wood Vinegar as New Organic Substance.** *International Journal of ChemTech Research*. 3(3) : p1658-1662.
- Sasse, L. (1988). **Biogas Plants.** Eschborn : The Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Schobert, H. (2013). **Chemistry of Fossil Fuels and Biofuels.** New York : Cambridge University Press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.659/2553

น้ำส้มควันไม้

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะน้ำส้มควันไม้ที่ใช้ทั่วไปทางด้านเกษตรกรรม ที่บรรจุในภาชนะบรรจุ ไม่ครอบคลุมน้ำส้มควันไม้ที่ใช้เป็นสารกำจัดศัตรูพืช ใช้ในอุตสาหกรรม เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมยา

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 น้ำส้มควันไม้ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ซึ่งได้จากการควบแน่นของควันไฟที่เกิดจากการเผาไม้ดิบในช่วงอุณหภูมิเผา 300 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส โดยใช้อุปกรณ์ควบแน่นที่ทำจากสแตนเลสหรือไม้ เพื่อป้องกันการละลายของแคลเซียม เหล็ก หรือสังกะสี ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอย่างน้อย 45 วัน นำมากรอง อาจนำมากลั่นอีกครั้ง แล้วบรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม เช่น ปรับสภาพดิน ดับกลิ่นเหม็นในคอกสัตว์

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นของเหลวใสเนื้อเดียวกัน มีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอน หรือสารแขวนลอย ไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

3.2 กลิ่น

ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

3.3 ความเป็นกรด-ด่าง

ต้องอยู่ระหว่าง 2.0 ถึง 3.0

การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

3.4 ความถ่วงจำเพาะ

ต้องอยู่ระหว่าง 1.010 ถึง 1.025 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุน้ำส้มควันไม้ในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม สามารถทนต่อการกรีดกร่อนได้ ทึบแสง สะอาด
แห้ง ปิดได้สนิท ไม่รั่ว ไม่แตก และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

4.2 ปริมาตรสุทธิของน้ำส้มควันไม้ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในฉลาก
การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดปริมาตรที่เหมาะสม

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 ที่ภาชนะบรรจุน้ำส้มควันไม้ทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียด
ต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ (ตามชื่อ มผช.) อาจตามด้วยชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำส้มควันไม้ดิบ น้ำส้มควัน
ไม้กลั่น
- (2) ปริมาตรสุทธิ เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือมิลลิลิตร หรือลิตร
- (3) เดือน ปีที่ทำ
- (4) วิธีใช้
- (5) วิธีเก็บรักษา เช่น เก็บในที่มิดชิด ห่างจากมือเด็ก อาหาร และสัตว์เลี้ยง
- (6) คำเตือน เช่น ห้ามรับประทาน ระมัดระวังอย่าให้เข้าตา
- (7) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง น้ำส้มควันไม้ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

6.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น การบรรจุ และเครื่องหมาย
และฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่าง
ต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 3.2 ข้อ 4. และข้อ 5. จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง และความถ่วงจำเพาะ ให้ใช้
ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม เมื่อตรวจสอบ
แล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.3 ข้อ 3.4 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 และข้อ 6.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้รุ่นนั้น
เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาค่าความร้อนทางทฤษฎี

การวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนในทางทฤษฎีอย่างง่ายโดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของถ่านจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยวิธีพร็อกซิเมต (proximate analysis) ซึ่งจะให้ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon content, FC) ปริมาณสารระเหยได้ (volatile matter content, VM) และปริมาณเถ้า (ash content, ASH) ถูกสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์เพื่อใช้คำนวณหาความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งที่พัฒนาขึ้นโดย Nhuchhen และคณะ (2012) ซึ่งได้ใช้ค่าปริมาณร้อยละของ FC, VM และ ASH (% by wt. dry basis of biomass) ในการคำนวณ โดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการแบบ linear correlation และแบบ non-linear correlation ดังนี้

The linear correlation

$$HHV = 19.2880 - 0.2135x \frac{VM}{FC} + 0.0234x \frac{FC}{ASH} - 1.9584x \frac{ASH}{VM} \quad (1)$$

The non-linear correlation

$$HHV = 20.7999 - 0.3214x \frac{VM}{FC} + 0.0051x \left(\frac{VM}{FC} \right)^2 - 11.2277x \frac{ASH}{VM} + 4.4953x \left(\frac{ASH}{VM} \right)^2 - 0.7223x \left(\frac{ASH}{VM} \right)^3 + 0.0383x \left(\frac{ASH}{VM} \right)^4 + 0.0076x \left(\frac{FC}{ASH} \right) \quad (2)$$

ตารางที่ ผข.1 แสดงประมาณความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงตัว ของถ่านที่ได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	ชนิดถ่าน	ค่าการวิเคราะห์เชิงประมาณขององค์ประกอบของถ่านที่ได้จากไม้ชนิดต่างๆ						
		% by wt. wet basis				% by wt. dry basis		
		Moisture	VM	ASH	FC	VM	ASH	FC
1	A	17.12	8.19	6.54	68.15	6.78	5.42	87.79
2	B	18.14	9.36	8.32	64.18	7.66	6.81	85.52
3	C	17.46	8.52	9.68	64.34	7.03	7.98	84.98
4	D	18.56	8.86	8.71	63.87	7.21	7.09	85.69
5	E	17.48	8.45	7.10	66.97	6.97	5.85	87.17

ตัวอย่างการคำนวณ

- ร้อยละของ VM (% by wt. dry basis)

เมื่อ น้ำหนักถ่านตัวอย่างที่ใช้ 1.0138 g มี % Moisture = 17.12

ดังนั้น น้ำหนักถ่านตัวอย่าง (dry basis) = $1.0138 - (1.0138 \times 17.12/100)$

$$= 0.8402 \text{ g}$$

$$VM (\% \text{ by wt. dry basis}) = (8.19/1.0138) \times 0.8402$$

$$VM (\% \text{ by wt. dry basis}) = 6.78 \%$$

- สำหรับการคำนวณหาร้อยละของ ASH (% by wt. dry basis) ก็ทำการคำนวณได้เช่นเดียวกับ VM โดยใช้น้ำหนักของถ่านตัวอย่าง (dry basis)
- สำหรับการคำนวณหาร้อยละของ FC (% by wt. dry basis) = $100 - \%VM - \%FC$
 ดังนั้นถ่านเชื้อเพลิงชนิด A มีค่า VM = 6.78% ASH = 5.42% และ FC = 87.79%

เมื่อแทนค่าในสมการ linear correlation จะได้ว่า

$$HHV = 19.2880 - 0.2135(6.78/87.79) + 0.0234(87.79/5.42) - 1.9584(5.42/6.78)$$

$$HHV = 18.08 \text{ MJ/kg}$$

เมื่อแทนค่าในสมการ non-linear correlation จะได้ว่า

$$\begin{aligned} HHV = & 20.7999 - 0.3214(6.78/87.79) + 0.0051(6.78/87.79)^2 - 11.2277(5.42/6.78) \\ & + 4.4953(5.42/6.78)^2 - 0.7223(5.42/6.78)^3 + 0.0383(5.42/6.78)^4 \\ & + 0.0076(87.79/5.42) \end{aligned}$$

$$HHV = 14.45 \text{ MJ/kg}$$

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้และถ่านจากการผลิตน้ำส้มควันไม้



ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้



ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการบำบัด



ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเจือจาง



ตัวอย่างถ่านที่ได้จากการผลิตน้ำส้มควันไม้

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ:** รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- คุณวุฒิ:** วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ตำแหน่ง:** อาจารย์
- สถานที่ติดต่อ:** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
-
- ชื่อ:** อาจารย์อาทิตย์ หู่เต็ม (ผู้ร่วมวิจัย)
- คุณวุฒิ:** วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ตำแหน่ง:** อาจารย์
- สถานที่ติดต่อ:** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์