



สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตและคุณลักษณะของน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารา

**Optimum Conditions of Wood Vinegar Production from
Rubberwood and Its Characteristics**

สุนันทา อภिरักษากุล

Sunanta Aphiraksakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์	สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตและคุณลักษณะของน้ำส้มควันไม้จาก ไม้ยางพารา
ผู้เขียน	นางสาวสุนันทา อภิรักษากุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

น้ำส้มควันไม้เป็นของเหลวที่ได้จากการควบแน่นควันไฟในกระบวนการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้และคุณลักษณะของน้ำส้มควันไม้ทั้งแบบดิบและกลั่นแยก โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางกายภาพและองค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารา จากการทดลองผลิตน้ำส้มควันไม้พบว่า ผลได้น้ำส้มควันไม้ดิบอยู่ในช่วง 21.91-29.01 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดต่าง 2.8-3.7 ความถ่วงจำเพาะ 1.009-1.023 และมีช่วงจุดเดือด 96-108 องศาเซลเซียส น้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้มีกลิ่นควันไฟและมีสีน้ำตาลแดง โดยพบว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่อผลได้น้ำส้มควันไม้ แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ความถ่วงจำเพาะและช่วงอุณหภูมิเดือด สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้คือ ที่อัตราการการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ให้ผลได้น้ำส้มควันไม้ 27.45 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการเผา 390 นาที

น้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้ถูกนำมากลั่นลำดับส่วนเป็น 3 แฟรคชัน ผลการทดลองพบว่าช่วงความเป็นกรด-ด่างเป็น 2.5-4.0 ความถ่วงจำเพาะ 0.973-1.068 และจากการวิเคราะห์หาชนิดขององค์ประกอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry และปริมาณองค์ประกอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography พบว่า กรดอะซิติกเป็นสารประกอบหลักในน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น โดยน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารามีปริมาณเมทานอลสูงกว่าในน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลในช่วงการกลั่นที่อุณหภูมิสูง

Thesis Title	Optimum Conditions of Wood Vinegar Production from Rubberwood and Its Characteristics
Author	Miss Sunanta Aphiraksakul
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2008

Abstract

Wood vinegar is a liquid that produced by the condensation of the smoke from wood pyrolysis. This thesis emphasized into the optimal conditions for production including its characteristics in physical properties and chemical compositions of crude and distilled rubberwood vinegars. Results of crude wood vinegar productions showed that the yields of wood vinegar were in the ranges of 21.91-29.01%. The pH and specific gravity were attained at about 2.8-3.7 and 1.009-1.023, respectively. The boiling range of wood vinegar was about 96-108°C. Also wood vinegar from this work has a reddish brown tone and smoke odor. Moreover, it was found that heating rates directly effected on product yields while they did not significantly effect on their pH, specific gravities and boiling range. The optimum condition of pyrolysis was at the heating rate 1.4 °C/min with yield of 27.45% and pyrolysis time 390 minutes.

Fractionating distillation was applied to provide three fractions of distilled wood vinegars. Results showed that pH and specific gravity were about 2.5-4.0 and 0.937-1.068, respectively. Chemical composition analysis was obtained by gas chromatography mass spectroscopy and gas chromatography. It was found that wood vinegar mainly composed of acetic acid in both crude and distilled wood vinegars. Moreover, methanol content in rubberwood vinegar was significantly high compared to commercial wood vinegar. Also phenolic compounds were founded in the distilled fraction at high temperature.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ตรวจสอบเอกสาร	4
2.1 ไม้ยางพารา	4
2.2 ไพโรไลซิส	5
2.3 น้ำส้มควันไม้	7
2.4 เตาเผาถ่าน	10
2.5 การกลั่น	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	20
3.1 วัสดุ	20
3.2 อุปกรณ์	21
3.3 วิธีการทดลอง	27
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	34
4.1 ผลของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	34
4.2 การทดสอบสมบัติน้ำส้มควันไม้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน	36
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	49
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	52
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	60
ก ตารางแสดงค่าความเป็นกรดต่างของอัตราการใช้จาง	61
ข ตารางแสดงน้ำหนักน้ำส้มควันไม้ดิบ	66
ค ตัวอย่างผลวิเคราะห์น้ำส้มควันไม้ด้วย GC/MS	67
ประวัติผู้เขียน	71

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปี	4
2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราสดบนฐานแห้ง	5
3.1 แสดงสถานะการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	31
3.2 แสดงสถานะการวิเคราะห์ปริมาณของสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	32
4.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นใน ไม้ยางพารา	34
4.2 ร้อยละผลได้การผลิตน้ำส้มควัน ไม้ดิบที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	36
4.3 แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ดิบ	37
4.4 แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้กลั่น	37
4.5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างและความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควัน ไม้ดิบที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	39
4.6 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำส้มควัน ไม้กลั่นในแต่ละแฟรคชัน	40
4.7 ความถ่วงจำเพาะน้ำส้มควัน ไม้กลั่นในแต่ละแฟรคชัน	42
4.8 แสดงช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควัน ไม้ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	48
4.9 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำส้มควัน ไม้ดิบและน้ำส้มควัน ไม้กลั่น	50
4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบน้ำส้มควัน ไม้ดิบและน้ำส้มควัน ไม้กลั่นจาก ไม้ยางพาราด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	53
4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบน้ำส้มควัน ไม้ดิบและน้ำส้มควัน ไม้กลั่นจากน้ำส้มควัน ไม้เกรดการค้าด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	54
ก.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควัน ไม้ดิบจาก ไม้ยางพาราที่อัตราการเจือจางต่างๆ	61
ก.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควัน ไม้กลั่นจาก ไม้ยางพาราที่อัตราการเจือจางต่างๆ	63
ก.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควัน ไม้เกรดการค้าที่อัตราการเจือจางต่างๆ	65
ข.1 น้ำหนักน้ำส้มควัน ไม้ดิบจาก ไม้ยางพาราที่ได้จากการผลิต ณ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	66

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของเตาหลุม	12
2.2 แสดงลักษณะของเตาอิวาเตะ	12
3.1 ปีกไม้ยางพาราจากโรงเลื่อยในจังหวัดสงขลา	20
3.2 เตาเผาการผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบ	21
3.3 ด้านข้างของชุดเตาเผา	22
3.4 ภายในของเตาเผา	22
3.5 โครงสร้างและมิติของเตาเผา	23
3.6 กระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบ	23
3.7 ลักษณะวัสดุบรรจุที่บรรจุในคอลัมน์ของเครื่องกลั่น	24
3.8 ลักษณะเครื่องกลั่น (ก) ด้านหน้าเครื่องกลั่น (ข) ด้านข้างเครื่องกลั่น	25
3.9 โครงสร้างของเครื่องกลั่น	26
3.10 เครื่องกรองแบบลดความดัน	27
3.11 การจัดเรียงปีกไม้ยางพารา	28
3.12 เครื่องกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D-86	30
3.13 Calibration curve กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่างๆ	33
4.1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาต่อเวลาในการผลิตน้ำส้มควันไม้ในแต่ละอัตรา การเพิ่มอุณหภูมิ (HR = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ °C/min)	35
4.2 ลักษณะของน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพารา (ก) แพรคชัน RW-1 (ข) แพรคชัน RW-2	38
4.3 ลักษณะของน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ยางพารา (ก) แพรคชัน DW-1 (ข) แพรคชัน DW-2 (ค) แพรคชัน DW-3	38
4.4 ลักษณะของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นจากน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า (ก) แพรคชัน RW (ข) แพรคชัน DW-1 (ค) แพรคชัน DW-2 (ง) แพรคชัน DW-3	39
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น	41
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและค่าความถ่วงจำเพาะ ของน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น	42

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.7 แสดงผลของอัตราการเจือจาง RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	43
4.8 แสดงผลของอัตราการเจือจาง RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	43
4.9 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-1/RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	44
4.10 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-2/RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	44
4.11 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-3/RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	45
4.12 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-1/RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	45
4.13 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-2/RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	46
4.14 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-3/RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ	46
4.15 แสดงผลของอัตราการเจือจางน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง	47
4.16 แสดงผลช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ เทียบกับน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า	48
4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้ดิบ RW-1	52
ค.1 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้เกรดชั้น RW-1 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	67
ค.2 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้เกรดชั้น DW-1/RW-1 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	67
ค.3 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้เกรดชั้น DW-2/RW-1 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	68

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ค.4 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน DW-3/RW-1 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	68
ค.5 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน RW-2 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	69
ค.6 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน DW-1/RW-2 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	69
ค.7 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน DW-2/RW-2 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	70
ค.8 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน DW-3/RW-2 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

น้ำส้มควันไม้ (Wood vinegar หรือ Pyrolygneous acid) เป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ ของเหลวดังกล่าวมีสีเหลืองปนน้ำตาล และมีความเป็นกรด น้ำส้มควันไม้ได้จากการควบแน่นควันไฟในขณะที่ทำการเผาถ่าน โดยอุณหภูมิของไม้พินในเตาเผาอยู่ในช่วงประมาณ 300-400 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวทำให้สารประกอบต่างๆ ในไม้พินเกิดการสลายตัวและเกิดสารประกอบใหม่มากมาย การเก็บควันในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส จะได้สารประกอบที่มีประโยชน์น้อยทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่เฮมิเซลลูโลสสลายตัวแล้วและเซลลูโลสกำลังสลายตัว อย่างไรก็ตามการเก็บควัน ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่น้ำมันดินเกิดการสลายตัวได้เป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ 3,4 benzoprene และ 1,2,5,6 dibenzanthracenementyl cholmisrene แม้ว่าสารดังกล่าวสามารถกำจัดออกไปได้ง่ายเมื่อนำมากลั่นซ้ำที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส แต่การนำมากลั่นซ้ำทำให้สูญเสียสารประกอบบางอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเตาผลิตถ่าน ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นถ่านไม้ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตาดังนั้นควันที่ออกมาจากปล่องควันจึงเป็นควันที่ผสมกันระหว่างควันอุณหภูมิต่ำและสูง น้ำมันดินที่ละลายน้ำไม่ได้นั้นไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร เพราะน้ำมันดินจะปิดปากใบของพืช และเกาะติดรากพืชทำให้พืชเติบโตช้าหรือตายได้ ดังนั้นต้องนำน้ำส้มควันไม้ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3-6 เดือน เพื่อทำการแยกน้ำมันดินและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ โดยการแยกแบบง่ายจะใช้การตั้งทิ้งไว้ในถังพัก ส่งผลทำให้น้ำส้มควันไม้ดิบจากเตาสามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนเบาสุดเป็นกลุ่มน้ำมันเบา (Light oil) ส่วนกลางคือน้ำส้มควันไม้ และส่วนล่างสุดเป็นน้ำมันดินและตะกอน อย่างไรก็ตามการแยกแบบง่ายนี้ไม่สามารถจะแยกองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ตามลักษณะของการนำไปใช้งานขั้นสูงได้

น้ำส้มควันไม้มีความแตกต่างจากน้ำส้มสายชูหรือน้ำส้มอื่นๆ ที่ได้จากการหมักหรือสังเคราะห์อื่นๆ คือ มีสารประกอบทางเคมีที่หลากหลาย โดยเฉพาะฟีนอลและสารประกอบกลุ่มฟีนอลซึ่งได้จากการสลายตัวของลิกนินที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ต่าง

ชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย เช่น น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัสมีความเป็นกรดต่ำและมีสีใส แต่มีเมทานอลสูงกว่าไม้กระถินยักษ์หรือไม้สะเดา ทั้งนี้เป็นเพราะชนิดขององค์ประกอบในไม้ที่แตกต่างกันนั่นเอง

น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่างๆ มากกว่า 200 ชนิด ซึ่งได้จากการสลายของไม้ด้วยความร้อน เกิดเป็นสารประกอบใหม่หลายชนิด เช่น กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเป็นหลัก ในขณะที่ฟินอลและสารประกอบกลุ่มฟินอลิกได้จากการสลายตัวของลิกนิน น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบที่สำคัญโดยประมาณดังนี้ น้ำ 85 เปอร์เซ็นต์ กรดอินทรีย์ 3 เปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์อื่นๆ 12 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรดต่ำ ประมาณ 3 ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.012-1.014 แตกต่างกันตามชนิดไม้ (<http://www.agmassmedia.com>)

ปัจจุบันน้ำส้มควันไม้ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้มีมากมายหลายด้านเช่น ทางการแพทย์ ปศุสัตว์ ครัวเรือน และด้านการผลิตพืช โดยมีการศึกษาการนำน้ำส้มควันไม้มาทดลองใช้กับพืชหลายชนิด เช่น ไม้ผล พืชไร่ พืชผัก เป็นต้น ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์นานกว่า 200 ปี โดยใช้เป็นสารฆ่าเชื้อสารดับกลิ่น และใช้ในทางการแพทย์ (Internationnal Bio-Energy, 2003) นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้ยังเป็นสารที่คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) อนุญาตให้ใช้สำหรับแต่งกลิ่นควันในอาหาร รวมทั้งใช้เคลือบผิวงานไม้เพื่อป้องกันมอด แมลง และรา และใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ทดแทนสารเคมีอันตรายบางชนิด ดังนั้นการผลักดันให้น้ำส้มควันไม้เข้าสู่อุตสาหกรรมจึงเป็นเรื่องที่มีความเป็นไปได้สูง (<http://www.moac.go.th>)

นับตั้งแต่ปี 2534 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพารามากที่สุดในโลก โดยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 13.57 ล้านไร่ ภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดประมาณ 10.95 ล้านไร่ การใช้ประโยชน์ไม้ยางพาราส่วนใหญ่มักนำไปแปรรูปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเรือนและเฟอร์นิเจอร์ ในระหว่างการทำไม้แปรรูปจากไม้ยางพาราที่อ่อนนั้นจะได้อี้อยู่และปีกไม้ออกมาจำนวนมาก มีมูลค่าในการซื้อขายต่ำมาก นอกจากนี้ยังมีเศษกิ่งไม้ยางพาราจากการตัดโค่นต้นยางพารา โดยมากมักถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตเป็นถ่านไม้ยางพารา ดังนั้นการใช้ชีวมวล (Biomass) เหล่านี้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกในการนำไปใช้และการเพิ่มมูลค่าได้ดี นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้สามารถนำไปเพิ่มมูลค่าได้อีกโดยการเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ เช่น การกลั่นแยก การดูดซับชั้นสูง การแยกด้วยเยื่อแผ่น เป็นต้น ทั้งนี้การแยกเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์หรือการแยกเฉพาะสารใดสารหนึ่งในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ได้รับความสนใจในอุตสาหกรรมผลิตยาและเครื่องสำอางค์

สำหรับประเทศไทยแล้ว ความรู้ด้านน้ำส้มควันไม้ยังเป็นเรื่องใหม่ และงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษานำไปประยุกต์ใช้ด้านเกษตรกรรม และปศุสัตว์ เป็นหลัก ซึ่งยังขาดข้อมูลทางด้านคุณลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ในการอ้างอิงเพื่อการประยุกต์ใช้ขั้นสูง เพราะการนำไม้ต่างชนิดผลิตเป็นน้ำส้มควันไม้อาจทำให้คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้มีความแตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยจึงเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำส้มควันไม้จากปีกไม้ยางพารา ซึ่งมีปริมาณชีวมวลในแต่ละปีหลายล้านตัน ทั้งนี้ยังได้ศึกษาด้านคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี เพื่อสามารถนำไปพัฒนาการประยุกต์ใช้น้ำส้มควันไม้ในด้านต่างๆ ได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารา โดยเน้นศึกษาผลของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อเวลาในการผลิต และผลได้ของน้ำส้มควันไม้
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารา

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารา
2. เป็นแหล่งข้อมูลขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพาราโดยได้ทราบชนิด และปริมาณของสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำส้มควันไม้ รวมทั้งมีความเป็นไปได้ในการพัฒนานำไปใช้อย่างเหมาะสม
3. เป็นแนวทางการกลั่นแยกน้ำส้มควันไม้เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์
4. ผลสำเร็จของงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้เศษไม้ยางพารา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ไม้ยางพารา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีชีวมวลที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น ฟางข้าวที่เหลือจากการเกี่ยวข้าว ชานอ้อยผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล เศษไม้ยางพาราจากการแปรรูปไม้ยาง เป็นต้น ซึ่งปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีได้แสดงตารางที่ 2.1 สำหรับไม้ยางพาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยนั้น พื้นที่การปลูกยางพาราร้อยละ 90 อยู่ใน 14 จังหวัดภาคใต้ ซึ่งบทบาทของไม้ยางพาราในปัจจุบันได้เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมไม้แปรรูป อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และอื่นๆ ทำให้มีปริมาณเศษชีวมวลเหลือทิ้งจากไม้ยางพาราในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยมากการใช้ประโยชน์จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากมูลค่าต่ำ ฉะนั้นการเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปี

ชีวมวล	ปริมาณ (ล้านตัน)
ชานอ้อย	14.00
ฟางข้าว	12.25
เศษไม้ยางพารา	8.00
กะลาปาล์ม	0.20

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549

ไม้ยางพารา (Rubber wood) เป็นไม้ยืนต้นที่มีถิ่นกำเนิดแถบกลุ่มน้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brazilliensis* การปลูกยางในประเทศไทยเริ่มขึ้นในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2442-2444 ที่จังหวัดตรัง โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูกยางประมาณ 15 ล้านไร่ (<http://www.oae.go.th>) ทั่วทั้ง 14 จังหวัดภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เนื่องจากเมื่อไม้ยางพารามีอายุประมาณ 25-30 ปี จะให้ผลผลิตน้ำยางลดลง ต้องโค่นทิ้งเพื่อปลูกใหม่ทดแทน ต้นยางที่ถูกโค่นจะนำส่งเข้าโรงงานแปรรูปไม้เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ ไม้อัด ไม้อัดประสาน (Particle Board) เอ็มดีเอฟบอร์ด (MDF-Medium Density Fiber Board) เป็นต้น ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นคือ ปีกไม้ ชี้เลื่อย ปลายไม้ ชักบ และตาไม้หรือหัวไม้เป็นจำนวนมาก ซึ่งเหมาะที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิง ผลิตเป็นถ่านไม้ หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น

คุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราโดยเฉพาะสารแทรก (Extractives) พบว่าขึ้นกับชนิดพันธุ์ยางพารา เนื่องจากปริมาณของสารแทรกส่งผลต่อ ความทนทานต่อแมลงและรา การคงรูป การหดตัว และสีของไม้ เป็นต้น โดยองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราสดได้แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราสดบนฐานแห้ง

Component	% by weight
Cellulose	50.63
Lignin	18.06
Pentosan	17.17
Extractive	13.28
Ash	0.86

ที่มา: <http://www.108wood.com>

2.2 ไพโรไลซิส

ปัจจุบันการศึกษาการแปรรูปชีวมวลได้รับความสนใจมาก ทั้งนี้เป็นเพราะชีวมวลเป็นของเหลือทิ้งหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการ มักมีปริมาณมาก และราคาถูกหรือแทบไม่มีราคา สามารถนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ได้มากมายทั้งด้านพลังงาน พลังงานทดแทน ตัวดูดซับสารเคมี เป็นต้น สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลสามารถจำแนกกว้างๆ ได้ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางความร้อนหรือความร้อน-เคมี (Thermochemical biomass conversion process) และกระบวนการวิธีชีวเคมี (Biochemical conversion process) ซึ่งผลการศึกษาจากหลายงานวิจัยพบว่ากระบวนการทางความร้อน-เคมีสามารถให้ผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด สามารถควบคุม สภาวะการทำงานได้ง่าย และมีประสิทธิภาพการผลิตที่ดี อย่างไรก็ตามการใช้

กระบวนการทางความร้อนมักส่งผลต่อด้านสิ่งแวดล้อม และอาจมีผลต่อการเสื่อมสภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้รับระหว่างกระบวนการเช่นกัน

โดยทั่วไป กระบวนการทางความร้อนสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการหลักๆ 5 กระบวนการ คือ การเผาไหม้ (Combustion), แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification), ลิกวิคแฟคชัน (Liquefaction), ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) และไพโรไลซิส (Pyrolysis) โดยในงานวิจัยนี้เน้นศึกษากระบวนการไพโรไลซิสเป็นหลัก เนื่องจากประเทศไทยนิยมนำเศษชีวมวลเช่น ไม้ยาง ไม้โกก้าง ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น มาแปรรูปเป็นถ่านไม้ด้วยวิธีการไพโรไลซิส (การสลายไม้ด้วยความร้อนแบบจำกัดอากาศ) โดยการทำให้ชีวมวลซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน มาทำให้ปราศจากน้ำโดยกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 120-150 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพันธะทางเคมีของโมเลกุลในชีวมวลจะถูกทำลายจากโมเลกุลสายโซ่ยาวเป็นโมเลกุลสายโซ่สั้นๆ ได้เป็น 3 ผลิตภัณฑ์หลักคือ ของแข็ง (ถ่าน), ของเหลว (น้ำส้มควันไม้และน้ำมันดิน), และแก๊ส (คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน เป็นต้น) ทั้งนี้สภาวะการทำงาน (ได้แก่ อัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิ ชนิดของไม้ เป็นต้น) ของกระบวนการไพโรไลซิส มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ได้จากกระบวนการ (ได้แก่ ถ่าน น้ำส้มควันไม้ และแก๊ส) เช่น ที่อัตราการให้ความร้อนสูงและอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่เกิน 650 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มปริมาณถ่านลดลงแต่ปริมาณของเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การควบคุมอัตราการให้ความร้อนต่ำและมีอุณหภูมิต่ำสุดท้าย 590 องศาเซลเซียส พบว่าของเหลวและแก๊สมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Kucuk and Demirbus, 1996 และ Goyal *et al.*, 2008)

การไพโรไลซิสสามารถทำได้ทั้งจากไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน และมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ เช่น การไพโรไลซิสกับไม้เนื้ออ่อนที่มียางพบว่าปริมาณกรดอะซิติกและเมทานอลมีมากกว่าไม้เนื้ออ่อนทั่วไป นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้ชีวมวลเหลือทิ้ง เช่น เศษยางรถยนต์ กระดาษหนังสือพิมพ์ ไม้พาร์ทิเคิลบอร์ด ฯลฯ ซึ่งองค์ประกอบที่ได้จากชีวมวลสังเคราะห์เหล่านี้มีองค์ประกอบเสริมต่างๆ ขึ้นกับชนิดวัตถุดิบ เช่น น้ำส้มควันไม้จากไม้พาร์ทิเคิลที่ได้จากการใช้กาวต่างชนิดกัน มีผลต่อองค์ประกอบในส่วนของสารประกอบฟีนอลิก

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา กระบวนการไพโรไลซิส หรือกระบวนการสลายไม้ด้วยความร้อนและแบบอื่นๆ นั้นได้ลดบทบาทความสำคัญต่อการเป็นแหล่งพลังงานและการผลิตสารเคมี ทั้งนี้เนื่องจากการค้นพบแหล่งน้ำมันและการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อย่างไรก็ตามด้วยปริมาณของแหล่งน้ำมันที่มีแนวโน้มลดลงในอนาคต ทำให้การศึกษาระบบการไพโรไลซิส

และกระบวนการที่เกี่ยวข้องได้กลับมาอยู่ในความสนใจมากขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้เน้นศึกษาผลได้ของน้ำส้มควันไม้จากกระบวนการไพโรไลซิสเป็นหลัก ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3 น้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้เป็นของเหลวสีน้ำตาลปนแดง มีกลิ่นควันไฟ เป็นผลพลอยได้จากการผลิตถ่านไม้ในสภาพอับอากาศ โดยการควบแน่นควันที่เกิดจากการผลิตถ่านไม้ในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่าน การเก็บน้ำส้มควันไม้สามารถทำได้โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากปล่องควันที่มีอุณหภูมิสูง สู่อากาศรอบปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกๆ ที่มีการพัฒนาและมิจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากพืชชนิดต่างๆ เช่น ไม้ไผ่ ไม้ยางพารา ชาติ เป็นต้น (Mu *et al.*, 2003 และ Lim, 2004) นอกจากนี้ยังพบการใช้ น้ำส้มควันไม้ในประเทศตุรกีและมาเลเซียโดยใช้เศษชีวมวลและไม้โกงกางเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำส้มควันไม้ (Gullu and Demirbas, 2001 และ Loo, 2007)

สำหรับการผลิตน้ำส้มควันไม้ในประเทศไทย ได้จากกระบวนการผลิตถ่านไม้เป็นหลัก โดยใช้วิธีดักเก็บควันไม้ที่ได้เหนือปากปล่องเตาเผา แล้วนำมาผ่านการควบแน่นให้ได้เป็นของเหลว สำหรับควันที่ได้เหนือปากปล่องเป็นผลมาจากการไล่ความชื้นและปฏิกิริยาทางเคมีในการเปลี่ยนโครงสร้างเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินเป็นหลัก ตามอุณหภูมิการเผาไหม้ในเตาดังนี้

1. อุณหภูมิเริ่มต้นถึง 180 องศาเซลเซียส

เป็นขั้นตอนของการไล่ความชื้นโดยไม้จะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์และผนังเซลล์ ในช่วงนี้ จะเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อนสะสมไว้

2. อุณหภูมิ 180 ถึง 270 องศาเซลเซียส

เป็นช่วงที่เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เริ่มสลายตัว และจะมีแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กรดอะซิติก และเมทานอลออกมาด้วย

3. อุณหภูมิ 270 ถึง 400 องศาเซลเซียส

เป็นขั้นตอนที่ไม้เปลี่ยนเป็นถ่านเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนเนื่องจากเตาสสะสมความร้อนไว้มากทำให้ไม้ลุกไหม้และสลายตัวโดยความร้อนที่สะสมไว้เอง และเป็นช่วงที่เซลลูโลสสลายตัวและลิกนินเริ่มสลายตัว การสลายตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเกิดสารประกอบใหม่ต่างๆ มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (Pyrolysis)

4. อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขึ้นไป

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเริ่มกลายเป็นถ่านทั่วทั้งเตา โดยคุณภาพของถ่านขึ้นกับอุณหภูมิภายในเตาเช่นกัน กรณีที่ต้องการถ่านคุณภาพสูงต้องเผาถ่านในช่วงอุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามการเผาด้วยอุณหภูมิสูงมีผลต่อผลได้ของถ่าน ทั้งนี้เป็นเพราะบางส่วนของไม้ในเตาจะกลายเป็นเถ้า ทำให้ผลผลิตถ่านลดลง (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานไม้, 2546)

สำหรับระยะเวลาการผลิตถ่านขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความชื้นของไม้ การควบคุมอุณหภูมิ และขนาดของเตา เป็นต้น (ชนิษฐ ทวีการ, 2546) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะควบคุมการเผาไม้ในช่วงอุณหภูมิที่เพียงพอต่อการเก็บน้ำส้มควันไม้เท่านั้น และเมื่อควันไม้จากเตาหมดแล้ว จึงทำการยุติการทดลอง

2.3.1 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

น้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากเตาผลิตถ่าน ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากมีน้ำมันดินปะปนออกมากับน้ำส้มควันไม้ ซึ่งน้ำมันดินจะไปปิดปากใบของพืช และเกาะติดรากพืชทำให้พืชเติบโตช้าหรือตายได้ การทำให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

ก. ปล่อยให้ตกตะกอน นำน้ำส้มควันตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 90 วัน หากนำผงถ่านมาผสมประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ผงถ่านจะดูดซับทั้งน้ำมันใสและน้ำมันดินให้ตกตะกอนลงสู่ชั้นล่างสุดในเวลาเร็วขึ้นเพียงประมาณ 45 วันเท่านั้น ระหว่างการปล่อยให้ตกตะกอน สารประกอบในน้ำส้มควันไม้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน เปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลยาวขึ้น (Polymerlization) เช่น ฟอมาดีไฮด์ (Formaldehyde) ทำปฏิกิริยากับฟีนอลเปลี่ยนเป็นน้ำมันดินแล้วตกตะกอนหรือจับตัวติดแน่นกับผนังของถังเก็บ ดังนั้นหากนำน้ำส้มควันไม้มากรองโดยไม่ตกตะกอนเสียก่อนก็จะเกิดน้ำมันดินใหม่ต่างๆ ที่ได้ผ่านการกรองแล้ว หลังจากตกตะกอนจนครบกำหนดแล้ว นำน้ำส้มควันไม้ที่ได้กรองซ้ำอีกครั้งด้วยผ้ากรอง แล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์

ข. การกรอง โดยใช้ผ้ากรองหรือถังกรองที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะได้คุณสมบัติต่างไปเพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้

ค. การกลั่น โดยกลั่นได้ทั้งในความดันบรรยากาศ และกลั่นแบบลดความดันรวมทั้งกลั่นแบบลำดับส่วน เพื่อแยกเฉพาะสารหนึ่งสารใดในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา

อย่างไรก็ตาม ทั้งการกรองและการกลั่น ต้องทำหลังจากตกตะกอนก่อนเท่านั้น เนื่องจากต้องรอให้เกิดปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อน

2.3.2 คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้แตกต่างจากน้ำส้มสายชู หรือน้ำส้มอื่นๆ ที่ได้จากการหมัก หรือน้ำส้มสังเคราะห์อื่นๆ คือ มีสารประกอบหลากหลายกว่า โดยเฉพาะฟีนอลซึ่งได้จากการสลายตัวของลิกนิน น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบที่สำคัญได้แก่ น้ำประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ กรดอินทรีย์ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ อีกประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดประมาณ 3 ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.012-1.024 แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้

น้ำส้มควันไม้ที่ดีจะมีลักษณะใส สีชา หรือน้ำตาลแดง แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ น้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ต้องมีน้ำมันดินไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่ายโดยการดูจากความใสหากมีน้ำมันดินเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำส้มควันไม้จะขุ่นและมีสีดำ

น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเตาประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีจำนวนมาก แต่มีองค์ประกอบหลักคือกรดอะซิติก (ยกเว้นน้ำ) นอกจากนี้ยังพบเมทานอล อะซิโตน และกรดอินทรีย์อีกหลายชนิด ซึ่งขอสรุปโดยคร่าวๆจากการศึกษาผลวิจัยของน้ำส้มควันไม้จากพืชชนิดต่างๆ ที่ได้จากระบวนการไพโรไลซิส ดังนี้

- กรด: Formic, Acetic, Propanoic, Hexanoic, Benzoic เป็นต้น
- เอสเทอร์: Methyl formate, Methyl propionate, Butyrolactone, Methyl n-butyrate, Velerolactone เป็นต้น
- แอลกอฮอล์: Methanol, Ethanol, 2-propene-1-ol, Isobutanol เป็นต้น
- คีโตน: Acetone, 2-butanone, 2-butanone, 2-pentanone, 2-cyclopentanone, 2,3pentenedione, 2-hexanone, cyclo-hexanone เป็นต้น
- แอลดีไฮด์: Formaldehyde, Acetaldehyde, 2-butenal, Bentanal, Ethanedial เป็นต้น
- ฟีนอล: Phenol, Methyl substituted phenols
- อัลคีน: 2-methyl propene, Dimethylcyclopentene, Alpha-pinene เป็นต้น
- อะโรมาติก: Benzene, Toluene, Xylenes, Naphthalenes, Phenanthrene, Fluoranthrene, Chrysene เป็นต้น
- สารประกอบไนโตรเจน: Ammonia, Methylamine, Pyridine, Methylpyridine เป็นต้น

- ฟูแรน: Furan, 2-methyl furan, 2-furanone, Furfural, Furfural alcohol เป็นต้น
- คิวอาคอล: 2-methoxy phenol, 4-methyl guaiacol, Ethyl guaiacol, Eugenol เป็นต้น
- ไชริงคอล: Methyl syringol, 4-ethyl syringol, Propyl syringol เป็นต้น
- น้ำตาล: Levoglucosan, Glucose, Fructose, D-xylose, D-arabinose เป็นต้น
- ออกซิเจนเทท: Hydroxyacetaldehyde, Hydroxyacetone, Dimethyl acetal, Acetal, Methyl cyclopentenolone เป็นต้น

2.3.3 การใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้

เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่างๆ มากมายหลายชนิด จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายตั้งแต่ประยุกต์ใช้ในด้านเกษตร เรื่องการเจริญเติบโตของพืช มาเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน (Mu *et al.*, 2003) ใช้ผลิตสารป้องกันเนื้อไม้ สารต้านเชื้อรา ปลวก มอด แมลง ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ (Lim, 2004 และ Nakai *et al.*, 2004) หรือในประเทศบราซิลมีการประยุกต์กับอุตสาหกรรมยางแผ่น (Ferreira *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตสารดับกลิ่นตัว ผลิตเป็นยารักษาโรคผิวหนัง เป็นสารแอนติออกซิแดน (Loo *et al.*, 2007)

2.4 เตาเผาถ่าน

เตาผลิตถ่านมีด้วยกันหลากหลายชนิด แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

2.4.1 เตาผลิตถ่านระบบอุตสาหกรรม

เป็นเตาผลิตถ่านที่มีวัตถุประสงค์ในการนำผลพลอยได้ไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมี โดยนำควันที่เกิดขึ้นจากการเผาถ่านมาควบแน่น แล้วนำของเหลวที่ได้มากลั่นลำดับส่วน เตาประเภทนี้มีจุดเด่นคือ มีกำลังการผลิตสูง และยังสามารถนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมป่าไม้มาเป็นวัตถุดิบได้อีกทางหนึ่ง

2.4.2 เตาผลิตถ่านแบบดั้งเดิม

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

ชนิดที่ 1 เตาหลุมหรือเตากลบ (Ground pit or heap kiln) เป็นเตาชนิดแรกของโลกที่ยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน มีรูปร่าง ขนาด และวัสดุที่ใช้กลบแตกต่างกันไปแต่ละภูมิภาค เช่น เตากลม เตาเหลี่ยม เตาโดม เป็นต้น กลบด้วยดิน แกลบ ขี้เถ้า เป็นต้น เตาชนิดนี้ก่อสร้างง่าย ราคาถูก แต่ผลผลิตและคุณภาพต่ำเนื่องจากอากาศสามารถไหลผ่านวัสดุที่ใช้กลบได้ ลักษณะเตาหลุมแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2.1

ชนิดที่ 2 เตาโลหะ (Metal kiln) เป็นเตาขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้ ให้ผลผลิตและคุณภาพถ่านดีพอสมควร แต่อายุการใช้งานสั้นเนื่องจากความร้อนและกรดในควันขณะเผาถ่านไม้

ชนิดที่ 3 เตาดินหรืออิฐก่อ (Mud or brick kiln) เตาชนิดนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

แบบที่ 1 เตาแบบตะวันออกกลาง มีใช้ในอิรัก อิหร่าน ปากีสถาน เป็นต้น เป็นเตาทรงกลมก่อสร้างด้วยหิน โดยมีดินเหนียวเป็นตัวประสาน

แบบที่ 2 เตาแบบยุโรป มีใช้ในยุโรปและอาณานิคม เป็นเตาทรงโดมมีช่องลมเข้าโดยรอบจึงเรียกว่า เตารังผึ้ง (Beehive kiln) มีจุดเด่นคือค่าก่อสร้างถูก ระยะเวลาในการผลิตสั้น ผลผลิตและคุณภาพถ่านอยู่ในเกณฑ์ดี เตารังผึ้งมีจุดด้อยคือมีทรงกลมและสูง มีช่องเดิมเชื่อเพลิงอยู่ด้านข้างทำให้การกระจายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร รวมทั้งการมีช่องอากาศเข้าและปล่องควันหลายจุดทำให้ยากต่อการควบคุม

แบบที่ 3 เตาแบบจีน มีใช้ในจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี เป็นเตารูปไข่หลังคาโค้งเพื่อให้การกระจายความร้อนจากด้านหน้าไปด้านหลังและจากหลังคาไปยังพื้นเป็นไปอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ญี่ปุ่นได้พัฒนาเตาชนิดนี้อย่างต่อเนื่อง จนได้เตาถ่านที่เรียกว่า เตาอิวาเตะ (Iwate kiln) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.2 จุดเด่นคือสามารถผลิตถ่านได้ตามวัตถุประสงค์ทุกชนิด แต่มีจุดด้อยคือค่าก่อสร้างสูง



ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงลักษณะของเตาหลุม
ที่มา: <http://www.forest.go.th>



ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงลักษณะของเตาอิวาเตะ
ที่มา: <http://www.charcoal.snmcenter.com>

สำหรับวิธีการเผาถ่านสามารถจำแนกออกเป็น 2 วิธีคือ

1. การเผาด้วยการสันดาปโดยตรง (Direct draft technique) ทำโดยการจุดไฟที่กองไม้ที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการเผาถ่านโดยตรง เมื่อไฟลุกไหม้ดีแล้วจึงนำวัสดุต่างๆ เช่น แกลบ สังกะสี ขี้เลื่อย ฯลฯ นำมาปิดกองไม้เพื่อจำกัดอากาศให้ได้กลายเป็นถ่าน

2. การเผาด้วยการสันดาปทางอ้อม (Indirect or reverse draft technique) โดยการจุดไฟโดยตรงช่องใส่ไฟเพื่อให้อากาศร้อนไปไล่ความชื้นในเนื้อไม้ จนกระทั่งไม้ในเตาเผาถ่านเกิดกระบวนการเผาถ่านโดยสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการเผาถ่านทางอ้อมยังแบ่งออกเป็นวิธีการย่อยได้ โดยมีหลักการสำคัญเหมือนกัน ยกเว้นวิธีการใส่พื้นเลียงหน้าเตาเท่านั้น (จิระศักดิ์ ฝูมูลตรี, 2548)

2.5 การกลั่น

กระบวนการกลั่นเป็นกระบวนการแยกเพื่อให้ได้สารที่บริสุทธิ์ขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้เพื่อแยกน้ำส้มควันไม้ดิบเพื่อกำจัดกลุ่มสารที่ไม่ต้องการออก เช่น น้ำมันดิน เป็นต้น การกลั่นเป็นการแยกเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่มีสมบัติตรงตามความต้องการ ซึ่งมีหลักการพื้นฐานดังนี้ เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ องค์ประกอบในเฟสไอที่ได้จะแตกต่างจากเฟสของเหลว ความแตกต่างขององค์ประกอบในเฟสทั้งสองนี้เกิดขึ้นที่สมดุลตามหลักเกณฑ์ของกระบวนการกลั่น และโดยทั่วไปแล้วในกระบวนการกลั่นจะมีความต้องการที่สำคัญคือ การจัดให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างกระแสไอและของเหลวเพื่อการเข้าใกล้สถานะสมดุลให้มากที่สุดแต่ในทางปฏิบัติจริงๆ จะไม่สามารถทำให้เกิดสถานะที่สมดุลได้อย่างสมบูรณ์

กระบวนการกลั่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะมีอยู่หลายขนาดด้วยกัน ตั้งแต่กระบวนการกลั่นขนาดเล็กในห้องทดลองหรือในโรงงานจำลอง ซึ่งมีการป้อนสารในปริมาณน้อย จนกระทั่งถึงการกลั่นขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่มีกำลังการผลิตสูง กระบวนการกลั่นแยกที่ดีจะต้องดำเนินกระบวนการแบบต่อเนื่องซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ รวมทั้งมีการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า และให้กำลังการผลิตที่สูง ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพการกลั่นได้แก่ สมบัติทางกายภาพของสารที่จะนำมากลั่น เช่น ความดันไอ สมดุลไอ-ของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ และสภาพระเหย รวมถึงลักษณะเครื่องกลั่น เช่น คอลัมน์ วัสดุบรรจุ รีฟลักซ์ เป็นต้น สมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับการกลั่นมีดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ ถ้าให้ความร้อนแก่ของเหลวที่อยู่ในหม้อกลั่น จะทำให้อุณหภูมิของของเหลวเพิ่มสูงขึ้นและเกิดการระเหยกลายเป็นไอได้มากขึ้น

จะส่งผลให้ความดันส่วนของไอที่อยู่เหนือของเหลวมีค่าสูงขึ้นจนระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ และจะมีค่าความดันไอค่าใหม่ของของเหลวที่สูงกว่าค่าเดิมเกิดขึ้น ดังนั้นค่าความดันไอนี้จึงแปรผันตามค่าอุณหภูมิของของเหลว

2. สมดุลไอ-ของเหลว สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวและไอหมายถึง ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจำนวนโมเลกุลที่เกิดการระเหยจากเฟสของเหลวเท่ากับจำนวนโมเลกุลที่เกิดการควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวใหม่โดยอุณหภูมิตั้งนี้จะต้องคงที่ เราจะเรียกไอที่อยู่ในสถานะเช่นนี้ว่าไออิ่มตัว และความดันที่วัดได้ในขณะนี้จะเรียกว่า ความดันไอ

3. สภาพระเหย จำนวนโมเลกุลที่ระเหยจากพื้นผิวของสารใดๆ ที่อุณหภูมิตั้งนี้ค่าหนึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้น สำหรับโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนจะมีสภาพระเหยที่ต่ำกว่าโมเลกุลที่คาร์บอนไฮโดรเจน ส่วนของเหลวซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลไฮโดรเจนจะมีสภาพระเหยน้อยกว่าของเหลวที่มีส่วนประกอบเป็นโมเลกุลไฮโดรเจนจึงทำให้โมเลกุลไฮโดรเจนมีอุณหภูมิจุดเดือดที่สูงกว่าโมเลกุลไฮโดรเจน และที่สถานะอุณหภูมิตั้งนี้เหมือนกันโมเลกุลไฮโดรเจนจะมีค่าความดันไอดังกล่าวโมเลกุลไฮโดรเจน

โดยปกติแล้วการกลั่นที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยเครื่องให้ความร้อนแก่สารป้อนถึงเก็บสารป้อน คอลัมน์กลั่น เครื่องควบแน่นผลผลิตยอดหอ เครื่องให้ความร้อนแก่ของเหลวก้นหอ การส่งสารย้อนกลับเข้าหอกลั่นซึ่งเรียกว่ารีฟลักซ์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของผลผลิตทั้งสองเพื่อลดอุณหภูมิให้สามารถเก็บในถังเก็บได้ คอลัมน์เป็นเครื่องมือหลักของระบบการกลั่นจึงต้องระบุรายละเอียดของคอลัมน์ซึ่งต้องพิจารณาการเลือกชนิดของอุปกรณ์เพิ่มการสัมผัสซึ่งอาจเป็นชนิดเพลทหรือวัสดุบรรจุ (Packing) และการเลือกความสามารถของคอลัมน์ให้รองรับการไหลของไอ-ของเหลวที่ต้องการ ในขณะเดียวกันจะต้องมีการถ่ายโอนมวลสารออกแบบคอลัมน์ที่ให้ประโยชน์สูงสุด และสิ่งที่กำหนดความสามารถในการแยกของคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์และอัตราส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ซึ่งจะส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานที่มากขึ้น ดังนั้นการกลั่นแยกจะเกิดขึ้นจากข้อจำกัดดังนี้

1. ความสามารถของเครื่องควบแน่น จะต้องออกแบบให้เครื่องควบแน่นสามารถรองรับการควบแน่นของผลผลิตเบาที่ออกมาจากยอดหอให้เพียงพอ ไม่เช่นนั้นผลผลิตส่วนบนที่ส่งกลับมาเข้าคอลัมน์ในรูปของรีฟลักซ์ยังคงอยู่ในสถานะไอ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกลั่นแยกลดต่ำลงได้

2. ความสามารถของเตาเผาที่หม้อกลั่น ถ้าเตาเผาที่มีความสามารถในการให้ความร้อนไม่เพียงพอทั้งกำลังการผลิตของการกลั่น จะทำให้ผลผลิตส่วนล่างที่ส่งกลับเข้าคอลัมน์ยังคงอยู่ในสถานะของเหลว ส่งผลให้ไม่เกิดการระเหยของสารและไม่เกิดการกลั่นแยกขึ้น

รีฟลักซ์เป็นของเหลวที่ได้จากการควบแน่นของไอที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายนอก การควบแน่นนี้อาจจะเป็นการควบแน่นแบบบางส่วนหรือแบบทั้งหมด ดังนั้นรีฟลักซ์จึงอาจจะเป็นของเหลวที่จุดฟองอันเกิดจากการควบแน่นบางส่วน โดยของเหลวส่วนนี้จะสมดุลกับไอที่ไม่ถูกควบแน่น หรือรีฟลักซ์อาจจะเป็นของเหลวที่ผ่านการควบแน่นของไอและดึงความร้อนออกไปจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดฟอง ข้อจำกัดในการออกแบบคอลัมน์คือ การดำเนินการที่รีฟลักซ์ต่ำสุด (Minimum reflux) และรีฟลักซ์ทั้งหมด (Total reflux) ในการออกแบบคอลัมน์จึงต้องกำหนดรีฟลักซ์ก่อนทำการคำนวณเพื่อให้ผลผลิตของคอลัมน์อยู่ภายในช่วงของข้อจำกัดทั้งสองนี้ การพิจารณาเลือกช่วงรีฟลักซ์ที่เหมาะสมจะมีประโยชน์ในทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการเป็นอย่างมาก

คอลัมน์วัสดุบรรจุ (Packed column) คอลัมน์อีกชนิดหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสมากภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุจะเต็มไปด้วยอุปกรณ์เพื่อเพิ่มการสัมผัสของมวลสารที่เรียกว่าวัสดุบรรจุ ซึ่งอุปกรณ์นี้จะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการออกแบบให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มการถ่ายโอนของมวลและพลังงานรวมทั้งยังทำให้มีกระแสของไอไหลขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีกระแสรีฟลักซ์ที่ไหลลงอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดเป็นระบบกระแสไหลสวนทางกัน คอลัมน์ชนิดวัสดุบรรจุนี้จะต่างจากคอลัมน์แบบเพลทที่กระบวนการถ่ายโอน นั่นคือการถ่ายโอนของคอลัมน์แบบเพลทจะเกิดขึ้นเฉพาะบนแต่ละเพลทเท่านั้นส่วนคอลัมน์วัสดุบรรจุจะเกิดการถ่ายโอนทั่วทั้งคอลัมน์ ภายในคอลัมน์วัสดุบรรจุจะติดตั้งตะแกรงหรือผ่านเจาะรูเพื่อใช้เป็นตัวยึดที่ด้านบนและด้านล่างของคอลัมน์เพื่อไม่ให้วัสดุบรรจุหลุดติดไปกับกระแสของไหล ผิวของวัสดุบรรจุจะเปียกอย่างสม่ำเสมอจากการไหลผ่านของรีฟลักซ์และของเหลวป้อน วัสดุที่ใช้ทำวัสดุบรรจุจะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนอันเนื่องจากการไหลผ่านของสารได้เป็นอย่างดี วัสดุบรรจุที่มีโซ่อยู่โดยทั่วไปในทางการค้าได้แก่ วงแหวนริชชิง วงแหวนพอลล์ อานม้าอินทาลอกซ์ อานม้าเบดล์ อุปกรณ์เหล่านี้จะบังคับให้ของเหลวไหลลงอย่างช้าๆ ผ่านคอลัมน์ และไอจะไหลผ่านสิ่งกีดขวางขึ้นไปรอบๆ ซึ่งจะเกิดการสัมผัสระหว่างไอและของเหลวได้ดีกว่าคอลัมน์ชนิดอื่น (สุธารักษ์ บุญโชติ, 2547)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับน้ำส้มควันไม้มีอย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นแหล่งความรู้พื้นฐานที่นำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย สำหรับข้อมูลศึกษาน้ำส้มควันไม้อย่างเป็นทางการในประเทศไทยยังค่อนข้างจำกัด ส่วนใหญ่ข้อมูลที่สามารถหาได้จะเกี่ยวข้องกับการออกแบบเตาเผาเพื่อผลิตน้ำส้มควันไม้ รวมถึงการประยุกต์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้เตาอิฐเผา สำหรับข้อมูลศึกษาองค์ประกอบทั้งทางกายภาพและเคมีของน้ำส้มควันไม้ยังมีค่อนข้างน้อยมาก

Ferreira *et al.* (2005) ศึกษาเปรียบเทียบยางแผ่นที่จับตัวด้วยกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกกับน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการควบแน่นควันไฟว่ามีสมบัติความแตกต่างกันหรือไม่ จากผลการทดลองพบว่ายางแผ่นที่ใช้น้ำส้มควันไม้ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกับยางแผ่นที่ใช้กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก เป็นสารช่วยในการจับตัวของน้ำยาง

Gullu and Demirbus (2001) ศึกษาการผลิตเมทานอลจากเศษชีวมวล (ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง เปลือกเฮเซลนัท ไม้สน บีช ช้างข้าวโพด) ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสของชีวมวลนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจากผลการวิเคราะห์พบเมทานอลมากที่สุดเปลือกเฮเซลนัท

JP 2002-332488 เสนอเครื่องมือสำหรับการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไฟ ประกอบด้วยเตาทรงกระบอกที่ต่อเข้ากับแท็งก์ทำความเย็น JP 2002-053867 เสนอวิธีการผลิตน้ำส้มควันไม้ โดยทำการศึกษาช่วงอุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บน้ำส้มควันไม้ JP 2003-292969 พัฒนาเทคนิคการกรองในการผลิตน้ำส้มควันไม้เพื่อกำจัดน้ำมันดินออกจากน้ำส้มควันไม้ JP09-031468 ควันที่ได้จากการผลิตถ่านจะผ่านเครื่องควบแน่นได้เป็นน้ำส้มควันไม้ จากนั้นน้ำส้มควันไม้จะเข้าสู่เครื่องกลั่นเพื่อทำให้บริสุทธิ์มากขึ้น JP 07-034070 เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับเตาที่ใช้ในการผลิตถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ วัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นไม้ไฟ โดยทำการควบคุมปริมาณอากาศซึ่งมีการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ว่ามีปริมาณเพียงพอต่อการเผาไหม้หรือไม่ แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จะแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ไม่ผ่านเครื่องควบแน่นจะปล่อยทิ้งออกไป และแก๊สที่ผ่านเครื่องควบแน่นจะกลายเป็นน้ำส้มควันไม้ JP 2005-179245 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ไฟในการต้านอาการแพ้เช่น โรคภูมิแพ้ โรคเยื่อจมูกอักเสบ โรคแพ้อากาศ เป็นต้น โดยนำน้ำส้มควันไม้ดิบที่เก็บช่วงอุณหภูมิ 350-450 องศาเซลเซียส มากลั่นที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูญญากาศ

Kadota and Niimi (2004) ทำการศึกษาส่วนผสมระหว่างถ่านกับน้ำส้มควันไม้ (ถ่าน 4 ต่อ น้ำส้มควันไม้ 1) ต่อการเจริญเติบโตของไม้ประดับ 4 ชนิด คือ ดาวเรือง กระจูดทอง ผกากรอง และบานชื่น จากผลการทดลองพบว่า จำนวนวันในการออกดอกของบานชื่น กระจูดทอง และผกากรองใช้เวลาสั้นลง ผกากรองและบานชื่นมีอัตราการรอดตายเพิ่มขึ้น ความสูงของต้น และจำนวนดอกของบานชื่นและกระจูดทองเพิ่มขึ้น

Kartal *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาของเหลวที่ได้จากการผลิต Biomass slurry fuel (BSF) เพื่อนำมาทดสอบการต้านเชื้อราและปลวก โดยนำไม้ 2 ชนิดคือ Sugi และ Acacia เป็นวัตถุดิบในการผลิต BSF ด้วยเทคนิค Hot water dyeing ที่อุณหภูมิ 270 และ 300 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าของเหลวที่ได้จากการผลิต BSF ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิก และกรดอินทรีย์เช่น กรดอะซิติก และกรดแลคติก สามารถต้านเชื้อรา Brown-rot ได้ ของเหลวที่ได้จากไม้ Sugi ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส สามารถต้านเชื้อรา White-rot ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่ของเหลวนี้นี้ไม่ได้เพิ่มการทนทานของการต้านปลวก

Lim (2004) ได้ศึกษาทำการกระบวนการเผาไหม้แบบไพโรไลซิสและคุณลักษณะเฉพาะของผลผลิตที่ได้จากไม้เนื้อแข็งไม้อย่างพารา โดยการนำไม้เนื้อแข็งไม้อย่างพารามาเผาในช่วงอุณหภูมิ 200-1000 องศาเซลเซียส ด้วยเตาเผาไฟฟ้า แก๊สที่ได้จากการเผาไม้เนื้อแข็งไม้อย่างพาราจะผ่านเครื่องควบแน่นได้เป็นน้ำส้มควันไม้ดิบ (Crude pyrolygneous acid; CPA) จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลผลิตสุดท้ายของ CPA เพิ่มขึ้นแต่ผลผลิตสุดท้ายของถ่านลดลง ที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าพีเอชของ CPA ไม่แตกต่างกันซึ่งมีค่าประมาณ 2.5 การศึกษาองค์ประกอบของ CPA แบ่งออกเป็นสองช่วงอุณหภูมิช่วงแรกคือ อุณหภูมิมากกว่า 330 องศาเซลเซียส จะพบกรดอะซิติก เมทานอล อะซิโตน กัวนิคอลล และไซรินคอลล ช่วงที่สองคือ อุณหภูมิมากกว่า 430 องศาเซลเซียส จะพบน้ำ ฟีนอล โอ-คลีซอล เอ็ม-คลีซอล และพี-คลีซอล เมื่อนำ CPA มากลั่นแยกจะได้เป็นน้ำส้มควันไม้ (Pyrolygneous acid; PA) มีค่าพีเอชประมาณ 2 ประกอบด้วยกรดอะซิติก เมทานอล อะซิโตน ฟีนอล และน้ำ เนื่องจากใน PA มีสารประกอบกลุ่มฟีนอลจึงนำมาทดสอบการต้านเชื้อราและการรักษาไม้ พบว่าสามารถต้านเชื้อราได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ทดลองโดยการเติม PA ลงไป 1 มิลลิลิตรในงานเพาะเชื้อ ส่วนการรักษาไม้ทำการทดลองโดยนำท่อนไม้ไปแช่ใน PA เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำไปวางในกล่องที่บรรจุเชื้อราเป็นเวลา 12 วัน พบว่าบริเวณผิวของไม้ไม่มีเชื้อราติดอยู่เลย จากผลการศึกษาแสดงว่าสามารถนำ PA ไปใช้เป็นยาต้านเชื้อราและรักษาไม้ได้

Miyusse *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษากระบวนการเผาไหม้ไพโรไลซิสจากใบชา และกากชา โดยทำการเผาด้วยเตาเผาไฟฟ้าจนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 °C/min แก๊สที่ออกมาจากเตาเผาจะผ่านเข้าไปในเครื่องควบแน่น จากการทดลองพบว่า ผลผลิตสุดท้ายของ

กระบวนการไพโรไลซิสที่ได้จากใบชา และกากชาเป็น 0.1 ml/g และ 0.06 ml/g ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลผลิตสุดท้ายที่ได้ของกระบวนการไพโรไลซิสจากไม้แล้วจะมีค่าต่ำกว่า ค่าพีเอชจะแตกต่างจากของกระบวนการไพโรไลซิสจากไม้ซึ่งมีค่าพีเอชเป็นกรด แต่ของใบชาและกากชาจะมีค่าพีเอชเป็นด่าง คือ 9.26 และ 9.13 ตามลำดับ ค่าของความหนาแน่นของใบชาและกากชาเป็น 1.067 g/ml และ 1.062 g/ml ถ้าเป็นกระบวนการไพโรไลซิสของไม้จะอยู่ระหว่าง 1.000-1.040 g/ml ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารที่สามารถละลายได้ในใบชาและกากชามากกว่าโดยหาจากน้ำหนักที่หายไปของของเหลว (ที่ได้จากการควบแน่นของแก๊ส) ซึ่งนำไปประเหยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส วิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatography-mass spectrometry) ใช้คอลัมน์ TC-17 (30m x 0.25mm) สภาพที่ใช้คือ อุณหภูมิเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส คงที่ไว้เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิสุดท้าย 270 องศาเซลเซียส คงที่ไว้ 30 นาที โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 3 °C/min ผลการวิเคราะห์พบสารประกอบพวก ไนโตรเจนมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก ฟีนอล และ Neutral compounds

Mu *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่สองชนิดคือ Madake bamboo (*Phyllostachys bambusoides*) และ Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) โดยใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย น้ำส้มควันไม้ดิบ น้ำส้มควันไม้ที่กลั่นแล้ว และน้ำส้มควันไม้ที่สกัดด้วยอีเทอร์ ซึ่งประกอบด้วย สามแฟรคชันดังนี้ แฟรคชันกรด แฟรคชันกลาง และแฟรคชันฟีนอลิก การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ใช้คอลัมน์ Shimadzu Hicap CBP20-M25 (0.25 mm id. x 25 m; PEG-20M) อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ 60-200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำส้มควันไม้คือ 60:1 โดยใช้ฮีเลียมเป็นก๊าซพา จากผลการทดลองพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่สกัดด้วยอีเทอร์จะได้แฟรคชันกรดมากที่สุด ในขณะที่แฟรคชันกลางจะได้น้อยที่สุด ค่าพีเอชน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการกลั่นจะน้อยกว่าน้ำส้มควันไม้ดิบ สำหรับน้ำส้มควันไม้ที่สกัดด้วยอีเทอร์จะแสดงความเป็นกรดแก่เพราะสารประกอบส่วนใหญ่เป็นแฟรคชันกรด ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ของแต่ละแฟรคชันของไม้ไผ่ Madake และ Moso พบว่าแฟรคชันกรดประกอบด้วยกรดอะซิติกเป็นสารประกอบหลัก และยังมีกรดโพรพิโอนิก 2,4 ไดเมทิล-2-บิวทิโนไลด์ และกรดบิวทริก แฟรคชันกลางประกอบด้วย เฟอเฟรัล 2-อะซิทิลฟูแรน 3-เมทิล-2-ไซโคลเพนทีโนน 5-เมทิลเฟอเฟรัล และอะซิโตฟีโนน สำหรับแฟรคชันฟีนอลิกประกอบด้วย ไกวกะคอล 4-เมทิลไกวกะคอล ฟีนอล 4-เอทิลไกวกะคอล ไชรินคอล โอ-คลีซอล เอ็ม-คลีซอล พี-คลีซอล

Nakai *et al.* (2007) ศึกษาสมบัติน้ำส้มควันไม้จากไม้ท่อน ไม้อัด พาร์ทิเคิลบอร์ด (PB) ที่ใช้กาวกลุ่มยูเรียและฟีนอล และเอ็มดีเอฟที่ใช้กาวกลุ่มยูเรีย นำมาเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี หาปริมาณน้ำด้วยวิธีคาร์ลฟีชเชอร์ (Karl fischer titration) อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บน้ำส้มควันไม้แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ อุณหภูมิห้องถึง 300 องศาเซลเซียส 300-400 องศาเซลเซียส และ 400-500 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 4 องศาเซลเซียสต่อนาที จากผลการทดลองพบว่าของเหลวที่ได้จากไม้อัด PB และ MDF ที่ใช้กาวกลุ่มยูเรีย มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ของเหลวที่ได้จากไม้และไม้ที่ใช้กาวกลุ่มฟีนอล มีปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบของเหลวที่ได้จากไม้และไม้ที่ใช้กาวในการยึดเกาะ มีความแตกต่างกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงฟีนอลิกในกาวที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะเกิดการสลายตัวทำให้สารประกอบมีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงทำให้พบสารเคมีในของเหลวที่ได้จากไม้น้อยกว่าของเหลวที่ได้จากไม้ที่ใช้กาว ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อรา (*T. versicolor* และ *T. palustris*) ของเหลวที่ได้จากไม้อัด PB และ MDF สามารถยับยั้งได้ดีกว่าของเหลวที่ได้จากไม้

บทสรุปที่ได้จากการตรวจเอกสาร: เตาเผาที่ใช้ในปัจจุบันมาหลายแบบ ในสิทธิบัตรส่วนใหญ่จะซับซ้อนยุ่งยาก ต่างจากเตาเผาที่ใช้ในท้องถิ่น งานวิจัยนี้จึงประยุกต์โดยใช้เตาที่ทำจากถังน้ำมัน 200 ลิตร ภายในโอบด้วยปูนทนไฟ และมีช่องควบคุมอากาศ โดยเพิ่มระบบทำความเย็นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บน้ำส้มควันไม้และเฟรคชันส่วนเบา สำหรับการกลั่นแยกเป็นการกลั่นแยกแบบแพค เพื่อเพิ่มพื้นที่การสัมผัส เครื่องกลั่นเป็นแบบที่ไม่ซับซ้อน การหาองค์ประกอบน้ำส้มควันไม้เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีสารประกอบมากกว่า 200 ชนิด จึงทำการศึกษาเฉพาะสารประกอบหลักเท่านั้น เช่น กรดอะซิติก เมทานอล ฟีนอล เป็นหลัก

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุ

3.1.1 วัตถุดิบ: ปีกไม้ยางพาราจากโรงเลื่อยไม้ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา



ภาพประกอบที่ 3.1 ปีกไม้ยางพาราจากโรงเลื่อยในจังหวัดสงขลา

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 อะซิโตน (Acetone, AR grade, BHD)
- 3.1.2.2 เมทานอล (Methanol, HPLC grade, Lab-scan analytical science)
- 3.1.2.3 กรดอะซิติก (Acetic acid, AR grade, Lab-scan analytical science)
- 3.1.2.4 เฟอฟูรัล (Furfural, AR grade, Merck)
- 3.1.2.5 ไดฟูริลเมทิลคีโตน (2-furylmethylketone, AR grade, Fluka)
- 3.1.2.6 กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid, AR grade, Fluka)
- 3.1.2.7 กรดบิวทีริก (Butyric acid, AR grade, s.d. fine-chem limited)
- 3.1.2.8 ไกวกะคอล (Guaiacol, AR grade, Sigma)
- 3.1.2.9 ฟีนอล (Phenol, AR grade, Merck)
- 3.1.2.10 เอทานอล (Ethanol, AR grade, J.T. Baker)

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เตาเผา ทำด้วยถังน้ำมัน 200 ลิตร ภายในเทพูนทนไฟ ด้านนอกถังน้ำมันหุ้มด้วยใยแก้วและ Jacket aluminium โดยขนาดความหนาใยแก้วเป็น 2 นิ้ว พร้อมฐานรองรับถังและระบบท่อสำหรับฝาปิดด้านหน้าถูกนำมาประยุกต์เพื่อให้ง่ายต่อการเปิด-ปิด พร้อมช่องเจาะเปิด-ปิดด้านล่างที่สามารถปรับขนาดความกว้างของช่องอากาศที่ทางเข้าได้และท่อทางออกเพื่อกำจัดน้ำที่เกิดขึ้น ชุดท่อที่ใช้เป็นท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว พร้อมชุดข้องอ สำหรับท่อเหล็กถูกนำมาใช้บางส่วนในระบบ (ช่วงที่ไม่เกี่ยวข้องกับกรเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบ) ระบบท่อภายในมีการติดตั้งแฉกเปอร์ไว้เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซร้อนในการเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบและการปล่อยก๊าซออกทิ้งภายนอก ชุดควบคุมประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็น โดยรับน้ำจากหอทำความเย็นร่วมกับการใช้น้ำเป็นบางส่วนจากถังน้ำ ถังน้ำที่เตรียมไว้เป็นน้ำหล่อเย็นมีจำนวน 3 ถัง โดยต่อเข้ากับปั๊ม ชุดเทอร์โมมิเตอร์แบบเสียบถูกนำมาใช้เพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาสองจุดคือ บริเวณด้านบนและด้านล่างของเตา พร้อมงานไฟฟ้าที่เตรียมไว้สำหรับปั๊ม ดังภาพประกอบที่ 3.2-3.4



ภาพประกอบที่ 3.2 เตาเผาการผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบ

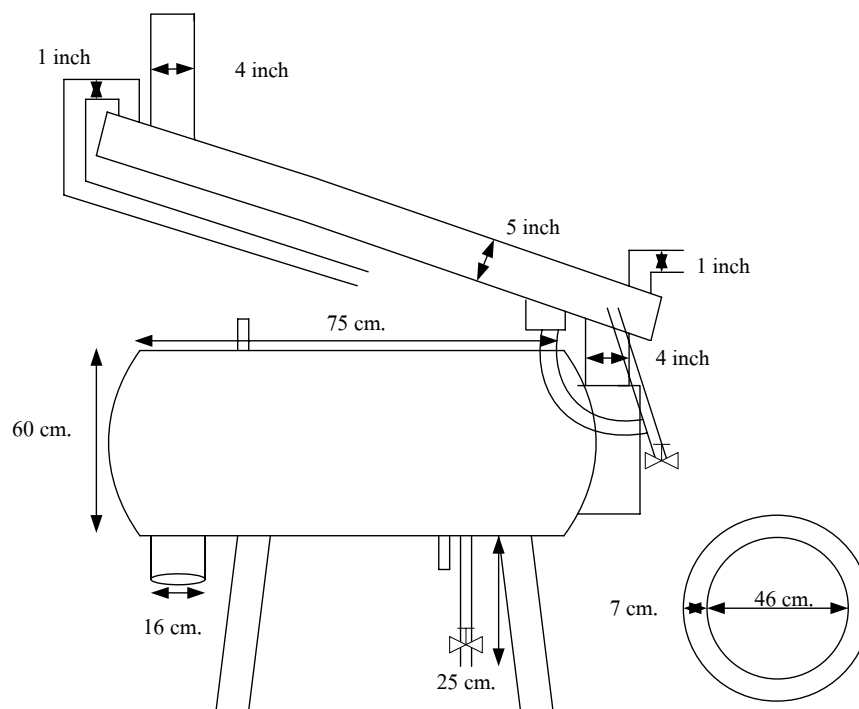


ภาพประกอบที่ 3.3 ด้านข้างของชุดเตาเผา

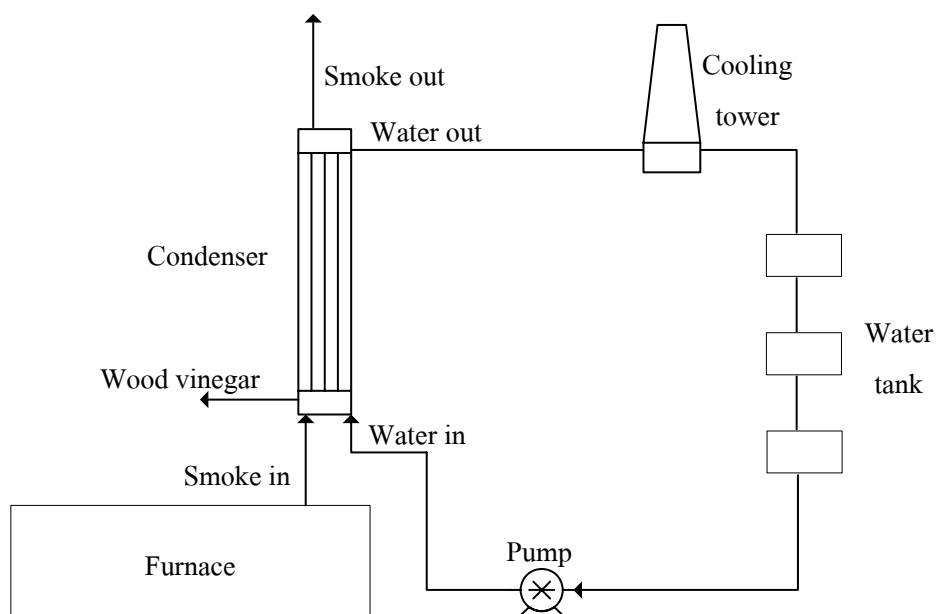


ภาพประกอบที่ 3.4 ภายในของเตาเผา

สำหรับภาพประกอบที่ 3.5 แสดงโครงสร้างและมิติของเตาเผา รวมทั้งระบบท่อ และภาพประกอบที่ 3.6 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 3.5 โครงสร้างและมิติของเตาเผา



ภาพประกอบที่ 3.6 กระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบ

3.2.2 เครื่องกลั่น เครื่องกลั่นในงานวิจัยนี้มีส่วนประกอบหลักดังนี้

3.2.2.1 หม้อกลั่น มีปริมาตร 2 ลิตร ที่ส่วนบนของหม้อกลั่นมีช่องเปิดแรกเพื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของหม้อกลั่น ช่องเปิดสองใช้สำหรับถ่ายส่วนหนักที่ตกค้างจากการกลั่นออกเมื่อทำการกลั่นเสร็จสิ้นแล้ว ช่องที่สามใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน และช่องสุดท้ายใช้สำหรับป้อนน้ำส้มควันไม้ดิบเข้าสู่ระบบ

3.2.2.2 ตัวให้ความร้อน ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น โดยมีชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$

3.2.2.3 คอลัมน์การกลั่น เป็นคอลัมน์สูง 45 เซนติเมตร หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนภายในบรรจุด้วยวัสดุบรรจุจากสแตนเลสเป็นรูปก้นหอยดังภาพประกอบที่ 3.7 และมีจุดวัดอุณหภูมิตรงบริเวณด้านบนคอลัมน์



ภาพประกอบที่ 3.7 ลักษณะวัสดุบรรจุที่บรรจุในคอลัมน์ของเครื่องกลั่น

3.2.2.4 เครื่องควบแน่นยอดคอลัมน์ เครื่องควบแน่นติดอยู่ส่วนบนของคอลัมน์ ที่ผนังส่วนล่างภายในเครื่องควบแน่นถูกทำให้เป็นร่อง (Slot) ทั้งหมด 4 ร่อง โดยที่ 3 ใน 4 ร่องนี้จะ เป็นทางให้น้ำส้มควันไม้กลั่นที่ผ่านการควบแน่นไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์ ส่วนที่เหลือจะเป็นทางให้น้ำส้มควันไม้กลั่นที่ควบแน่นไหลออกจากคอลัมน์ มีอัตราส่วนการรีฟลักซ์เป็น 3:1

3.2.2.5 ท่อนำน้ำส้มควันไม้กลั่นและเครื่องควบแน่นข้างคอลัมน์ เป็นเครื่องควบแน่นที่ติดอยู่บริเวณส่วนด้านข้างของคอลัมน์ เพื่อควบแน่นไอของน้ำส้มควันไม้กลั่นบางส่วนที่ไม่ควบแน่นบริเวณเครื่องควบแน่นยอดคอลัมน์ และเป็นท่อนำน้ำส้มควันไม้กลั่นส่วนที่ควบแน่นจากเครื่องควบแน่นยอดคอลัมน์ไหลลงสู่ภาชนะรองรับทางด้านล่าง

เครื่องที่ใช้กลั่นน้ำส้มควันไม้ดิบแสดงดังภาพประกอบที่ 3.8 สำหรับโครงสร้างและมิติของเครื่องกลั่นแสดงดังภาพประกอบที่ 3.9



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 3.8 ลักษณะเครื่องกลั่น (ก) ด้านหน้าเครื่องกลั่น (ข) ด้านข้างเครื่องกลั่น

3.2.3 เครื่องกรองแบบลดความดัน การกรองน้ำส้มควันไม้ดิบกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องกรองแบบลดความดัน ดังภาพประกอบที่ 3.10



ภาพประกอบที่ 3.10 เครื่องกรองแบบลดความดัน

3.3 วิธีการทดลอง

การผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบและการลั่นน้ำส้มควันไม้ สามารถทำได้ดังนี้

3.3.1 การผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบโดยใช้เตาเผา

3.3.1.1 นำปีกไม้ยางพาราจากโรงเลื่อยไม้ผึ่งให้แห้งในกระแสดอากาศประมาณ 1 เดือนก่อนการเผา ในการเผาแต่ละครั้งเลือกปีกไม้ยางพาราเป็นท่อนๆ ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตรโดยเฉลี่ย เรียงปีกไม้ยางพาราที่มีขนาดเล็กไว้ด้านล่าง ปีกไม้ยางพาราที่มีขนาดใหญ่ไว้ด้านบน ดังภาพประกอบที่ 3.11

3.3.1.2 จากนั้นทำการจุดไฟภายในเตา โดยควันที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ถูกนำมาผ่านเครื่องควบแน่นที่ใช้น้ำหล่อเย็นจากหอทำความเย็นซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24-28 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการควบแน่นได้เป็นน้ำส้มควันไม้ดิบไหลลงสู่ภาชนะรองรับทางด้านล่าง ซึ่งนำไปเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทและไม่ถูกแสงแดด สำหรับควันที่ไม่ควบแน่นถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ เมื่อควันที่ออกมาเริ่มจางใสให้ปิดช่องอากาศเข้าเพื่อยุติการเผาถ่าน

3.3.1.3 หลังจากนั้นทิ้งเตาให้เย็นไว้ 1 คืนแล้วจึงนำถ่านออกจากเตาเผาถ่าน

ในการเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเก็บตั้งแต่หยดแรกที่น้ำส้มควันไม้ควบแน่นจนกระทั่งอุณหภูมิในเตาเผาถ่าน 400 องศาเซลเซียส (RW-1) ส่วนที่สองเก็บตั้งแต่อุณหภูมิในเตาเผาถ่านมากกว่า 400 องศาเซลเซียส จนกระทั่งควันที่ออกมาเริ่มจางใส (RW-2)

สถานะที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบมีด้วยกัน 5 สถานะ โดยควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 2.0, 1.4, 0.9, 0.7 และ 0.6 °C/min ค่าผลการทดลองที่ได้ในแต่ละสถานะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำทดลองซ้ำ ทั้งนี้เพื่อหาแนวโน้มอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมิมีผลต่อผลได้ของน้ำส้มควันไม้ดิบ



ภาพประกอบที่ 3.11 การจัดเรียงปึกไม้ยางพารา

3.3.2 การกลั่นน้ำส้มควันไม้

3.3.2.1 นำน้ำส้มควันไม้ดิบปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เทลงในหม้อกลั่น

3.3.2.2 ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 °C/min

3.3.2.3 ทำการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่กลั่นได้ โดยแบ่งเก็บเป็น 3 ส่วนดังนี้

- ตั้งแต่เริ่มกลั่นถึงอุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส (DW-1)

- อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยเก็บ

ตัวอย่างจนกระทั่งไม่พบการควบแน่นของน้ำส้มควันไม้ (DW-2)

- ส่วนที่เหลือในหม้อกลั่น (DW-3)

3.3.2.4 นำน้ำส้มควันไม้ที่กลั่นได้เก็บในขวดมีฝาปิด และห่อกระดาษฟอยล์ให้มิดชิดแล้วเก็บไว้ในตู้เย็น

ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบที่นำมากลั่นมีด้วยกัน 2 ส่วน จึงใช้ตัวอย่างเช่น DW-1/RW-1 คือ น้ำส้มควันไม้กลั่นที่เก็บได้ตั้งแต่เริ่มกลั่นถึงอุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส โดยน้ำส้มควันไม้ดิบที่ไซ้กลั่นเป็นส่วนแรกที่ทำกรเก็บตั้งแต่หยดแรกที่น้ำส้มควันไม้ควบแน่นจนกระทั่งอุณหภูมิในเตาเผาถ่านเป็น 400 องศาเซลเซียส

3.3.3 การทดสอบสมบัติต่างๆของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่น

3.3.3.1 การหาค่าความชื้น

- สุ่มปีกไม้ยางพาราจากเตาเผา 3 ชิ้น ตัดให้มีขนาดความยาว 2 เซนติเมตร
- ชั่งน้ำหนักไม้ยางพาราก่อนเข้าสู่ตู้อบ
- นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
- ชั่งน้ำหนักไม้ยางพาราหลังจากออกจากตู้อบ นำน้ำหนักที่บันทึกไว้หาค่า

ความชื้นฐานแห้งจากสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานแห้ง} = \left[\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

นอกจากนี้ร้อยละความชื้นสามารถแสดงในรูปแบบเปียกได้เช่นกัน

$$\text{ร้อยละความชื้นฐานเปียก} = \left[\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

3.3.3.2 การกลั่นด้วยเครื่อง ASTM D86

นำน้ำส้มควันไม้ดิบกลั่นด้วยเครื่อง ASTM D86 ดังภาพประกอบที่ 3.12 เนื่องจากต้องจากทราบช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้ดิบ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้กลั่น

การกลั่นด้วยเครื่อง ASTM D86 ทำได้ดังนี้

- ตวงน้ำส้มควันไม้ดิบ 100 มิลลิลิตร
- เตรียมเครื่อง ASTM D-86 (her209 WALTER HERZOG GmdH) สำหรับทำ

การกลั่น ณ อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ

- ขณะนั้น
- ปรับกำลังไฟแล้วสังเกตหยดแรกที่ควบแน่นออกมาพร้อมกับบันทึกอุณหภูมิ
 - บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 5 มิลลิลิตร จนกระทั่งถึง 90 มิลลิลิตร หลังจากนั้นให้ทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 2 มิลลิลิตร



ภาพประกอบที่ 3.12 เครื่องกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D-86

3.3.3.3 การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง

นำน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ รุ่น ORION Model 420A, ORION

3.3.3.4 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

นำน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นบรรจุในพิกานอิมิตอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกผล โดยการคำนวณหาความถ่วงจำเพาะแสดงได้ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}} \quad (3.3)$$

3.3.3.5 การทดสอบการเปลี่ยนสี

นำน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นตั้งทิ้งไว้ให้โดนแสงแดดและอากาศไม่น้อยกว่า 30 นาที

3.3.3.6 การทดสอบการเจือจาง

ผสมน้ำส้มควันไม้ดิบกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:100 1:200 1:300 1:400 และ 1:500 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบทุกอัตราการเจือจาง สำหรับการทดสอบการเจือจางน้ำส้มควัน ไม้กลั่นทำได้ในทำนองเดียวกัน

3.3.3.7 การวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของสารของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่น ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC/MS))

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC/MS) HEWLETTE PACKARD รุ่น HP 5890 GC-HP 5972 MSD สภาวะในการดำเนินการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

สภาวะที่ใช้ดำเนินการวิเคราะห์	
Inlet temperature	250°C, Splitless mode, 0.10 minute
Initial oven temperature	40°C
Final oven temperature	250°C at 5°C/minute
Column	Innowax, length 30 m, 250 µm I.D, 0.25 µm film thickness (capillary column)
Carrier gas	High purity helium
Ionization mode	Electron ionization
Acquisition mode	Scan, 25-500 amu
Solvent delay time	4.0 minutes
Transfer line temperature	250°C

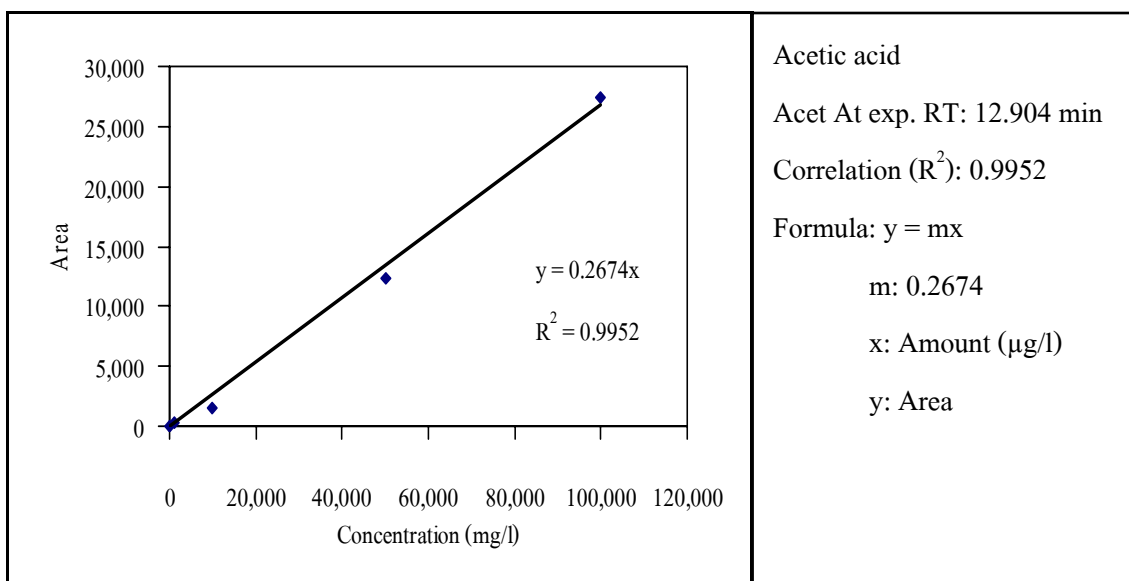
3.3.3.8 การวิเคราะห์ปริมาณสารของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) HEWLETTE PACKARD รุ่น HP 6850 สภาวะในการดำเนินการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะการวิเคราะห์ปริมาณของสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

สภาวะที่ใช้ดำเนินการวิเคราะห์	
Inlet temperature	250°C
Initial oven temperature	40°C
Detector temperature	300°C
Final oven temperature	250°C at 6°C/minute
Column	Innowax, length 30 m, 250 µm I.D, 0.25 µm film thickness (capillary column)
Carrier gas	High purity helium

การวิเคราะห์หาปริมาณสารในน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ต้องทำ Calibration curve ของสารมาตรฐานต่างๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาปริมาณของสารนั้นๆ ที่พบในน้ำส้มควันไม้ ยกตัวอย่างดังภาพประกอบที่ 3.13 เป็นภาพแสดง Calibration curve ของกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบที่ 3.13 Calibration curve กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่างๆ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของอัตราการให้ความร้อน

ไม้ยางพาราที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 16.3-16.7 เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง) หรือ 13.8-14.3 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

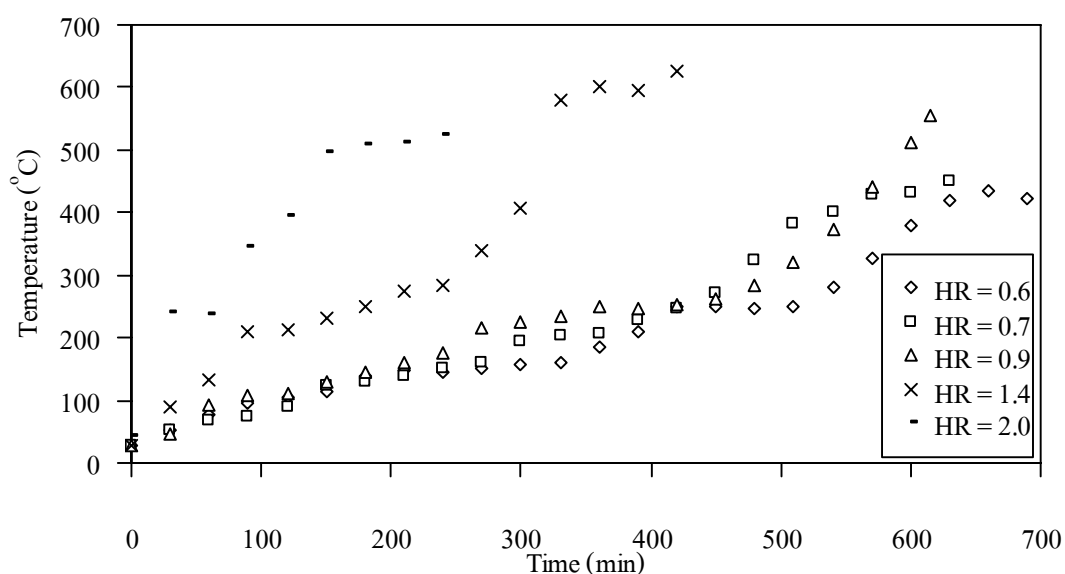
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นใน ไม้ยางพารา

Temperature rate (°C/min)	% Moisture content (dry basis)	% Moisture content (wet basis)
0.6	16.6	14.2
0.7	16.7	14.3
0.9	16.4	14.1
1.4	16.6	14.1
2.0	16.3	13.8

การศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในเตา ซึ่งใช้การเปิดปิดแฉกเปอร์ที่ทางเข้าของอากาศ จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ด้านหน้าบนและด้านหลังล่างของเตา โดยอุณหภูมิเตาได้จากการเฉลี่ยค่าอุณหภูมิของสองตำแหน่งดังกล่าว ผลการกระจายความร้อนภายในเตาแสดงดังภาพประกอบที่ 4.1 พบว่าที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ มีแนวโน้มคล้ายกัน นั่นคือเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิภายในเตามีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยในช่วงแรกตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นถึงประมาณ 270 องศาเซลเซียสเป็นขั้นตอนของการไล่ความชื้น เกิดการดูดความร้อนสะสมไว้ หลังจากนั้นอุณหภูมิมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในอัตราที่เร็วขึ้น เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่เกิดการคายความร้อน ซึ่งเตาสะสมความร้อนไว้มากทำให้ไม้ลุกไหม้และสลายตัวโดยความร้อนที่สะสมไว้ ทำให้กราฟมีความชันมากกว่าในช่วงแรกและเป็นช่วงที่เซลลูโลสสลายตัวพร้อมๆ กับที่ลิกนินเริ่มสลายตัว (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานไม้, 2546)

การสลายตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเกิดสารประกอบใหม่ต่างๆ มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน

เมื่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น พบว่าเวลาที่ใช้ในการเผาน้อยลง โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกำหนดจากอุณหภูมิเริ่มต้นลบอุณหภูมิสุดท้ายต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต โดยดูจากควมมีลักษณะจางลงและใสซึ่งแสดงว่าไม้ภายในเตาได้เปลี่ยนเป็นถ่านหมดแล้ว



ภาพประกอบที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาต่อเวลาในการผลิตน้ำส้มควันไม้ในแต่ละอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (HR = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ °C/min)

จากตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละผลได้โดยเฉลี่ยของน้ำส้มควันไม้ดิบพบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.91-29.01 โดยพบว่าปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบในแฟรคชัน RW-1 มีค่ามากกว่าแฟรคชัน RW-2 ทั้งนี้เนื่องจาก RW-1 เป็นการเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบจากหยดแรกจนกระทั่งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเป็น 400 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงของการไล่ความชื้นในไม้อย่างช้าๆ จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำในน้ำส้มควันไม้ดิบเป็นปริมาณมากกว่าแฟรคชัน RW-1 สำหรับปริมาณได้ของแฟรคชัน RW-2 พบว่าเมื่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณ RW-2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในเตา

เมื่อพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบพบว่า เมื่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง ผลได้น้ำส้มควันไม้ดิบยังคงสูง และเวลาที่ใช้ในการผลิตน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min ใช้เวลาในการผลิตเพียง 390 นาที ในขณะที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 0.6°C/min ใช้เวลาในการผลิตถึง 690 นาที ถ้าเปรียบเทียบโดยใช้ในระยะเวลาผลิตเท่ากัน

คือ 390 นาที พบว่าที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบมากกว่าที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $0.6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ และไม้ในเตาเผาเปลี่ยนเป็นถ่านอย่างสมบูรณ์ แต่ในขณะที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $0.6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้้น้อยกว่า และไม้ในเตามีเพียงบางส่วนที่เปลี่ยนเป็นถ่านแต่บางส่วนยังคงมีสภาพเป็นไม้ยังคงเดิม เพราะฉะนั้นที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จึงเหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ ซึ่งสอดคล้องกับ (Gullu and Demirbas, 2001) โดยมีคำแนะนำว่าการทำให้ผลได้เพิ่มขึ้นทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำ และอัตราความร้อนสูง

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลได้การผลิตน้ำส้มควันไม้ดิบที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ

Temperature rate ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	Time (min)	% yield of RW-1	% yield of RW 2	% yield of total wood vinegar
0.6	690	26.41	2.60	29.01
0.7	630	21.44	3.01	24.45
0.9	615	17.69	4.22	21.91
1.4	390	25.11	2.35	27.45
2.0	240	12.17	11.04	23.21

4.2 การทดสอบสมบัติน้ำส้มควันไม้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

น้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นที่ได้จากการทดลอง ถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.659/2547) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 และทำการเปรียบเทียบกับน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส

ตารางที่ 4.3 แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ดิบ

การทดสอบ	คุณลักษณะที่ต้องการ
ลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นของเหลวใส สีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น ตกตะกอน มีสิ่งแปลกปลอม หรือสารแขวนลอย
กลิ่น	ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ
การเปลี่ยนสี	ต้องไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ
ความเป็นกรดต่าง	ต้องอยู่ระหว่าง 2.8-3.7
ความถ่วงจำเพาะ	ต้องไม่น้อยกว่า 1.005
การเจือจาง	เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดต่างและอัตราการเจือจางต้องไม่เป็นเส้นตรง

ตารางที่ 4.4 แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้กลั่น

การทดสอบ	คุณลักษณะที่ต้องการ
ลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นของเหลวใส สีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลอ่อน เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น ตกตะกอน มีสิ่งแปลกปลอม หรือสารแขวนลอย
กลิ่น	ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ
การเปลี่ยนสี	ต้องไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ
ความเป็นกรดต่าง	ต้องอยู่ระหว่าง 1.5-2.8
ความถ่วงจำเพาะ	ต้องไม่น้อยกว่า 1.001
การเจือจาง	เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดต่างและอัตราการเจือจางต้องไม่เป็นเส้นตรง

4.2.1 ลักษณะทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของน้ำส้มควันไม้ดิบที่ทุกอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมีดังนี้ แพรคชัน RW-1 มีสีน้ำตาลแดง และแพรคชัน RW-2 มีสีน้ำตาลแดงอมดำ ทั้งนี้เป็นเพราะแพรคชัน RW-2 เก็บในช่วงอุณหภูมิสูงจึงมีน้ำมันดินปนเปื้อนมากกว่า ดังภาพประกอบที่ 4.2

ลักษณะทั่วไปของน้ำส้มควันไม้กลั่นทั้งสามแพรคชัน (DW-1, DW-2, DW-3) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีลักษณะเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น มีกลิ่นควันไฟ แต่

มีสีที่ต่างกันดังนี้ แพรคชันแรก (DW-1) มีสีเหลืองอ่อน แพรคชันสอง (DW-2) สีเหลืองอ่อนอมน้ำตาล และแพรคชันที่สาม (DW-3) สีน้ำตาลอมดำ ดังภาพประกอบที่ 4.3

ลักษณะทั่วไปของน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าทั้งน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังภาพประกอบที่ 4.4

4.2.2 การเปลี่ยนสี

น้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ยางพาราทุกอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและจากน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า เมื่อนำตั้งทิ้งไว้ให้โดนแสงแดดและอากาศไม่น้อยกว่า 30 นาที เพื่อทดสอบการเปลี่ยนสี พบว่าน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นยังคงมีสีเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ หากเปลี่ยนเป็นสีดำแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาที่ยังไม่สมบูรณ์ในน้ำส้มควันไม้ ทำให้สารประกอบในน้ำส้มควันไม้ทำปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไลเซชัน (Polymerization) เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลยาวขึ้น เช่น น้ำมันดิน จึงทำให้น้ำส้มควันไม้เปลี่ยนเป็นสีดำ



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 4.2 ลักษณะของน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพารา (ก) แพรคชัน RW-1

(ข) แพรคชัน RW-2



(ก)



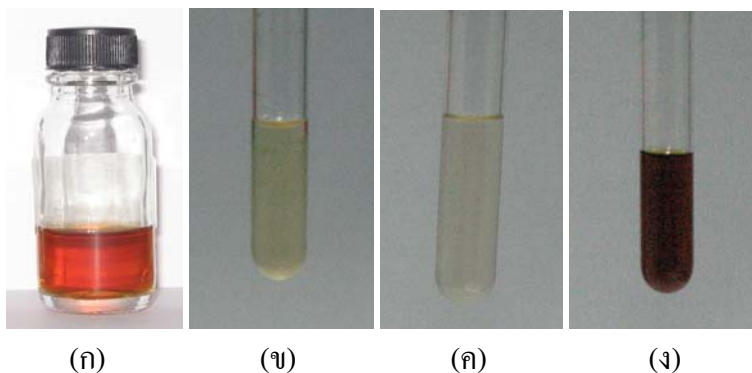
(ข)



(ค)

ภาพประกอบที่ 4.3 ลักษณะของน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ยางพารา (ก) แพรคชัน DW-1

(ข) แพรคชัน DW-2 (ค) แพรคชัน DW-3



ภาพประกอบที่ 4.4 ลักษณะของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นจากน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า (ก) แพรคชัน RW (ข) แพรคชัน DW-1 (ค) แพรคชัน DW-2 (ง) แพรคชัน DW-3

4.2.3 การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง และความถ่วงจำเพาะ

ผลการทดลองความเป็นกรด-ด่าง และความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบทั้ง RW-1 และ RW-2 ทุกอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็นดังนี้ ช่วงความเป็นกรด-ด่างคือ 2.8-3.7 และ ช่วงความถ่วงจำเพาะคือ 1.009-1.023 ซึ่งทั้งสองค่าอยู่ในช่วงตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างและความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ

Temperature rate (°C/min)	pH		SG	
	RW-1	RW-2	RW-1	RW-2
0.6	3.0	3.0	1.010	1.009
0.7	2.8	3.7	1.017	1.016
0.9	3.0	3.7	1.014	1.019
1.4	3.1	3.6	1.017	1.022
2.0	2.8	3.1	1.019	1.023

น้ำส้มควันไม้ดิบเกรดการค้ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.1 และค่าความถ่วงจำเพาะ 1.011

จากภาพประกอบที่ 4.5 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำส้มควันไม้ดิบในแต่ละแฟรคชันเป็นดังนี้ RW-1 มีแนวโน้มต่ำกว่า RW-2 เนื่องจากการเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบ RW-1

เป็นช่วงที่เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสสลายตัว จึงเกิดเป็นสารประกอบต่างๆในกลุ่มกรด เช่น กรดอะซิติก ดังนั้น RW-1 มีความเป็นกรดสูงกว่า ในทำนองเดียวกันในช่วงการเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบ RW-2 เป็นช่วงที่น้ำมันดินและสารประกอบกลุ่มฟีนอลสลายตัว ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของ RW-2 สูงกว่า อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเป็นกรดด่าง

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำส้มควันไม้กลั่นทุกแฟรคชัน และภาพประกอบที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น โดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้กลั่นอยู่ในช่วง 2.5-4.0 นอกจากนี้ DW-2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า DW-1 และ DW-3 ทั้งนี้เป็นเพราะชนิดกรดส่วนใหญ่ มีช่วงจุดเดือด 100-160 องศาเซลเซียส

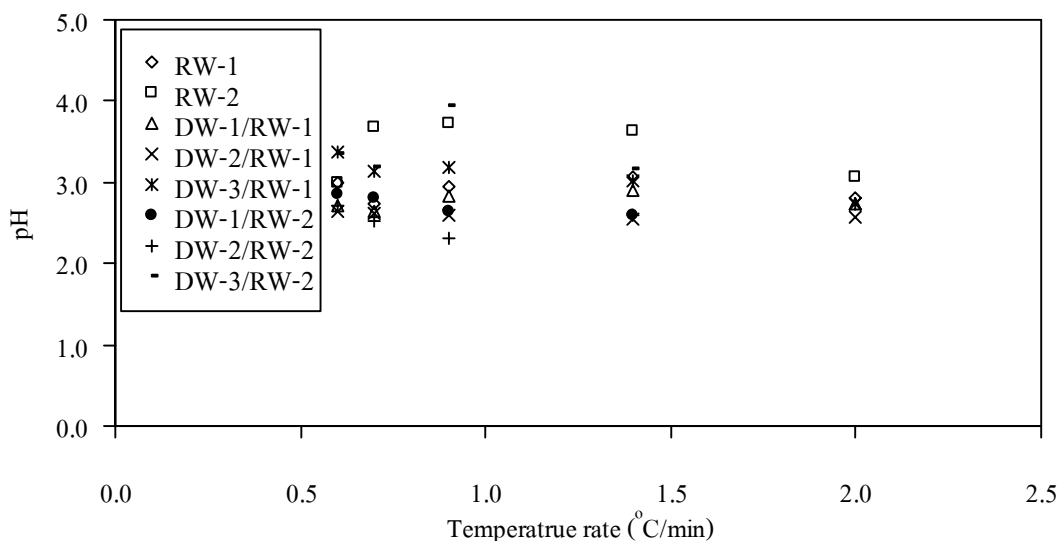
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นพบว่ามีความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้กลั่นสูงกว่า อาจเนื่องจากความร้อนมีผลต่อการเสถียรของสารเคมี สำหรับผลการทดลองของค่าความเป็นกรด-ด่างของของน้ำส้มควันไม้กลั่นเกรดการค้ามีทิศทางที่สอดคล้องกับผลการทดลองน้ำส้มควันไม้กลั่นที่ได้จากงานวิจัยเช่นกัน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำส้มควันไม้กลั่นในแต่ละแฟรคชัน

Temperature rate (°C/min)	RW-1			RW-2		
	DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
0.6	2.7	2.6	3.4	2.9	2.7	3.3
0.7	2.6	2.6	3.2	-	-	-
0.9	2.8	2.6	3.2	2.8	2.5	3.2
1.4	2.9	2.5	3.0	2.6	2.3	4.0
2.0	2.7	2.6	2.7	2.6	2.6	3.2

หมายเหตุ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 0.7 °C/min ไม่สามารถวัดค่าได้

ค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า 3.0, 2.8 และ 3.6 ในแฟรคชันที่ DW-1, DW-2 และ DW-3 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น

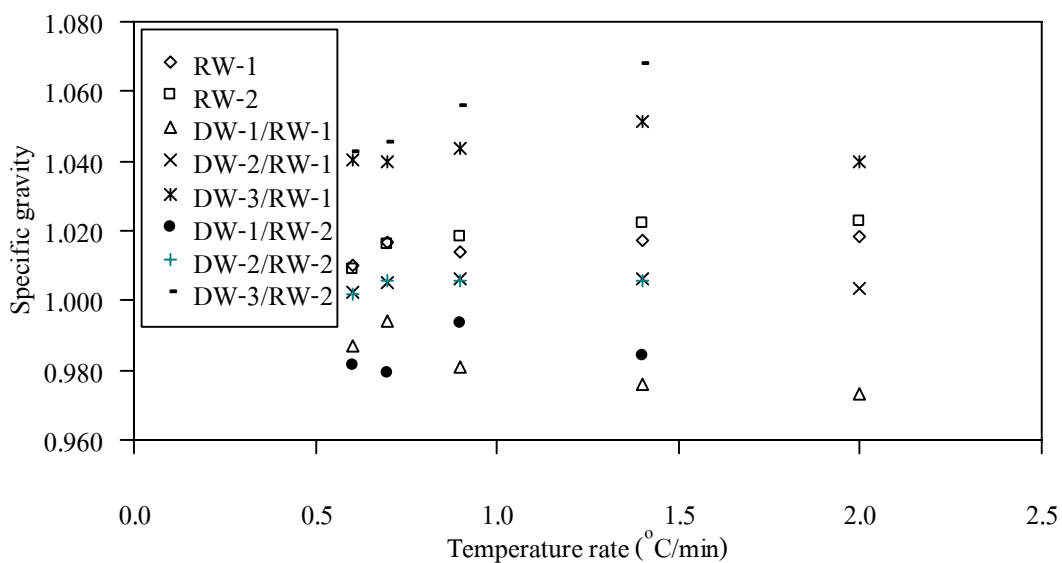
ความถ่วงจำเพาะน้ำส้มควันไม้ดิบ RW-2 มีแนวโน้มสูงกว่าใน RW-1 เนื่องจาก RW-2 เป็นแฟรคชันในช่วงอุณหภูมิสูง ทำให้มีน้ำมันดินออกมาปริมาณมากกว่า จึงส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ RW-2 สำหรับน้ำส้มควันไม้กลั่นมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.973-1.068 ผลการทดลองพบว่าแฟรคชัน DW-1 มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าแฟรคชันอื่น ทั้งนี้เนื่องจาก DW-1 เป็นช่วงการกลั่นที่มีอุณหภูมิต่ำสุด จึงประกอบด้วยสารเคมีส่วนใหญ่ที่มีจุดเดือดต่ำและความหนาแน่นน้อย ต่างจาก แฟรคชัน DW-3 ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดเนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันดิน และการสลายตัวของลิกนินที่เกิดเป็นสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า ซึ่งสารเหล่านี้มีความหนาแน่นสูงและโครงสร้างซับซ้อนกว่า เช่นเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าซึ่งมีค่า 1.003, 1.005 และ 1.042 ในแฟรคชัน DW-1, DW-2 และ DW-3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ความถ่วงจำเพาะน้ำส้มควันไม้กลั่นในแต่ละแฟรคชัน และ ภาพประกอบที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้ความร้อนและค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น พบว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ

ตารางที่ 4.7 ความถ่วงจำเพาะน้ำส้มควันไม้กลั่นในแต่ละแฟรคชัน

Temperature rate (°C/min)	RW-1			RW-2		
	DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
0.6	0.987	1.002	1.040	0.982	1.002	1.042
0.7	0.994	1.005	1.040	-	-	-
0.9	0.981	1.006	1.044	0.980	1.005	1.045
1.4	0.976	1.006	1.052	0.994	1.005	1.056
2.0	0.973	1.003	1.040	0.984	1.006	1.068

หมายเหตุ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 0.7 °C/min ไม่สามารถวัดค่าได้

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าซึ่งมีค่า 1.003, 1.005 และ 1.042 ในแฟรคชัน DW-1, DW-2 และ DW-3 ตามลำดับ

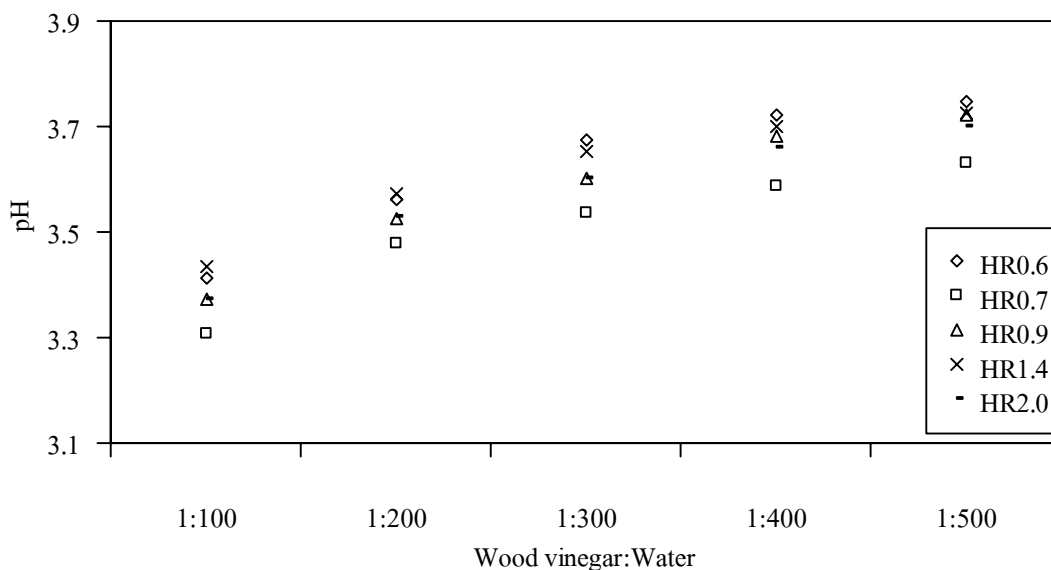


ภาพประกอบที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น

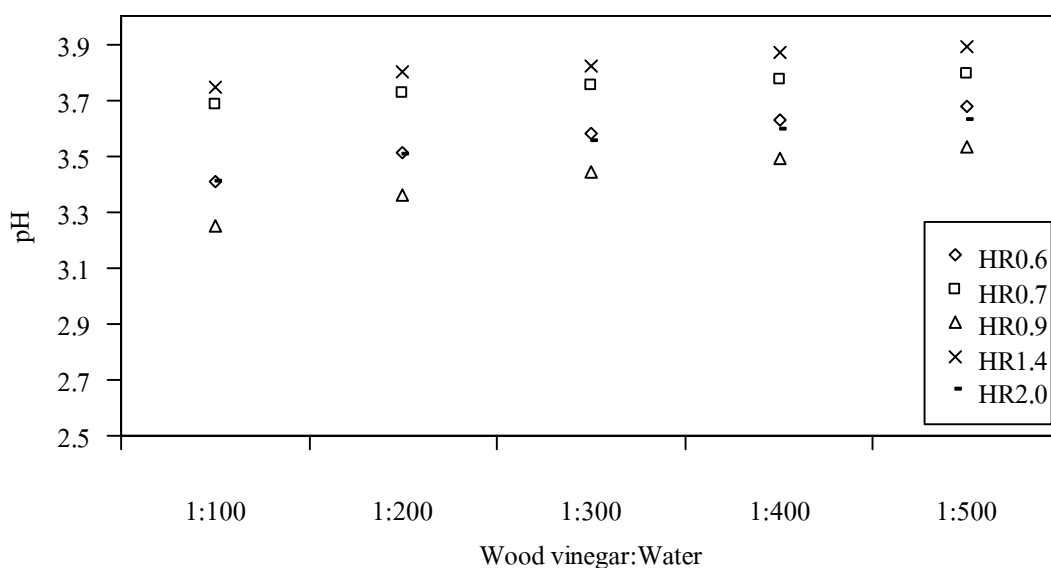
4.2.4 การเจือจาง

ภาพประกอบที่ 4.7–4.15 แสดงผลการทดลองการเจือจางน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่น ตามลำดับ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดไว้คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจางต้องไม่เป็นเส้นตรง

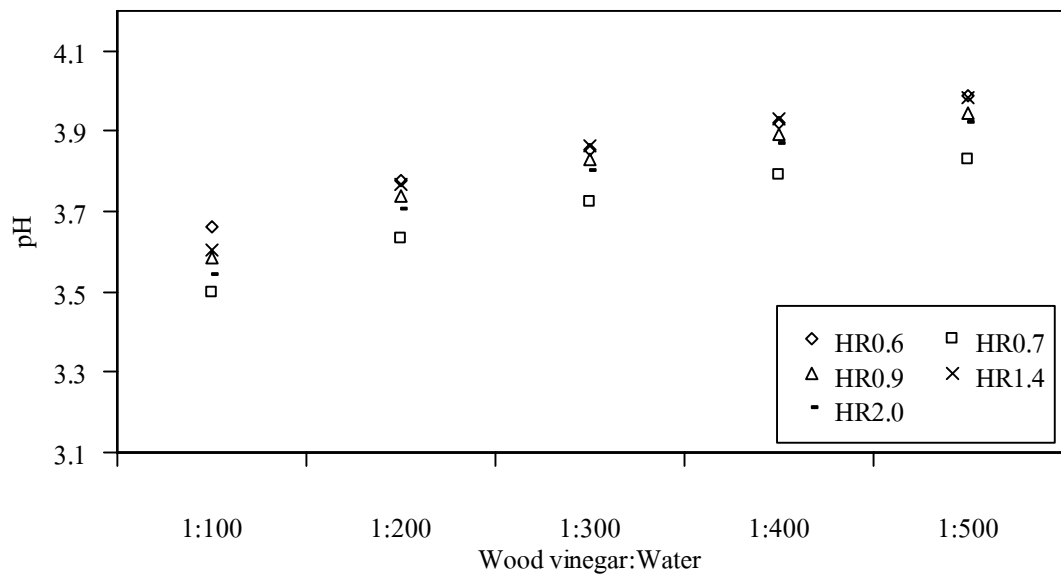
ซึ่งผลการทดลองทั้งน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่น แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจางไม่เป็นเส้นตรง ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด ทั้งนี้เพื่อป้องกันการผลิตน้ำส้มควันไม้ที่อาจทำการปรับเพิ่มความเป็นกรดโดยการเติมกรดอะซิติก



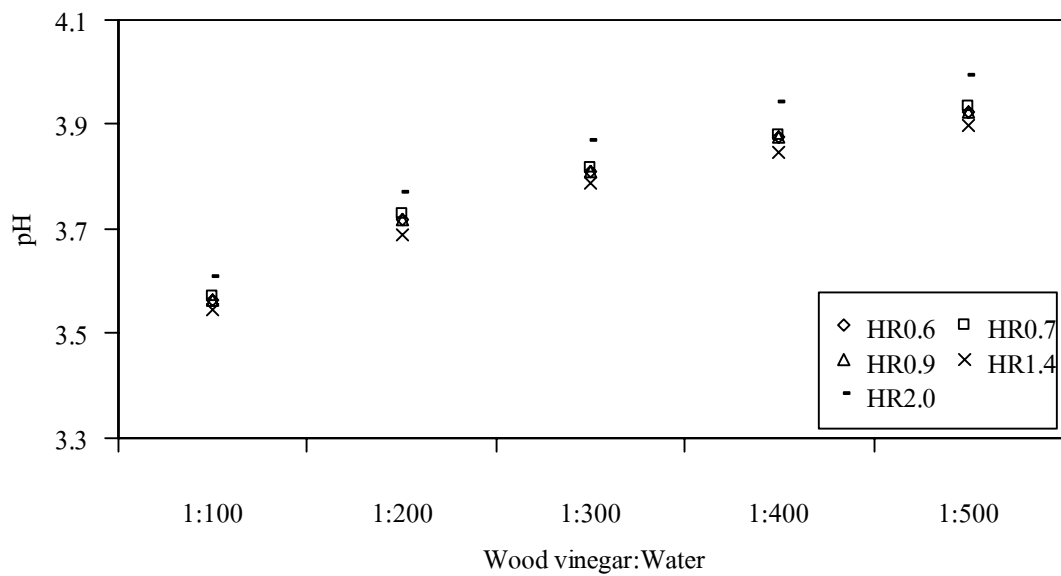
ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงผลของอัตราการเจือจาง RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่ม อุณหภูมิต่างๆ



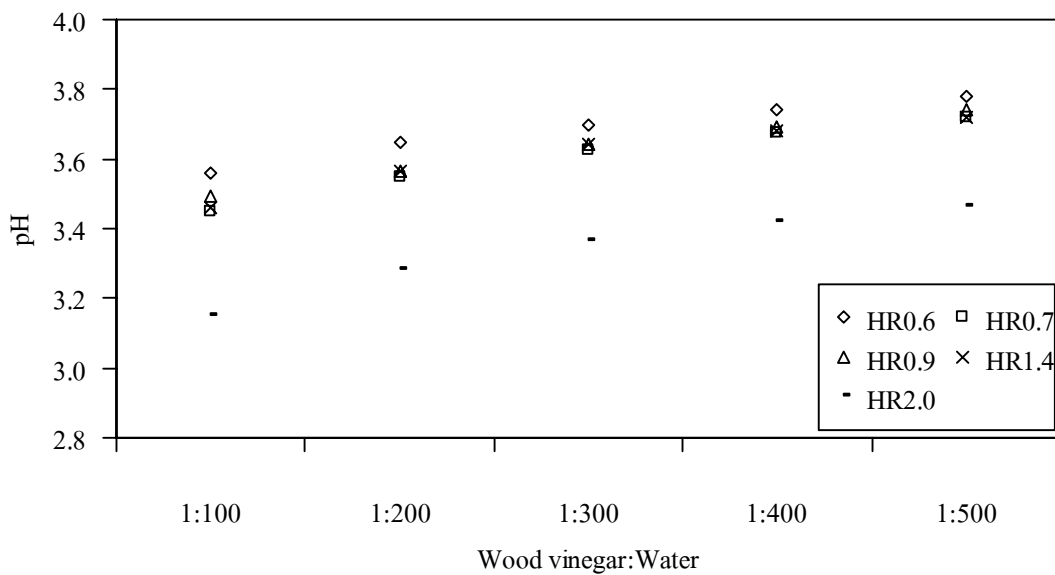
ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงผลของอัตราการเจือจาง RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่ม อุณหภูมิต่างๆ



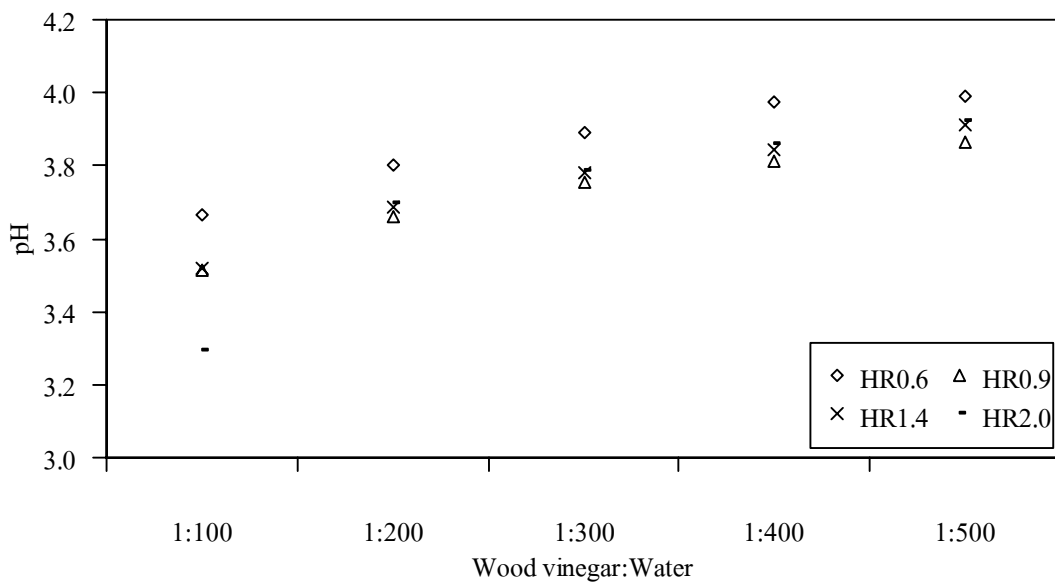
ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงผลของอัตราการใช้ DW-1/RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ



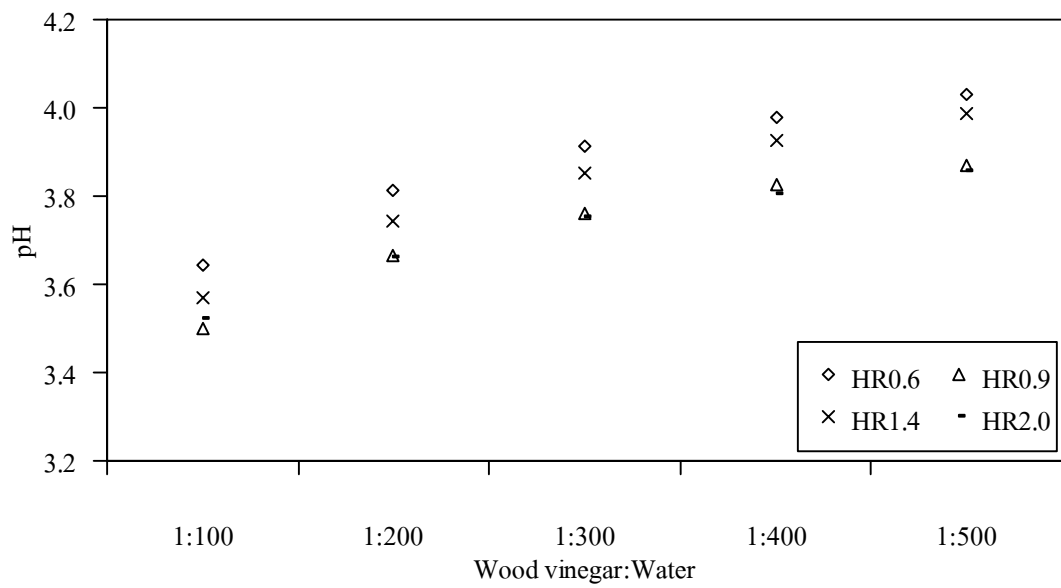
ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงผลของอัตราการใช้ DW-2/RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ



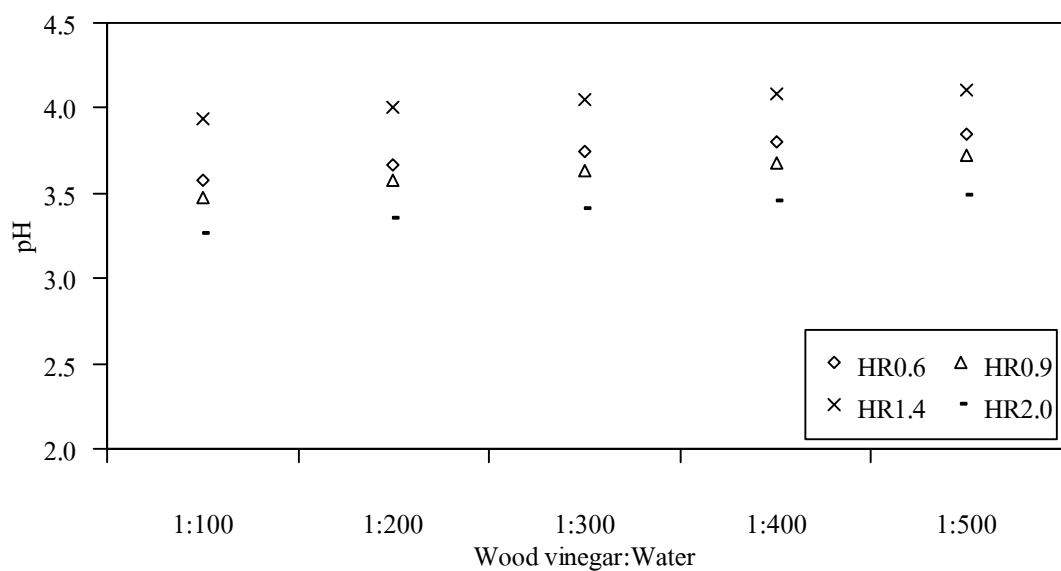
ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-3/RW-1 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตรา
การเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ



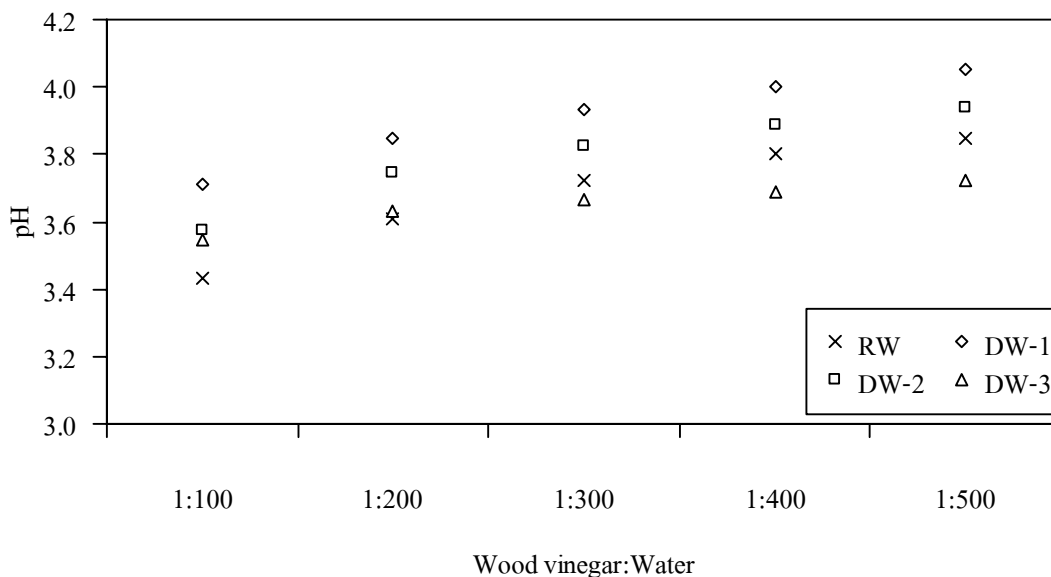
ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-1/RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตรา
การเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ



ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-2/RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตรา
การเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ



ภาพประกอบที่ 4.14 แสดงผลของอัตราการเจือจาง DW-3/RW-2 ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่อัตรา
การเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ



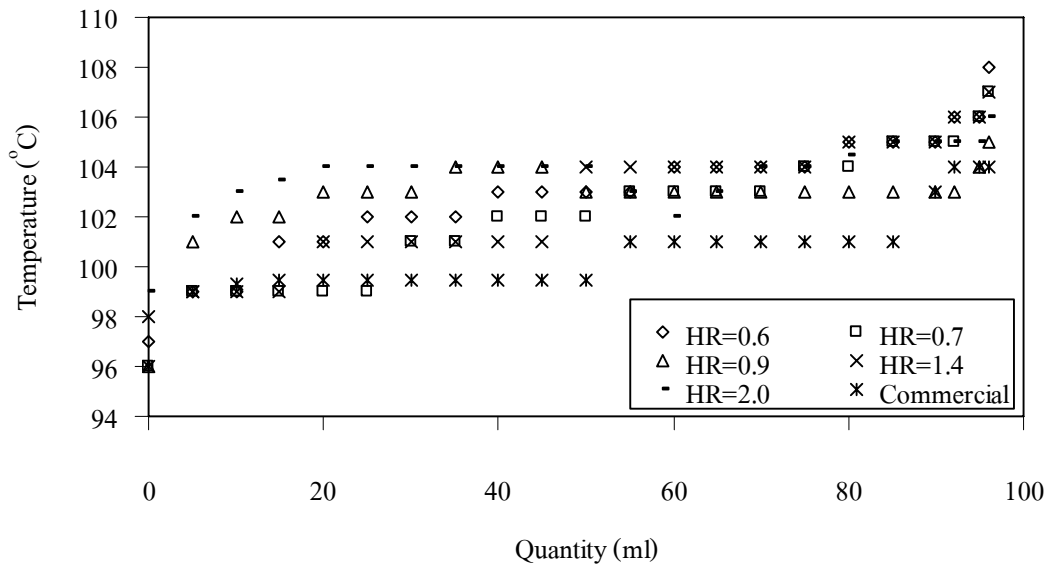
ภาพประกอบที่ 4.15 แสดงผลของอัตราการเจือจางน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

4.2.5 ช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้

ช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ อยู่ระหว่าง 96-108 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพประกอบที่ 4.16 จากการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อช่วงเดือดของน้ำส้มควันไม้ นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงเดือดน้ำส้มควันไม้อยู่ในช่วงแคบมาก ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบหลักในน้ำส้มควันไม้คือ น้ำ ซึ่งมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ดังนั้นถึงแม้ว่าน้ำส้มควันไม้จะประกอบด้วยสารประกอบอื่นๆ มากมายหลายชนิด แต่พบในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำ ดังนั้นช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้จึงมีผลมาจากน้ำเป็นหลัก สภาพช่วงอุณหภูมิเดือดน้ำส้มควันไม้ที่มีช่วงแคบจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพการกลั่นแยกแบบลำดับส่วน

ตารางที่ 4.8 แสดงช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ

Temperatrue rate (°C/min)	ช่วงอุณหภูมิเดือด (°C)
0.6	97-108
0.7	96-107
0.9	96-105
1.4	98-107
2.0	99-106
เกรดการค้า	96-104



ภาพประกอบที่ 4.16 แสดงผลช่วงอุณหภูมิเดือดของน้ำส้มควันไม้ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ เทียบกับน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า

4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

ผลการวิเคราะห์หาชนิดองค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพาราด้วยเครื่อง GC/MS ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 จากผลการทดลองพบว่า การกระจายตัวขององค์ประกอบในแฟรคชัน RW-1 และ RW-2 มีความคล้ายคลึงกัน ในทำนองเดียวกันที่พบใน DW-1/RW-1 ,DW-1/RW-2 , DW-2/RW-1, DW-2/RW-2, DW-3/RW-1 และ DW-3/RW-2 เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการสลายตัวของไม้ในกระบวนการไพโรไลซิสไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตา แต่จะค่อยๆ เกิดการสลายตัวจึงทำให้พบองค์ประกอบกระจายตัวในทุกแฟรคชัน

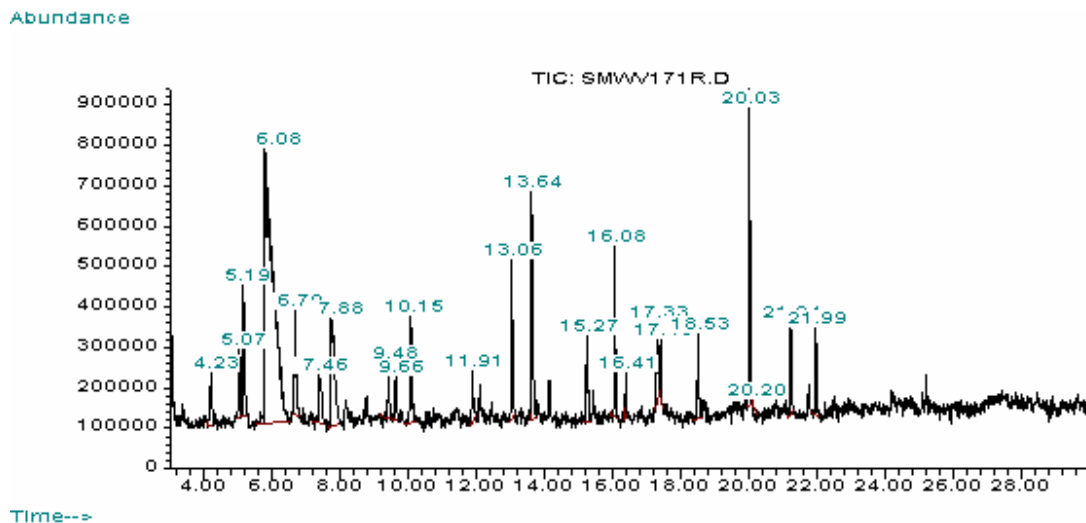
สำหรับ RW-2 พบสารกลุ่มฟีนอลมากกว่าทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ลิกนินสลายตัวให้สารประกอบในกลุ่มฟีนอล สำหรับเมทานอลนั้นไม่สามารถตรวจพบด้วย GC/MS ทั้งนี้เนื่องจากน้ำส้มควันไม้ประกอบด้วยสารจำนวนมาก ทำให้สารบางกลุ่มเช่น เมทานอล อะซิโตน กรดฟอร์มิก ฯลฯ อยู่ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน (ช่วงเวลาที่พบ 2.0-2.6 นาที) ทำให้เกิดการซ้อนทับกันของพีคส่งผลให้ความสามารถในการบ่งชี้ลดลง อย่างไรก็ตามการแสดงผลในส่วน of GC/MS ได้รวมเมทานอลด้วย โดยใช้ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC และเนื่องจาก GC/MS มีข้อจำกัดในเรื่องของความไวในการตรวจพบสาร ทำให้ผลการทดลองมีความแปรปรวนในการทำชนิดของสารเคมี ซึ่งในน้ำส้มควันไม้พบสารประกอบจำนวนมาก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.17 ซึ่งมีช่วงเวลาที่สารออกมาใกล้เคียงกัน ส่งผลต่อความสามารถในการบ่งชี้ชนิดสารลดลง เช่นเดียวกับสารประกอบในกลุ่มคลีซอลที่ตรวจไม่พบใน RW-1 แต่พบในส่วนของน้ำส้มควันไม้กลั่น อาจเนื่องด้วยในน้ำส้มควันไม้ดิบทั้งแฟรคชัน RW-1 และ RW-2 ยังคงมีสารจำพวกน้ำมันดิน และสารเคมีชนิดอื่นๆ จำนวนมาก จึงทำให้ความสามารถในการตรวจพบสารของ GC/MS ลดลง ส่วนน้ำส้มควันไม้กลั่นเป็นการทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้เครื่อง GC/MS มีความไวเพียงพอที่บ่งชี้สารประกอบต่างๆ ได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่น

Compounds	RW-1			RW-2				
	RW-1	RW-2	DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
Aceitc acid	/	/	/	/	/	/	/	/
Propionic acid	/	/	/	/	/	/	/	/
Butyric acid	/	/	/	/	/	/	/	/
Methanol	/	/	/	/		/	/	
2-Cyclopenten-1-one				/			/	
2-Methyl-2-cyclopenten-1-one			/	/		/	/	
2,3-Dimethylcyclopent-2-en-1-one			/	/		/	/	
2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one			/	/		/	/	
2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-one					/			/
2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one					/			/
1,4-Dimethoxybenzene			/	/		/	/	
4-Methoxy-2-methyl-1-(methylthio)benzene					/			/
Maltol					/			/
Furfural	/	/	/	/	/	/	/	/
Furfuryl alcohol	/	/	/	/	/	/	/	
2-furyl methylketone			/			/		
Guaiacol	/	/	/	/	/	/	/	/
Phenol	/	/	/	/	/	/	/	/
o-Cresol			/	/	/	/	/	/

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่น (ต่อ)

Compounds	RW-1			RW-2				
	RW-1	RW-2	DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
m-Cresol		/	/	/	/	/	/	/
p-Cresol		/	/	/	/	/	/	/
2-Methoxy-4-methylphenol			/	/		/	/	
4-Ethyl-2-methoxyphenol			/	/		/	/	
o-Ethylphenol			/	/		/	/	
m-Ethylphenol			/	/		/	/	
2-Ethylfuran			/			/		
2,6-Dimethylphenol			/	/	/	/		
2,5-Dimethylphenol			/			/		
2,6-Xylenol			/			/		
2,5-Xylenol			/			/		
2,6-Dimethoxyphenol							/	/
Phloretin					/			/
4-Hydroxy-3,5-dimethoxy-benzaldehyde					/			/
Pyridine					/			/
1-Hydroxy-2-butanone					/			/
Dihydro, 2(3H)-Furanone					/			/
2-Furanone					/			/



ภาพประกอบที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้ดิบ RW-1

4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบและกลิ่นจากไม้ยางพารา ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 พบปริมาณสารประกอบส่วนใหญ่ใน RW-1 เนื่องจากช่วงอุณหภูมิการเก็บของ RW-2 มากกว่า 400 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบที่ตรวจพบมีความใกล้เคียงกันหรือมากกว่ากันเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ทั้งแฟรคชัน RW-1 และ RW-2 พบว่ามีกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลัก

สำหรับผลการทดลองน้ำส้มควันไม้กลิ่นมีดังนี้ ปริมาณเมทานอลมากที่สุด ในแฟรคชัน DW-1/RW-1 และ DW-1/RW-2 ทั้งนี้เป็นเพราะเมทานอลมีจุดเดือดต่ำจึงพบในแฟรคชัน DW-1 สำหรับองค์ประกอบหลักที่ได้จากการทดลองคือกรดอะซิติกซึ่งพบมากใน DW-2/RW-1, DW-3/RW-1, DW-2/RW-2 และ DW-3/RW-2 เนื่องจากมีจุดเดือด 120 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดตัดของการกลั่นประกอบกับการควบคุมอุณหภูมิยอดหอกลั่นไม่ดี จึงพบทั้งใน DW-2 และ DW-3 เช่นเดียวกับกรดไพรอพิโอนิกและกรดบิวทีริก สำหรับฟีนอลและสารประกอบกลุ่มฟีนอลพบในแฟรคชัน DW-3 มากที่สุดเนื่องจากจุดเดือดของเหล่านี้สูงกว่า 160 องศาเซลเซียส แต่คงพบใน DW-1 และ DW-2 ด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนในส่วนของการเก็บน้ำส้มควันไม้กลิ่นที่ทางออกและวัสดุบรรจุภายในเครื่องกลั่น

สำหรับตารางที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบสารประกอบในน้ำส้มควันไม้ดิบและกลั่นที่ได้จากไม้ยางพารากับน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า พบสารประกอบต่างๆ ในน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า น้อยกว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ยางพารา โดยพบกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน และพบปริมาณเมทานอลในน้ำส้มควันไม้จากงานวิจัยสูงกว่าน้ำส้มควันไม้จากเกรดการค้า ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบนำมาใช้คือ ปีกไม้ยางพาราซึ่งเป็นส่วนที่ให้น้ำยาง จึงเกิดสารกลุ่มแอลกอฮอล์ได้ดี

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ยางพาราด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (หน่วย: สัดส่วนโดยมวล)

Compounds	RW-1			RW-2				
	RW-1	RW-2	DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
Acetic acid	0.022757	0.028448	0.009991	0.014044	0.068734	0.014178	0.022850	0.150485
Propionic acid	0.002424	0.001668	0.002357	0.000951	0.005859	0.001657	0.001858	0.008222
Butyrid acid	0.000901	0.000704	0.002294	0.000547	0.001286	0.001010	0.000842	0.002408
Methanol	0.003427	0.002628	0.071575	0.002450	-	0.059569	0.004421	-
Furfural	0.000536	0.000428	0.000907	0.000750	0.001401	0.001662	0.001992	0.002454
2-furyl methylketone	0.000300	0.000137	0.002323	0.000258	-	0.001717	0.000348	0.002438
Phenol	0.000424	0.000433	0.000867	0.000044	0.001504	0.000550	0.000245	0.005261
Quaiacol	0.000440	0.000367	0.000465	0.000147	0.000645	0.000433	0.000300	0.001568

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้กั่นจากน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (หน่วย: สัดส่วนโดยมวล)

Compounds	RW	น้ำส้มควันไม้เกรดการค้า		
		DW-1	DW-2	DW-3
Acetic acid	0.017477	0.008081	0.021735	0.673556
Propionic acid	0.000120	-	-	-
Butyric acid	0.000070	-	-	-
Methanol	0.000647	0.052692	0.001653	0.004801
Furfural	0.000415	0.000600	0.001345	0.008822
2-furyl methylketone	0.000031	0.000150	0.000232	-
Phenol	0.000416	0.000181	-	0.026415
Quaiacol	0.000140	0.000185	0.000346	0.001964

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. สภาพที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้คือ ที่อัตราการให้ความร้อน 1.4 °C/min

2. อัตราการเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่อผลได้น้ำส้มควันไม้ แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเป็นกรดค่า ความถ่วงจำเพาะ และช่วงอุณหภูมิเดือด

3. น้ำส้มควันไม้ดิบที่ผลิตได้จากการวิจัยมีค่าต่างๆ ดังนี้ ผลได้น้ำส้มควันไม้ดิบ 21.91-29.01 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรดค่า 2.8-3.7 ความถ่วงจำเพาะ 1.009-1.023 และช่วงจุดเดือด 96-108 องศาเซลเซียส น้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้มีกลิ่นควันไฟและมีสีน้ำตาลแดงและเข้มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

4. น้ำส้มควันไม้กลั่นที่ผลิตได้จากการวิจัยมีช่วงความเป็นกรด-ค่าเป็น 2.5-4.0 ความถ่วงจำเพาะ 0.973-1.068

5. กรดอะซิติกเป็นสารประกอบหลักที่พบมากในน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพารา และพบปริมาณเมทานอลสูงกว่าในน้ำส้มควันไม้เกรดการค้า พบสารประกอบกลุ่มฟินอลในช่วงการกลั่นที่อุณหภูมิสูง องค์ประกอบสารที่พบในน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพาราประกอบด้วย

- Acetic acid
- Propionic acid
- Butyric acid
- Methanol
- 2-Cyclopenten-1-one
- 2-Methyl-2-cyclopenten-1-one
- 2,3-Dimethylcyclopent-2-en-1-one
- 2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one
- 2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-one
- 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one

- 1,4-Dimethoxybenzene
- 4-Methoxy-2-methyl-1-(methylthio)benzene
- Maltol
- Furfural
- Furfuryl alcohol
- 2-furyl methylketone
- Guaiacol
- Phenol
- o-Cresol
- m-Cresol
- p-Cresol
- 2-Methoxy-4-methylphenol
- 4-Ethyl-2-methoxyphenol
- o-Ethylphenol
- m-Ethylphenol
- 2-Ethylfuran
- 2,6-Dimethylphenol
- 2,5-Dimethylphenol
- 2,6-Xylenol
- 2,5-Xylenol
- 2,6-Dimethoxyphenol
- Phloretin
- 4-Hydroxy-3,5-dimethoxy-benzaldehyde
- Pyridine
- 1-Hydroxy-2-butanone
- Dihydro, 2(3H)-Furanone
- 2-Furanone

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากยังพบการกระจายตัวของค้ำประกอบของน้ำส้มควันไม้ในทุกแฟรคชัน ทำให้พบว่าการกลั่นแยกยังต้องได้รับการปรับปรุง โดยควรควบคุมอุณหภูมิตรงยอดหม้อกลั่น และอุณหภูมิ ณ หม้อกลั่น จะทำให้ความสามารถในการแยกสารประกอบกลุ่มต่างๆ แยกได้ดีขึ้น และควรทำความสะอาดหม้อกลั่น วัสดุบรรจุ และช่องทางการเก็บน้ำส้มควันไม้อยู่เสมอเพื่อลดการปนเปื้อนของสารประกอบในแฟรคชันต่างๆ

2. ควรเพิ่มช่วงอุณหภูมิการเก็บน้ำส้มควันไม้ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อชนิดและปริมาณของสารประกอบในน้ำส้มควันไม้ ทั้งนี้เพราะการสลายตัวของสารประกอบในเนื้อไม้ น่าจะมีผลต่อชนิดของสารเคมีที่เกิดขึ้น

บรรณานุกรม

- ขนิษฐ ทวีการ. 2546. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. กรุงเทพฯ. 48 น.
- จิระศักดิ์ ศุยมูลตรี. 2548. “การทำเตาเผาถ่านด้วยถัง 200 ลิตร และการเก็บน้ำส้มควันไม้”.
เกษตรกรรมธรรมชาติ. ปีที่ 6. หน้า 35-39.
- ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงาน ไม้. 2546. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้.
- ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. 2549. ชีวมวล. พิมพ์ครั้งที่ 1. คิว พรินท์ แมเนจเม้น จำกัด
- สุทธรักษ์ บุญโชติ. 2547. การทำกลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชให้
บริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Ferreira, V.S. Rego, I.N.C. Pastore, F.Jr. Mandai, M.M. Mendes, L.S. Santos, K.A.M. Rubim,
 J.C. and Suarez, P.A.Z. 2005. “The Use of Smoke Acid as an Alternative
 Coagulating Agent for Natural Rubber Sheets’ Production”. Bioresource
 Technology. 96. 605-609.
- Goyal, H.B. Seal, D. and Saxena, R.C. 2008. “Bio-fuels from thermochemical conversion of
 renewable resources: A Review”. Renewable and Sustainable Energy Review.
 12. 504-517.
- Gullu, D. and Demirbas, A. 2001. “Biomass to Methanol via Pyrolysis”. Energy Conversion and
 Management. 42. 1349-1356.
- Hideo, I. and Yasuo, W. 2003. “Antiallergic Composition Containing Wood Vinegar/Bamboo
 Vinegar Distillate”. Patent Abstracts of Japan. 2005-179245.
- Kadota, M. and Niimi Y. 2004. “Effects of Charcoal with Pyroligneous Acid and Barnyard
 Manure on Bedding Plants”. Scientia Horticulturae. 101. 327-332.
- Katal, S.N. Imamura, Y. Tsuchiya, F. Ohsato, K. 2004. “Preliminary evaluation of fungicidal and
 termiticidal activities of filtrates from biomass slurry fuel production”.
Bioresource Technology. 95. 41-47.
- Keiichi, T. and Yuko, O. 2002. “Method for Filtering and Producing Wood Vinegar by Removing
 Tar Component and Bath Preparation of The Wood Vivegat”. Patent Abstracts
 of Japan. 2003-292969.

- Kenji, Y. Hiroshi, K. Manabu, T. and Yuji, Y. 1995. "Carbonizing Device". Patent Abstracts of Japan. 09-031469.
- Kucuk, M.M. and Demirbas, A. 1996. "Biomass Conversion Processes". Energy Conversion and Management. 38. 151-165.
- Lim, K.G. and Egashira, R. 2004. "Pyrolysis and Characterization of the Product for Recycle of Rubberwood". Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2004). December 1-3. 2004. Thailand.
- Loo, A.Y. Jain, K. and Darah, I. 2007. "Antioxidant and Radical Scavenging Activities of the Pyroligneous Acid from a Mangrove Plant, *Rhizophora apiculata*". Food Chemistry. 107. 300-307.
- Masami, I. and Mitsuaki, T. 1993. "Dry-Distillation of Bamboo Material". Patent Abstract of Japan. JP07-034070.
- Mu, J. Uehara, T. and Furuno, T. 2003. "Effect of Bamboo Vinegar on Regulation of Germination and Radical Growth of Seed Plants". Journal Wood Sci. 49. 262 – 270.
- Nakai, T. Kartel, S. N. Hata, T. and Imamura, Y. 2007. "Chemical Characterization of Pyrolysis Liquids of Wood-Based Composites and Evaluation of Their Bio-Efficiency". Building and Environment. 42. 1236-1241.
- Nishimura, T. 2002. "Apparatus for carbonization production of bamboo charcoal and bamboo pyroligneous vinegar liquid". JP 2002 332, 488.
- Miyusse, S. and Yatagai, M. 2005. "Composition of Pyrolyzate from Japanese Green Tea". Journal Wood Sci. 51. 73-76.
- Yoshitoshi, S. Shingo, T. Hisanori, K. and Takanobu, Y. 2002. "Method for Producing Wood Vinegar". Patent of Japan. JP2002-053867.
- <http://www.agmassmedia.com> (accessed September 20, 2004)
- <http://www.charcoal.snmcenter.com> (accessed October 2, 2007)
- <http://www.forest.go.th> (accessed May 19, 2006)
- <http://www.moac.go.th> (accessed September 23, 2004)
- <http://www.oae.go.th> (accessed August 31, 2006)
- <http://www.108wood.com> (accessed February 13, 2009)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของอัตรการเจือจาง

ตารางที่ ก.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพาราที่อัตรการเจือจางต่างๆ

Temperature rate (°C/min)	Wood vinegar: Water	pH	
		RW-1	RW-2
0.6	1:100	3.41	3.41
	1:200	3.56	3.51
	1:300	3.67	3.58
	1:400	3.72	3.63
	1:500	3.75	3.67
0.7	1:100	3.31	3.69
	1:200	3.48	3.72
	1:300	3.54	3.75
	1:400	3.59	3.77
	1:500	3.63	3.79
0.9	1:100	3.37	3.25
	1:200	3.53	3.36
	1:300	3.60	3.44
	1:400	3.68	3.49
	1:500	3.72	3.53

ตารางที่ ก.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพาราที่อัตราการเจือจางต่างๆ
(ต่อ)

Temperature rate (°C/min)	Wood vinegar:Water	pH	
		RW-1	RW-2
1.4	1:100	3.43	3.74
	1:200	3.57	3.80
	1:300	3.65	3.82
	1:400	3.70	3.87
	1:500	3.73	3.89
2.0	1:100	3.37	3.41
	1:200	3.53	3.51
	1:300	3.60	3.55
	1:400	3.66	3.60
	1:500	3.70	3.63

ตารางที่ ก.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ยางพาราที่อัตราการเจือจางต่างๆ

Temperature rate (°C/min)	Wood vinegar:Water	pH(RW-1)			pH(RW-2)		
		DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
0.6	1:100	3.66	3.57	3.56	3.67	3.64	3.57
	1:200	3.78	3.72	3.65	3.80	3.82	3.67
	1:300	3.86	3.81	3.70	3.89	3.91	3.74
	1:400	3.92	3.88	3.74	3.97	3.98	3.80
	1:500	3.99	3.93	3.78	3.99	4.03	3.84
0.7	1:100	3.50	3.57	3.45	-	-	-
	1:200	3.63	3.73	3.55	-	-	-
	1:300	3.72	3.82	3.63	-	-	-
	1:400	3.79	3.88	3.67	-	-	-
	1:500	3.83	3.94	3.72	-	-	-
0.9	1:100	3.59	3.57	3.50	3.52	3.50	3.48
	1:200	3.74	3.72	3.57	3.66	3.67	3.57
	1:300	3.83	3.81	3.64	3.75	3.76	3.63
	1:400	3.89	3.88	3.69	3.81	3.83	3.68
	1:500	3.95	3.92	3.74	3.87	3.87	3.72

ตารางที่ ก.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้กลั่นจากไม้ยางพาราที่อัตราการเจือจางต่างๆ
(ต่อ)

Temperature rate (°C/min)	Wood vinegar:Water	pH(RW-1)			pH(RW-2)		
		DW-1	DW-2	DW-3	DW-1	DW-2	DW-3
1.4	1:100	3.61	3.55	3.46	3.52	3.57	3.94
	1:200	3.77	3.69	3.56	3.69	3.75	4.00
	1:300	3.86	3.79	3.64	3.78	3.85	4.05
	1:400	3.93	3.85	3.68	3.85	3.93	4.09
	1:500	3.99	3.90	3.72	3.91	3.99	4.11
2.0	1:100	3.54	3.61	3.16	3.30	3.52	3.27
	1:200	3.70	3.77	3.28	3.70	3.66	3.35
	1:300	3.80	3.87	3.37	3.78	3.75	3.41
	1:400	3.87	3.94	3.42	3.86	3.81	3.45
	1:500	3.92	4.00	3.47	3.92	3.86	3.49

ตารางที่ ก.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้เกรดการค้าที่อัตราการเจือจางต่างๆ

Wood vinegar commercial grade	1:100	1:200	1:300	1:400	1:500
RW	3.43	3.61	3.72	3.80	3.85
DW-1	3.71	3.85	3.93	4.00	4.05
DW-2	3.58	3.75	3.83	3.89	3.94
DW-3	3.54	3.63	3.67	3.69	3.72

ภาคผนวก ข

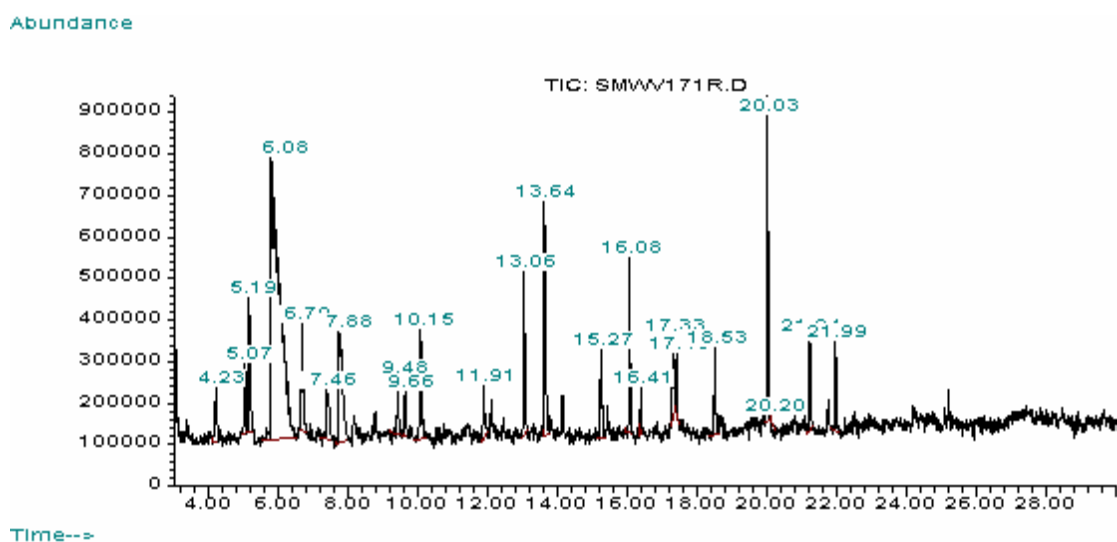
ตารางแสดงน้ำหนักน้ำส้มควันไม้ดิบ

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพาราที่ได้จากการผลิต ณ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ
ต่างๆ

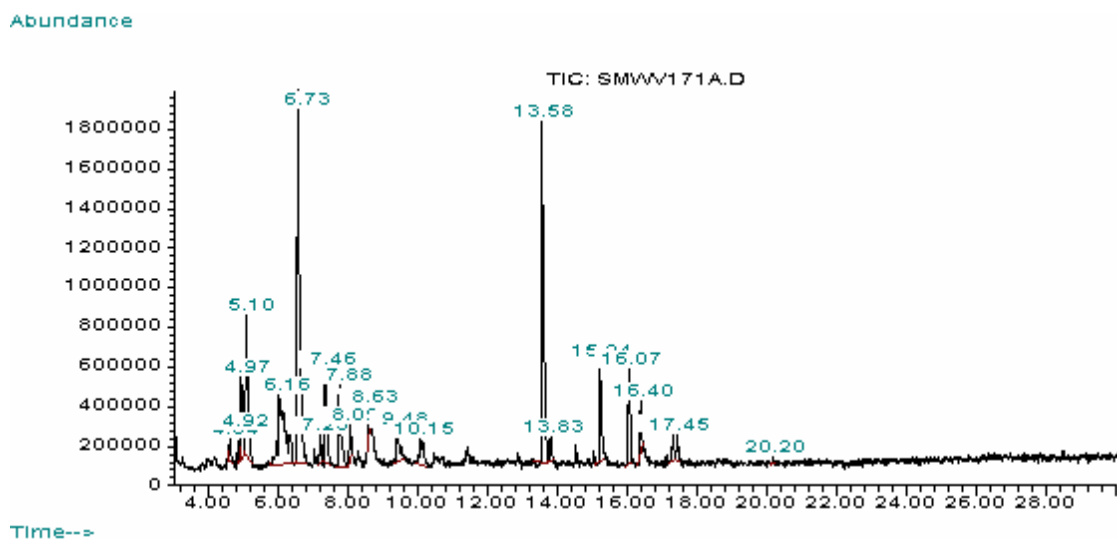
Temperature rate (°C/min)	น้ำหนักน้ำส้มควันไม้ดิบ(กรัม)		ปริมาตรน้ำส้มควันไม้ดิบ(ml)	
	RW-1	RW-2	RW-1	RW-2
0.6	4728.18	465.86	5013.90	494.43
0.7	3427.32	482.91	3612.30	509.23
0.9	2927.05	699.34	3093.45	735.97
1.4	3937.94	367.14	4149.10	384.81
2.0	1939.08	1784.29	2040.41	1868.11

ภาคผนวก ค

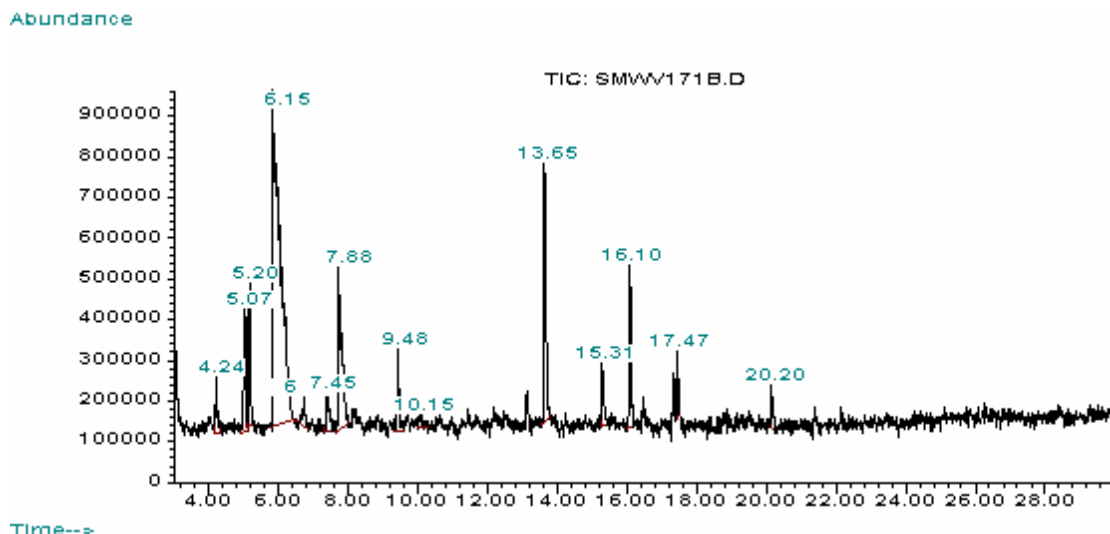
ตัวอย่างผลวิเคราะห์น้ำส้มควันไม้ด้วย GC/MS



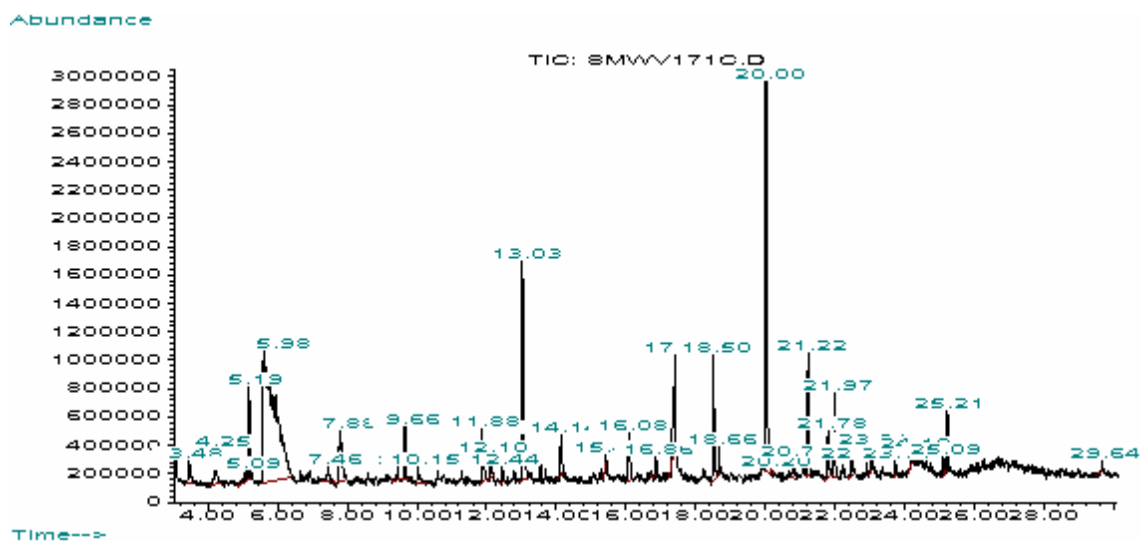
ภาพประกอบที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน RW-1 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$



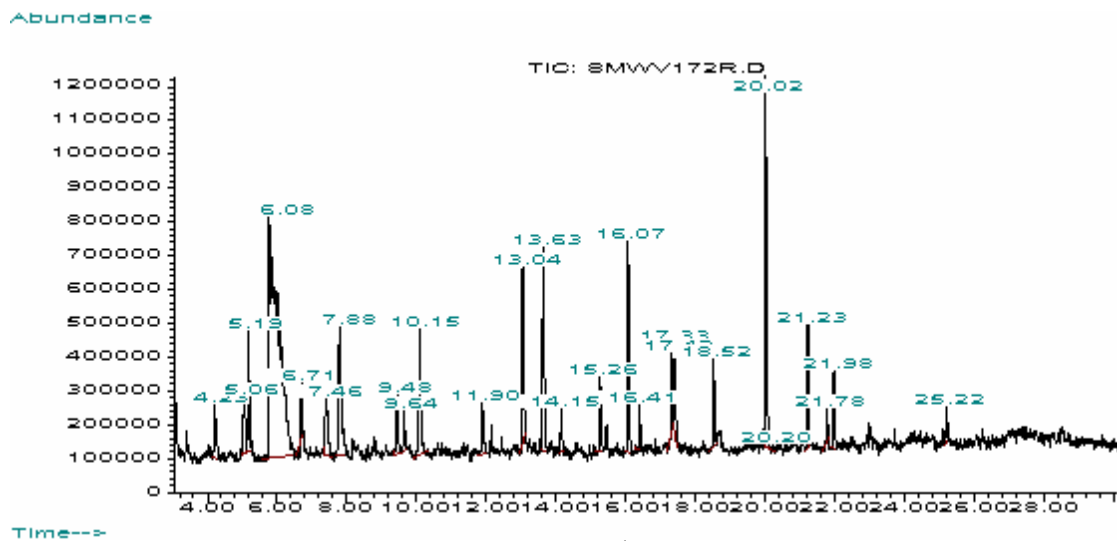
ภาพประกอบที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน DW-1/RW-1 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$



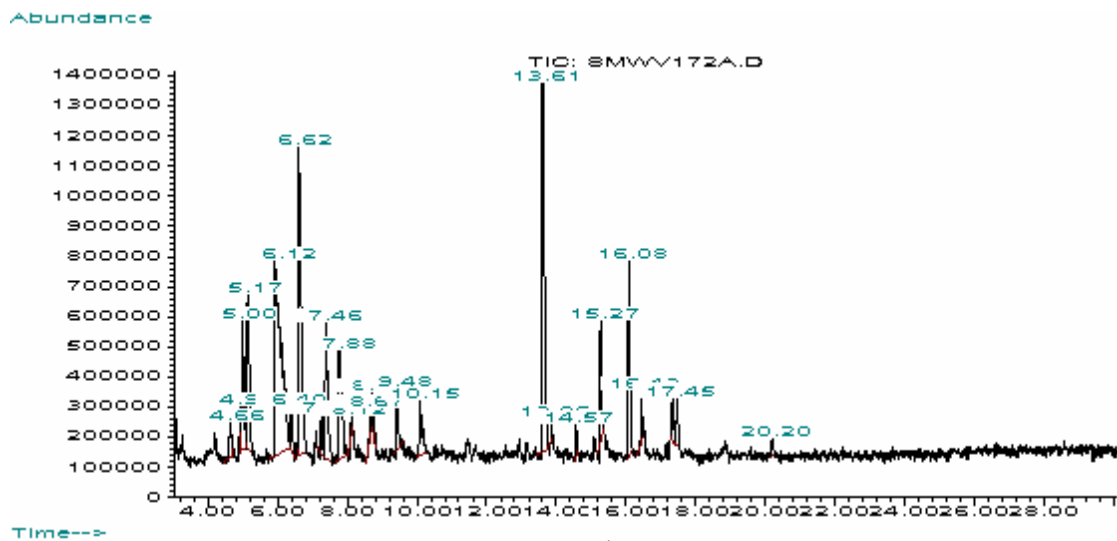
ภาพประกอบที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แปรคชัน DW-2/RW-1 เทียบกับ เวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min



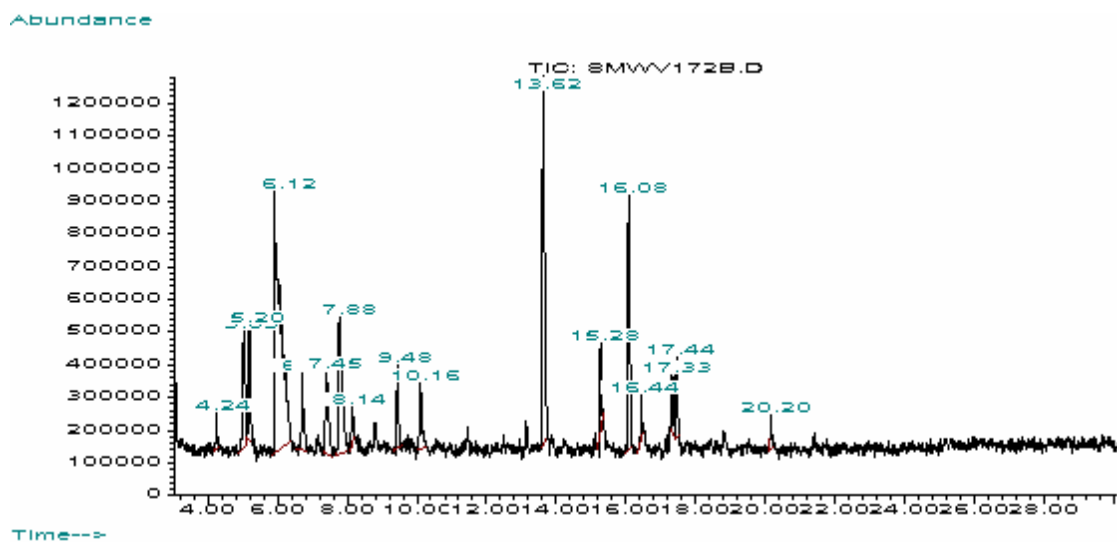
ภาพประกอบที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แปรคชัน DW-3/RW-1 เทียบกับ เวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.4°C/min



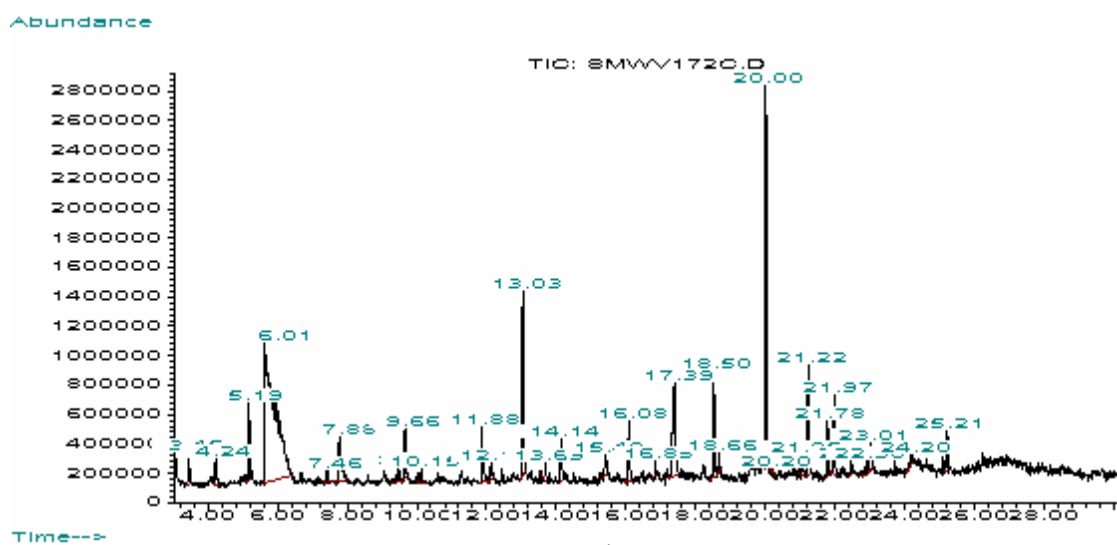
ภาพประกอบที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน RW-2 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$



ภาพประกอบที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แฟรคชัน DW-1/RW-2 เทียบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$



ภาพประกอบที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แปรคั้น DW-2/RW-2 เทียบกับ เวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$



ภาพประกอบที่ ค.8 ผลการวิเคราะห์ GC/MS ของน้ำส้มควันไม้แปรคั้น DW-3/RW-2 เทียบกับ เวลา (นาที) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุนันทา อภิรักษากุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4812076

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2547

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนยกเว้นค่าเล่าเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2548-2549

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุนันทา อภิรักษากุล, จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, อธิราชย์ เรืองรงค์, จันทิมา ชั่งสิริพร และจรัญ บุญกาญจน์. 2550. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ดิบจากไม้ยางพารา: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สุราษฎร์ธานี, 4-5 เมษายน 2550.