

สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก  
ในน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปีกไม้สัก

ANTIOXIDATION ACTIVITY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN  
PYROLIGNEOUS ACID PRODUCED FROM BAMBOO WOOD,  
EUCALYPTUS WOOD AND TEAK SLAB



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2554

KMITL-2011-SC-M-016-017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ANTIOXIDATION ACTIVITY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN  
PYROLIGNEOUS ACID PRODUCED FROM BAMBOO WOOD,  
EUCALYPTUS WOOD AND TEAK SLAB**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2011  
KMITL-2011-SC-M-016-017**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2011**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิทยาศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**      สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้ม  
 ควัน ไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก  
 Antioxidation activity of phenolic compounds in pyroligneous acid  
 produced from bamboo wood, eucalyptus wood and teak slab

**นักศึกษา**      นางสาวพิสมัย รุ่งเรือง

**รหัสประจำตัว**      49068105

**ปริญญา**      วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา**      เคมีสิ่งแวดล้อม

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**      ผศ.ดร.สุวรรณ จรรยาพูน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลงมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ณเวรัชชสิทธิ์	
ดร.วิบูลย์ ประคิมรุเกียรติ์	
ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวศ	
ผศ.ดร.สุวรรณ จรรยาพูน	

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 เวลา 09.30-12.00 น.  
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**  
 สถานที่สอบ ณ ห้อง 316 ชั้น 3 อาคารปฏิบัติการใหม่

**คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว**

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ จรรยาพูน)  
 คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่..... 23 ..... เดือน..... พฤษภาคม..... พ.ศ..... 54 .....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก ในน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก
นักศึกษา	นางสาวพิสมัย รุ่งเรือง
รหัสประจำตัว	49068105
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้ม-  
ควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก การทดลองแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษา  
คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ 2) ศึกษาตัวทำละลาย  
ที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่  
ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตท 3) ศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบ  
ฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ 4) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่าง  
สารสกัดน้ำส้มควันไม้ 5) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ใน  
ระยะเวลา 6 เดือน จากผลการทดลองพบว่า ตัวทำละลายที่สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิก  
ในน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้ดีที่สุด คือ เอทิลอะซิเตท รองลงมาคือ ไดคลอโรมีเทน และ  
ไดเอทิลอีเทอร์ โดยมีร้อยละปริมาณการกลับคืนของสารของน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส  
เท่ากับ 92.67, 91.33 และ 89.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สารสกัดน้ำส้มควันไม้ด้วยตัวทำละลาย  
เอทิลอะซิเตทจากปึกไม้สักมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ( $0.346 \pm 0.004$   
mg gallic/ml) รองลงมาคือ ไม้ยูคาลิปตัส ( $0.244 \pm 0.004$  mg gallic/ml) และ ไม้ไผ่ ( $0.150 \pm 0.006$   
mg gallic/ml) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัด  
น้ำส้มควันไม้โดย GC-MS พบ 2,6-Dimethoxyphenol มากที่สุดในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้  
ทั้ง 3 ชนิด นอกจากนี้ ยังพบ 2-Methoxyphenol (Guaiacol), Phenol, 4-Methyl-2-methoxyphenol  
(4-methylguaiacol) และ 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin) สมบัติการเป็นสารต้าน  
อนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน BHA รองลงมา  
คือ สารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สัก และไม้ไผ่ ตามลำดับ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสในเวลา 6 เดือน

**คำสำคัญ :** น้ำส้มควันไม้, สารประกอบฟีนอลิก, ไม้ไผ่, ไม้ยูคาลิปตัส, ปึกไม้สัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Antioxidation Activity of Phenolic Compounds in Pyroligneous Acid Produced from Bamboo Wood, Eucalyptus Wood and Teak Slab
<b>Student</b>	Miss Pitsamai Rungruang
<b>Student ID.</b>	49068105
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Environmental Chemistry
<b>Year</b>	2011
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Suwannee Junyapoon

### ABSTRACT

This research studied antioxidation activity of phenolic compounds in pyroligneous acids produced from bamboo wood, eucalyptus wood and teak slab. The experiment was divided into 5 steps: firstly, study the physical characteristics of pyroligneous acids and lignin contents in wood, secondly, study suitable type of solvents for extracting phenolic compounds e.g. diethyl ether, dichloromethane and ethyl acetate, thirdly, identify phenolic compounds in the pyroligneous acids, fourthly, study antioxidation activity of phenolic compounds in pyroligneous acids and fifthly, study variation of phenolic contents in pyroligneous acid within 6 months. The results showed that ethylacetate was the highest efficient solvent for extracting phenolic compounds from the pyroligneous acids followed by dichloromethane and diethylether. The extraction efficiencies of these solvents for extracting pyroligneous acid produced from eucalyptus wood were 92.67, 91.33 and 89.78 percent, respectively. It was found that pyroligneous acid produced from teak slab contained highest amount of total phenolic compounds ( $0.346\pm 0.004$  mg gallic/ml) followed by eucalyptus wood ( $0.244\pm 0.004$  mg gallic/ml) and bamboo wood ( $0.150\pm 0.006$  mg gallic/ml), respectively. 2,6-Dimethoxyphenol was a major phenolic compound found in all pyroligneous acids. In addition, 2-Methoxyphenol (Guaiacol), Phenol, 4-Methyl-2-methoxyphenol (4-methylguaicol) and 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin) were found. The extract from pyroligneous acid produced from Eucalyptus had similar antioxidation activity as BHA followed by teak slab and bamboo wood, respectively. The amounts of phenolic contents in pyroligneous acid produced from Eucalyptus wood were not different within 6 months.

**Keywords:** pyroligneous acids, phenolic compounds, bamboo wood, eucalyptus wood, teak slab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวช อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหของวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณกิตติ เลิศล้ำ และกลุ่มเกษตรกรรมน้ำส้มควันไม้ อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ที่เอื้อเพื่อน้ำส้มควันไม้และตัวอย่างไม้เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์

นางสาวพิสมัย รุ่งเรือง

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XII
สัญลักษณ์และคำย่อ .....	XIV

<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 สารต้านออกซิเดชัน .....	4
2.1.1 ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน.....	5
2.1.1.1 สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์.....	5
2.1.1.2 สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ.....	6
2.1.2 การวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน.....	6
2.1.2.1 วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน.....	6
2.1.2.2 วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว.....	7
2.2 สารประกอบฟีนอลิก.....	8
2.2.1 ลักษณะทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก.....	9
2.2.2 ชนิดของสารประกอบฟีนอลิก.....	9
2.2.2.1 แบ่งตามจำนวนวงแหวนฟีนอล.....	9
2.2.2.2 แบ่งตามจำนวนคาร์บอนอะตอมในโครงสร้าง.....	10
2.2.3 สมบัติการป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4	ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก	
	ในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	15
2.2.4.1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	15
2.2.4.2	อุณหภูมิ.....	15
2.2.4.3	แสง.....	16
2.2.4.4	เอนไซม์.....	16
2.2.4.5	การรวมตัวกับโมเลกุลอื่น.....	16
2.3	ไม้.....	16
2.3.1	โครงสร้างของเซลล์ไม้.....	16
2.3.2	องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ไม้.....	18
2.3.2.1	เซลลูโลส.....	19
2.3.2.2	เฮมิเซลลูโลส.....	20
2.3.2.3	ลิกนิน.....	21
2.3.2.4	สารแทรก.....	22
2.3.3	ปฏิกิริยาการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน.....	23
2.3.3.1	การสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสด้วยความร้อน.....	24
2.3.3.2	การสลายตัวของเซลลูโลสด้วยความร้อน.....	25
2.3.3.3	การสลายตัวของลิกนินด้วยความร้อน.....	26
2.4	น้ำส้มควันไม้หรือกรดไพโรลิกเนียส.....	28
2.4.1	กระบวนการเกิดน้ำส้มควันไม้.....	28
2.4.2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้.....	30
2.4.3	การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์.....	33
2.4.4	การใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้.....	35
2.5	การสกัดด้วยกรด-เบส.....	36
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
<b>บทที่ 3</b>	<b>การดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>40</b>
3.1	อุปกรณ์และสารเคมี.....	40
3.1.1	อุปกรณ์.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2 สารเคมี.....	40
3.1.3 น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการศึกษา.....	41
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	41
3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนิน ในเนื้อไม้.....	41
3.2.2 ศึกษาชนิดตัวทำลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก ในน้ำส้มควันไม้.....	42
3.2.3 การหาประสิทธิภาพของวิธีการสกัดน้ำส้มควันไม้.....	43
3.2.4 ศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	45
3.2.5 ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	46
3.2.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	47
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....</b>	<b>49</b>
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนิน ในเนื้อไม้.....	49
4.2 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำลายที่เหมาะสมในการสกัด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้.....	50
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	53
4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	59
4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	61
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>63</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
<b>ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....</b>	<b>68</b>
ภาคผนวก ก-1 วิธีการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ.....	69
ภาคผนวก ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้.....	70
ภาคผนวก ก-3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วย วิธี Folin – Ciocalteu colorimetric method.....	71
<b>ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์.....</b>	<b>72</b>
ภาคผนวก ข-1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และ ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ชนิดต่าง ๆ.....	73
ภาคผนวก ข-2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้.....	76
ภาคผนวก ข-3 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	83
ภาคผนวก ข-4 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	89
ภาคผนวก ข-5 สารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้ยุคาลิปต์สที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	91
<b>ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....</b>	<b>105</b>
ภาคผนวก ค-1 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ One – way ANOVA ของค่าปริมาณลิกนินในเนื้อไม้.....	106
ภาคผนวก ค-2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey.....	106
ภาคผนวก ค-3 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ Two – way ANOVA ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้.....	107

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค-4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีTukey.....	108
ภาคผนวก ค-5 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ Two – way ANOVA สมบัติการต้านปฏิกริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้.....	112
ภาคผนวก ค-6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิกริยาออกซิเดชัน ในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความ แตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey.....	113
ภาคผนวก ค-7 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ One – way ANOVA ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยุคาลิปต์ส ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	128
ภาคผนวก ค-8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยุคาลิปต์สที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยทดสอบ สถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey.....	128
ภาคผนวก ง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ.....	130
ประวัติผู้เขียน.....	134

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืช..... 12
2.2	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของไม้..... 24
2.3	กระบวนการเกิดน้ำส้มควันไม้..... 29
2.4	อุณหภูมิและขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของไม้ในเตา..... 30
2.5	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้..... 31
2.6	องค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ชนิดต่างๆ..... 32
2.7	สมบัติของน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพดี..... 35
3.1	พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้..... 41
3.2	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบสารประกอบฟีนอลิกด้วยเครื่อง GC-MS..... 45
4.1	คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้..... 49
4.2	องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ไผ่ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้ GC-MS..... 58
4.3	องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้ GC-MS..... 58
4.4	องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากปึกไม้สักในตัวทำละลายชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้ GC-MS..... 59
ข-1.1	ค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดหลังจากผ่านการกำจัดทาร์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน..... 73
ข-1.2	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดหลังจากผ่านการกำจัดทาร์ โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน..... 74
ข-1.3	ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้..... 75
ข-2.1	ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในน้ำส้มควันไม้..... 76
ข-2.2	น้ำหนักแห้งสารสกัดน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดหลังจากผ่านการกำจัดทาร์ โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ..... 79
ข-2.3	ประสิทธิภาพของวิธีการสกัดน้ำส้มควันไม้..... 80
ข-3.1	องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ไผ่ในตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์..... 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-3.2 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ไผ่ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	83
ข-3.3 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ไผ่ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท.....	84
ข-3.4 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์.....	84
ข-3.5 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	85
ข-3.6 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท.....	85
ข-3.7 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากปีกไม้สักในตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์.....	86
ข-3.8 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากปีกไม้สักในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	87
ข-3.9 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากปีกไม้สักในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท.....	87
ข-4.1 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ.....	89
ข-5.1 ค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่างๆ.....	91
ข-5.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	92
ข-5.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัส ที่ระยะเวลาต่างๆ .....	96
ข-5.4 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการพ่นอากาศนาน 15 นาที พร้อมทั้งเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 % โดยน้ำหนัก แล้วตั้งทิ้งไว้ 7 วัน.....	100
ข-5.5 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 1 เดือน.....	100
ข-5.6 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 2 เดือน.....	100

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-5.7 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 3 เดือน .....	102
ข-5.8 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 4 เดือน .....	102
ข-5.9 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 5 เดือน.....	103
ข-5.10 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน.....	104
ค-1 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ One - way ANOVA ของค่าปริมาณลิกนินในเนื้อไม้.....	106
ค-2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ โดยทดสอบสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey.....	106
ค-3 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ Two - way ANOVA ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้.....	107
ค-4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey.....	108
ค-5 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ Two - way ANOVA สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้.....	112
ค-6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่าง สารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey.....	113
ค-7 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ One - way ANOVA ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยุคาลิปตัส ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	128
ค-8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในน้ำส้มควันจากไม้ยุคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey.....	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของสารด้านออกซิเดชันสังเคราะห์..... 5
2.2	โครงสร้างทางเคมีของ DPPH..... 8
2.3	โครงสร้างกรดไฮดรอกซีซินนามิก..... 10
2.4	โครงสร้างกรดคลอโรจินิก..... 10
2.5	โครงสร้างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก..... 11
2.6	โครงสร้างหลักของสารประกอบฟลาโวนอยด์..... 11
2.7	การเกิด delocalization ของอนุมูลคู่โคคเคียวของอนุมูลฟีนอล..... 15
2.8	โครงสร้างของผนังเซลล์..... 18
2.9	ชั้นของผนังเซลล์..... 18
2.10	องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์ไม้..... 19
2.11	องค์ประกอบของผนังเซลล์ในไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน..... 19
2.12	โครงสร้างเซลลูโลส..... 20
2.13	โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส..... 21
2.14	น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส..... 21
2.15	โครงสร้างของหน่วยโมโนเมอร์ของลิกนิน..... 22
2.16	Guaiacyl propane ที่พบในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างและ Syringyl propane ที่พบในมากในไม้ใบกว้าง..... 22
2.17	การสลายตัวด้วยความร้อนของเฮมิเซลลูโลส..... 25
2.18	การสลายตัวด้วยความร้อนของลิกนิน..... 27
2.19	ถังเก็บน้ำส้มควันไม้..... 34
3.1	แผนผังสรุปขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ในตัวทำลายแต่ละชนิด..... 44
3.2	แผนผังสรุปขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในน้ำส้มควันไม้ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 48
4.1	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่าง ๆ ด้วยตัวทำลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท... 51
4.2	น้ำหนักแห้งสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ ด้วยตัวทำลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท..... 52
4.3	ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสด้วยตัวทำลาย ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 โครมาโทแกรมสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ไผ่ ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ .....	54
4.5 โครมาโทแกรมสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายชนิดต่างๆ .....	55
4.6 โครมาโทแกรมสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ จากปึกไม้สักในตัวทำละลายชนิดต่างๆ .....	56
4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ ในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตท.....	57
4.8 ร้อยละประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐาน BHA, สารสกัด น้ำส้มควันไม้ไผ่, ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก.....	60
4.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัส ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	62

## สัญลักษณ์และคำย่อ

GC-MS	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
°C	องศาเซลเซียส
Di.et	ไดเอทิลอีเทอร์
Et.ac	เอทิลอะซิเตรท
DCM	ไดคลอโรมีเทน
%w/v	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
%v/v	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร
<i>et al.</i>	และคณะ
mg gallic/ml	มิลลิกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร
ม.ป.ท.	ไม่ปรากฏสถานที่พิมพ์



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอางจำเป็นต้องเติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อยืดอายุและรักษาสภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปนิยมใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น butylated hydroxyl anisole (BHA), butylated hydroxy toluene (BHT) และ tert-butyl hydroquinone (TBHQ) เป็นต้น จากรายงานความเป็นพิษพบว่าเมื่อได้รับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง สามารถทำให้เกิดเนื้องอกหรือมะเร็ง และยังอาจทำให้เกิดการกลายพันธุ์ในสัตว์ทดลอง (Iverson, 1999) นักวิทยาศาสตร์พยายามค้นคว้าหาสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากธรรมชาติมาใช้ทดแทนสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ เนื่องจากสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากธรรมชาติมีความปลอดภัยกว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นสารพิษเคมีที่พบได้ทั่วไปในพืชหลายชนิด ได้แก่ ผัก ผลไม้ สมุนไพร และใบชาต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำลายอนุมูลอิสระที่ดี (Li *et al.*, 2006) จึงได้รับความสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบประเภทไขมันในอาหาร (Peschel *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตาม สารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากธรรมชาติมีราคาต้นทุนค่อนข้างสูง จึงได้มีผู้สนใจศึกษาสารประกอบฟีนอลิกจากน้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) หรือกรดไพโรลิกเนียส (pyroigneous acid) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการควบแน่นควันไม้ที่เกิดจากการเผาถ่านในสภาพอับอากาศในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่านได้ของเหลวสีน้ำตาลใส มีกลิ่นควันไฟ (จุไรวัลย์และคณะ, 2550) ซึ่งองค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของไม้และกระบวนการผลิต สำหรับประเทศไทย น้ำส้มควันไม้จัดเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีการผลิตอย่างแพร่หลายและกำลังเป็นที่สนใจอย่างมาก เนื่องจากมีการลงทุนที่ไม่สูงมากนัก วัตถุดิบหาได้ง่ายในท้องถิ่น เทคโนโลยีการผลิตไม่ซับซ้อน สามารถผลิตได้ในระดับชุมชน รวมทั้งสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการเกษตรและปศุสัตว์ เช่น ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน ใช้เป็นสารดับกลิ่น ใช้เป็นสารไล่ศัตรูพืช และช่วยในการเร่งการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Pangnakorn, 2008) อย่างไรก็ตาม การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกและคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำส้มควันไม้ยังไม่แพร่หลาย งานวิจัยนี้จะศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก เพื่อเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตั้งต้นในการผลิตสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากธรรมชาติและยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์จากน้ำส้มควันไม้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้
2. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก
3. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ 3 ชนิด คือ ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ

1. ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้
2. ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตท โดยวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ ด้วยวิธี Folin - Ciocalteu Colorimetric Method
3. ศึกษาชนิดสารประกอบฟีนอลิกของตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ชนิดต่าง ๆ ในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph - Mass Spectrophotometer
4. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Radical scavenging activity) ของตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ชนิดต่าง ๆ ในตัวทำละลายที่เหมาะสม ด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยแปรค่าเวลาการบ่มที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 เดือน และเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดน้ำมันดิน โดยการเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 7 วัน (นิลบล, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้ม-  
ควันไม้
2. ทราบชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคา-  
ลิปตัส และปีกไม้สัก
3. ทราบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้ม-  
ควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปีกไม้สัก
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากน้ำส้มควันไม้ใน  
ระดับอุตสาหกรรม
5. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

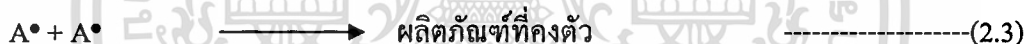
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidants)

สารต้านออกซิเดชัน เป็นสารประกอบเคมีที่สามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสามารถทำปฏิกิริยากับสารตัวกลาง ได้แก่ สารจำพวกอนุมูลอิสระ และหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยตรง หรือทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งปฏิกิริยาต่อไป (Pokorny *et al.*, 2000) สารต้านออกซิเดชันสามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. สารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิ (Primary antioxidants) ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจับกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันหรืออนุมูลอิสระอื่น ๆ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันที่มีความคงตัวสูงกว่า หรือไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นอนุมูลอิสระ ดังสมการ 2.1-2.3



เมื่อ AH แทนสารต้านออกซิเดชัน และ A<sup>•</sup> แทนอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน

ตัวอย่างของสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารต้านออกซิเดชันที่มีหมู่ฟินอลในโครงสร้าง เช่น butylated hydroxyl anisole (BHA), butylated hydroxy toluene (BHT) และสารประกอบฟินอลิกจากธรรมชาติ เป็นต้น (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

2. สารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิ (Secondary antioxidants) ทำหน้าที่ลดอัตราการเกิดออกซิเดชัน โดยรบกวนการเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ช่วยสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ช่วยลดความไวของพันธะคู่ของกรดไขมัน ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดไทโอไดโพรพอิก (thiodipropionic acid) เป็นต้น (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

3. สารต้านออกซิเดชันแบบเสริมฤทธิ์ (Synergistic antioxidants) ทำหน้าที่จับกับออกซิเจนและอนุมูลโลหะที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น และช่วยเสริมฤทธิ์ของสารต้านออกซิเดชันแบบปฐมภูมิ โดยให้อะตอมไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) ตัวอย่างของสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ กรดซิตริก กรดอะมิโน และเอนไซม์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.1 ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ในอาหาร (Pratt, 1992) ได้แก่

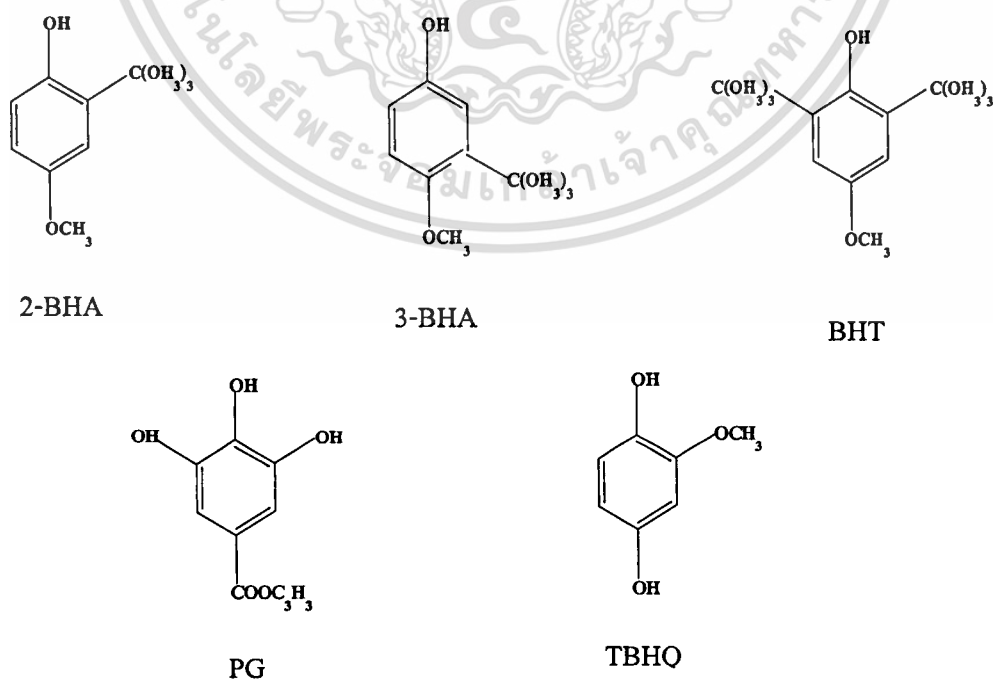
- Butylated hydroxyanisol (BHA) เป็นสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่นิยมใช้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว เป็นเงา ละลายได้ดีในน้ำมัน มักใช้อยู่ในรูปสารผสมของ 2- และ 3-tert-butyl-4-hydroxyanisole และมักเสริมประสิทธิภาพโดยใช้ร่วมกับ gallate หรือ BHT

- Butylated hydroxytoluene (BHT) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว คุณสมบัติทั่วไปใกล้เคียงกับ BHA และมีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อย และให้กลิ่นฟินอล มักใช้ร่วมกับสารตัวอื่น เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

- Propyl gallate (PG) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดแกลลิกและแอลกอฮอล์ เป็นสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพดีมาก ช่วยป้องกันการเกิดเปอร์ออกไซด์ได้ดี โดยประสิทธิภาพจะขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้น แต่มีข้อเสียคือเมื่อใช้ในอาหารที่มีเหล็กปนเปื้อน จะทำให้เกิดสีม่วง มักใช้ร่วมกับกรดซิตริก เพื่อช่วยในการจับไอออนของเหล็ก

- Tertiary butylhydroquinone (TBHQ) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวอมเหลืองแกมเทา (คล้ายทราย) ละลายได้ดีปานกลางในน้ำมัน มีค่าคงตัวต่อความร้อนดีกว่า BHT และนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอด เพราะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีได้ดี

สูตรโครงสร้างของสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ (Pratt, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

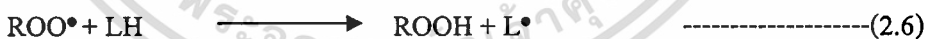
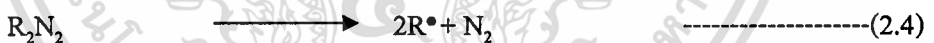
2.1.1.2 สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ พบตามธรรมชาติ มีอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช และพบว่าสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกในพืช ผลิดขึ้นโดยระบบป้องกันตนเองของพืชจากโรคและสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ สารประกอบฟีนอลิกในพืชมีหมู่ฟีนอลอยู่อย่างน้อยหนึ่งหมู่ในสูตรโครงสร้างสารกลุ่มนี้รวมถึง กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ (flavonoid and derivatives) เอสเทอร์ของกรดแกลลิก (ester of gallic acid) เป็นต้น ซึ่งพบได้ในทุกส่วนของพืช ตัวอย่างเช่น เครื่องเทศ ซึ่งมีองค์ประกอบที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ได้แก่ ออริกาโน ไทม์ โรสแมรี่ กานพลู พริกไทยดำ อบเชย จิง กระเทียม และหัวหอม เป็นต้น (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

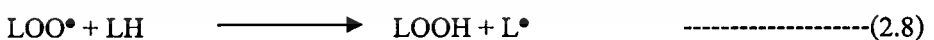
2.1.2 การวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1.2.1 วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer (HAT) reaction) เป็นการวัดความสามารถในการแข่งขันในเชิงจลศาสตร์ ประกอบด้วย สารที่ผลิตอนุมูลอิสระ (synthetic free radical generator) สารออกซิไดซ์ (oxidizable molecular probe) และสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ขั้นตอนเริ่มต้น สารประกอบอะโซ (azo compound) จะถูกกระตุ้นโดยทั่วไป จะใช้ความร้อนในการกระตุ้น เพื่อทำให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นอนุมูลเพอร์ออกซิล เพื่อเป็นตัวแทนของอนุมูลอิสระในธรรมชาติ ดังแสดงในสมการที่ 2.4-2.11 (Huang *et al.*, 2005)

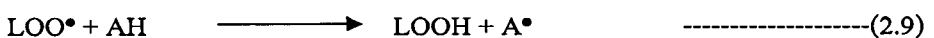
#### Initiation



#### Propagation



#### Inhibition



#### Termination

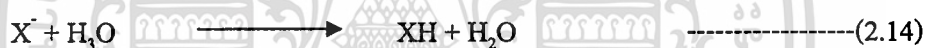


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$R_2N_2$	=	สารประกอบอะโซ (azo compound)
	$ROO^\bullet$	=	อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (peroxyl radical)
	LH	=	สารตั้งต้น (substrate)
	AH	=	สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ ได้แก่ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay และ Total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) assay ซึ่ง 2 วิธีนี้จะวัดปริมาณไฮโดรเจนอะตอมที่มีการแลกเปลี่ยน โดยวัดการเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลง เมื่อเกิดการออกซิเดชัน เมื่อระบบมีสารต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันจะไปแย่งจับกับสารเรืองแสง ทำให้ความเข้มข้นของสารฟลูออเรสเซนต์ลดลง

2.1.2.2 วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (Single electron transfer (SET) reaction) เป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวซ์สารอื่น ได้แก่ โลหะ และ อนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 2.12-2.15 (Prior *et al.*, 2005)



วิธีนี้ประกอบด้วยสาร 2 ชนิด คือ สารต้านออกซิเดชันและสารออกซิไดซ์ (probe) เกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.16 (Huang *et al.*, 2005) โดยสารออกซิไดซ์จะรับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน ทำให้ probe เปลี่ยนสี ซึ่งการเปลี่ยนสีของ probe จะเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณสารต้านออกซิเดชัน คือ ถ้าสารต้านออกซิเดชันมีความเข้มข้นมาก สีของ probe ก็จะลดลงเร็ว

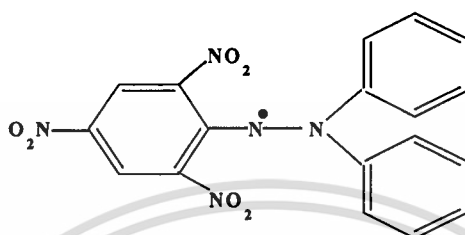


การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ ได้แก่

1) **Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR)** เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของสาร โดยใช้หลักการคือ สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดปฏิกิริยากับฟอลิน-ซีโอคาเทล ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (เมื่อเติมด้วยโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งมีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 10) สารประกอบฟีนอลิกจะเกิดการแตกตัวได้เป็นฟีนอลเลทแอนไอออน (phenolate anion) สามารถรีดิวซ์ฟอลิน-ซีโอคาเทล ทำให้เกิดสารประกอบที่ให้สีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) **2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay** เป็นการวัดความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl) โดยวัดได้จากการซีดจางของสีที่มีความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร อนุมูลอิสระ DPPH เป็นหนึ่งในสองถึงสามชนิดของอนุมูลอิสระที่มีความคงตัว มีสีม่วงเมื่ออยู่ในรูปอนุมูลอิสระ สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (โอภา และคณะ, 2549; Huang *et al.*, 2005)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ DPPH (Prior *et al.*, 2005)

ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่าย ใช้เครื่องมือทั่ว ๆ ไป นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ข้อเสียของวิธีนี้คือ อนุมูลอิสระ DPPH มีความคงตัว ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์ร่างกาย ดังนั้น วิธีนี้จึงไม่สามารถแยก หรือจัดอันดับอนุมูลอิสระที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้ ในโครงสร้างทางเคมีของ DPPH (รูปที่ 2.2) อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรง แต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ สารรีดิวซ์สามารถทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้อีกด้วย (โอภา และคณะ, 2549)

## 2.2 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารพฤษเคมีที่พบได้ทั่วไปในพืชหลายชนิด ปัจจุบันได้รับความสนใจมาก เนื่องจากสามารถลดการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ อีกทั้งยังมีผลต่อการชะลอความชรา เนื่องจากมีสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเจ็บป่วยและการเกิดโรคภัยต่าง ๆ อันมีสาเหตุมาจาก Oxidative stress ภายในร่างกาย ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะนำไปสู่การเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้กับอาหาร เพื่อเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบไขมัน

### 2.2.1 ลักษณะทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่ม Secondary metabolites ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิถี Pentose phosphate shikimate และ Phenylpropanoid ที่พบในพืช มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืช รวมทั้งช่วยปกป้องพืชจากการติดเชื้อหรือถูกทำลายโดยแมลง จุลินทรีย์ หรือพาหะนำโรค (pathogens) และยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสีและกลิ่นรสในผักและผลไม้อีกด้วย โดยทั่วไป สารประกอบฟีนอลิกจะพบมากบริเวณผิวชั้นนอกของพืช เช่น เปลือก ทำหน้าที่ปกป้องสารต่างๆที่อยู่ภายใน ปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกที่ทราบโครงสร้างที่แน่นอนแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่สารประกอบฟีนอลิกที่มีโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ (polymer) เช่น แทนนิน (tannin) เป็นต้น (วิวัฒน์, 2545) โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ตั้งแต่ 1 หมู่ขึ้นไปเกาะอยู่ในธรรมชาติสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระ (free form) จะพบเพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่ จะพบอยู่ในรูปที่รวมอยู่กับสารประกอบอื่นๆ (bound form) ซึ่งละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ และอยู่ในรูปที่จับกับสารพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ โดยมักพบสารประกอบฟีนอลิครวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น กรดกลูโคนิก (glucuronic acid) กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) ในรูปไกลโคไซด์ (glycosides) นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลิกยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) กรดอินทรีย์ (organic acids) ไขมัน (fats) และอะมีน (amines) (Balasundram *et al.*, 2006; Karakaya, 2004; Podsedek, 2007; วิวัฒน์, 2545)

### 2.2.2 ชนิดของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (Balasundram *et al.*, 2006)

#### 2.2.2.1 แบ่งตามจำนวนวงแหวนฟีนอล (Phenol rings) สามารถแบ่งย่อยเป็น

- โมโนไซคลิกฟีนอล (Monocyclic phenol) มี 1 phenol ring ที่พบทั่วไปในพืช ได้แก่ ฟีนอล (phenol), คาทีคอล (catechol), ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) และกรดไฮดรอกซีซินนามิก (*p*-hydroxycinnamic acid) เป็นต้น

- ไดไซคลิกฟีนอล (Dicyclic phenols) มี 2 phenol rings ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และลิกแนน (lignans) เป็นต้น

- โพลีไซคลิกฟีนอล (Polycyclic phenols) หรือโพลีฟีนอล (Polyphenols) ได้แก่ ลิกนิน (lignins), คาทีคอลเมลานิน (catechol melanins), ฟลาโวลัน (flavolans) เป็นต้น

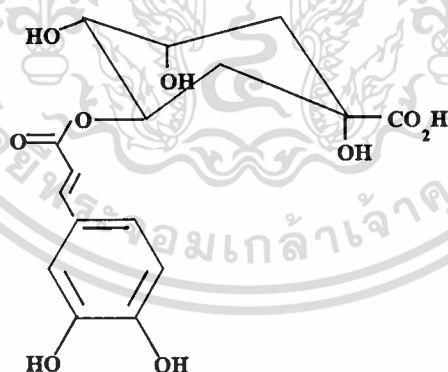
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.2 แบ่งตามจำนวนคาร์บอนอะตอมในโครงสร้าง ที่พบในพืชส่วนใหญ่

1) กรดฟีนอลิก ประกอบด้วย กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) และกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acid)

- กรดไฮดรอกซีซินนามิก มีโครงสร้างหลักดังแสดงในรูปที่ 2.3 มักพบทั่วไปในพืช ได้แก่ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟอร์ริก (ferulic acid) กรดพาราควมาริก (*p*-coumaric acid) และกรดซินแนปิก (sinapic acid) กรดเฟอร์ริก คือ กรดฟีนอลิกชนิดหลักที่พบในพืช เช่น กล้วย พืช กาแฟ ผลไม้ และผัก ในธรรมชาติมักพบในรูปกรดไฮดรอกซีเอสเทอร์ (hydroxyacid ester) โดยเกิดพันธะเอสเทอร์กับกรดควินิก (quinic acid) กรดชิคิมิก (shikimic acid) กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ฟลาโวนอยด์ เซลลูโลส ลิกนิน หรือโปรตีน ตัวอย่างเช่น กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) (รูปที่ 2.4) (Waterhouse, 2005; Green, 2007)

รูปที่ 2.3 โครงสร้างกรดไฮดรอกซีซินนามิก (Green, 2007)

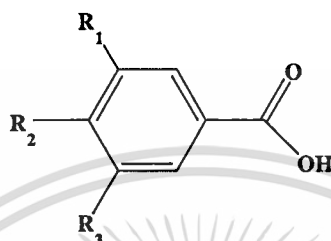


รูปที่ 2.4 โครงสร้างกรดคลอโรจีนิก (Green, 2007)

- กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก ส่วนมากมักพบในรูปอนุพันธ์ และพบปริมาณน้อยในพืช ความหลากหลายของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิกขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลและเมทอกซิลบนวงอะโรมาติก (รูปที่ 2.5) โดยมากจะเกิดพันธะไกลโคไซด์หรือพันธะเอสเทอร์กับกรดอินทรีย์ เช่น กรดมาเลอิก (maleic acid) และกรดทาร์ทาริก หรือเกิดพันธะกับฟลาโวนอยด์

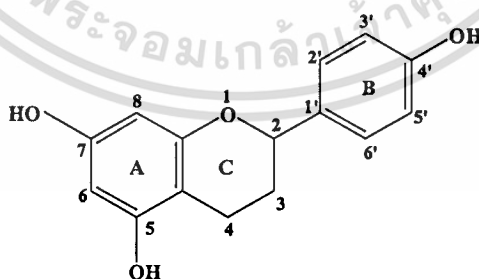
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น ตัวอย่างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (*p*-hydroxybenzoic acid) และกรดวานิลลิก (vanillic acid) โดยกรดแกลลิก คือ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิกที่สามารถพบได้ทั่วไป กรดแกลลิก 2 โมเลกุล สามารถรวมตัวกันกลายเป็นกรดเอลลาจิก (ellagic acid) ซึ่งกรดเอลลาจิกนี้ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดมะเร็ง (anticarcinogens) และการต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidation) ได้ (พิชญ์อร, 2549; Green, 2007)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Green, 2007)

2) ฟลาโวนอยด์ จัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกพบมากที่สุดในบรรดาสารประกอบฟีนอลิกจากพืชทั้งหมด พบอยู่ทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว และพบในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกต้น ดอก ผล หรือเมล็ด มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาเวน (flavan) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenylbenzopyran) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม เรียงกันเป็นระบบ  $C_6-C_3-C_6$  โดยมีวงเบนซีน 2 วง จับกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งอาจจัดเรียงเกิดเป็นวงที่ 3 ทำให้โครงสร้างหลักที่ได้เหมือน โครงสร้างหลักของวิตามินอีที่เป็น โครงสร้างแบบโครแมน (chroman) หรือเบนโซไพแรน (benzopyran) (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างหลักของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Green, 2007)

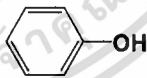

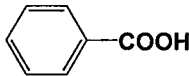
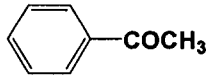
จากสูตรโครงสร้างหลักจะมีหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งต่าง ๆ โดยเฉพาะที่วง A และ B ส่วนใหญ่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล และน้ำตาลต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดเป็นฟลาโวนอยด์ในธรรมชาติที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก ฟลาโวนอยด์มักพบในลักษณะของ

เอกสารเป็นอนุกรมของอนุกรมที่ซับซ้อนซึ่งมีเพียงไม่กี่ชนิด เมื่อเข้าสู่ตำแหน่งเป็นเชิงรับของอนุกรมการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุพันธ์ของไกลโคไซด์ (glycoside) (วิวัฒน์, 2545; โอภา และคณะ, 2549) และแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ฟลาวานอล (flavanol) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาโวล (flavol) ฟลาวาโนน (flavanon) และไอโซฟลาโวน (isoflavone) (Kim *et al.*, 2005)

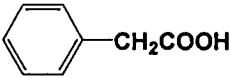
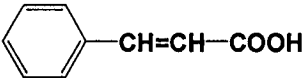
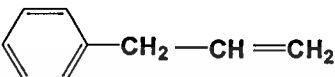
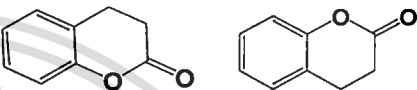
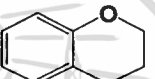
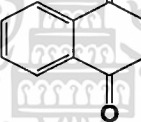
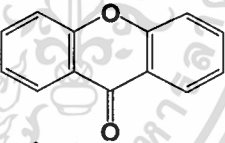

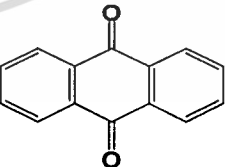
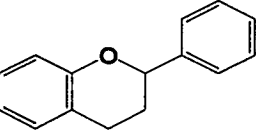
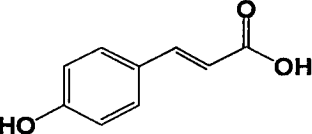
พืชสร้างสารประกอบฟีนอลิกขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และใช้เป็นการป้องกันอันตรายต่าง ๆ เช่น ฟลาโวนอยด์มีบทบาทในการกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นรังสีที่สามารถทำลายเซลล์พืชได้ โดยเฉพาะฟลาโวนและฟลาโวนอลสามารถดูดกลืนแสงในช่วงของแสง UV-B (280-320 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สามารถทำลายกรดนิวคลีอิกและ metabolic enzyme ของพืช อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น แคมฟีเฟอร์อล (kaempferol) และเคอูซิทีน-3-กลูโคไซด์ (quercetin-3-glucoside) สามารถยับยั้งเชื้อรา *Verticillium sp.* ที่เป็นสาเหตุทำให้ใบไม้ร่วงได้ โดยกลไกที่ใช้ยับยั้งจุลินทรีย์คือ สารประกอบฟีนอลิกจะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ และเข้าไปทำปฏิกิริยาเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนภายนอกเซลล์ เป็นสาเหตุให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แตก (Green, 2007) อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉพาะอย่างยิ่ง แอนโทไซยานินยังมีบทบาทในการดึงดูดสัตว์นก และแมลง เพื่อช่วยในการผสมพันธุ์หรือผสมเกสรขยายพันธุ์พืชแต่ละชนิด (วิวัฒน์, 2545) อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส (สี กลิ่นรส และรสชาติ) ของผลไม้สด ผักสด และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (Kim *et al.*, 2003) ตัวอย่างสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืช แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืช (Balasundram *et al.*, 2006)

Class	Basic Skeleton	Basic Structure
Simple phenols	C <sub>6</sub>	
Benzoquinones	C <sub>6</sub>	
Phenolic acids	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	
Acetophenones	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืช (Balasundram *et al.*, 2006)

Class	Basic Skeleton	Basic Structure
Phenylacetic acids	$C_6-C_2$	
Hydroxycinnamic acids	$C_6-C_3$	
Phenylpropenes	$C_6-C_3$	
Coumarins, isocoumarins	$C_6-C_3$	
Chromones	$C_6-C_3$	
Naphthoquinones	$C_6-C_4$	
Xanthenes	$C_6-C_1-C_6$	
Stilbenes	$C_6-C_2-C_6$	
Anthraquinones	$C_6-C_2-C_6$	
Flavonoids	$C_6-C_3-C_6$	
Lignins	$(C_6-C_3)_n$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไปว่ากรณี่ใดๆทั้งสืบ ลึกทั้งห้ามิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 สมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดทราบคุณสมบัติแน่ชัด เช่น ลิกนินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ของพืช สารในกลุ่มแอนโทไซยานินเป็นสารที่ให้สีในดอกไม้ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์มีความสำคัญในการควบคุมการเจริญของพืชจำพวกถั่ว เป็นต้น แต่คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิก คือ การเป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) สารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแทนนิน เป็นต้น (Packer, 1999) ตัวอย่างเช่น สารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้ สามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ได้ เช่น โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น ด้านการอักเสบ ด้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการละลายลิ้มเลือด รวมถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด เป็นต้น (โอภา และคณะ, 2549)

ความสามารถต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาอยู่ 3 กลไก (Green, 2007) ดังนี้

1) ความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระ (scavenging free radical) สารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังปฏิกิริยา 2.17-2.18

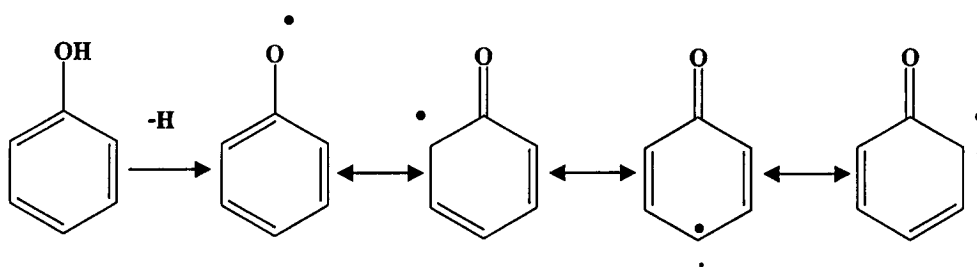


เมื่อ  $\text{ROO}^\bullet$ ,  $\text{RO}^\bullet$  คือ free radicals, PPH คือ polyphenolic compound

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ จะเปลี่ยนเป็นอนุมูลฟีนอล (phenol radicals) ซึ่งมีสภาพค่อนข้างเสถียร เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะเกิด resonance-stabilized delocalization ภายในวงอะโรมาติก (รูปที่ 2.7) ดังนั้น อนุมูลฟีนอลจึงเกิดปฏิกิริยาต่อยก เป็นการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้ ทำให้ลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึง 2 เท่า ดังปฏิกิริยา 2.19-2.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การเกิด delocalization ของอนุมูลคู่โดดเดี่ยวของอนุมูลฟีนอล (Green, 2007)

2) ความสามารถในการจับกับโลหะ (chelating transition-metals) สารประกอบฟีนอลิกสามารถจับกับโลหะ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเหล็ก และคอปเปอร์ไอออนได้

3) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระได้ เช่น ไนตริกออกไซด์ซินเทส (nitric oxide synthase) ไทโรซีนไคเนส (tyrosine kinase) และแซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase)

#### 2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ แสง และเอนไซม์ รวมถึงการรวมตัวกับโมเลกุลอื่น (วิวัฒน์, 2545)

2.2.4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากการศึกษาที่หมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทต่อสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

2.2.4.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูป มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ และระเหยกลายเป็นไอ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ  $C_6-C_3-C_6$  ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน (รูปที่ 2.6) จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและวงแหวน A จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ ตามลำดับ และจะระเหยไปพร้อมกับน้ำ

**2.2.4.3 แสง** แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก เช่น หมูไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสงและไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสง นอกจากนี้ แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนอีกด้วย

**2.2.4.4 เอนไซม์** ในสถานะที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) อยู่ด้วย จะเร่งการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดให้เกิดเร็วขึ้นได้ แต่อัตราการเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันไป เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอิพิคาเทชิน((-)-epicatechin) ได้ดีกว่าคาเทชิน ((+)-catechin)

**2.2.4.5 การรวมตัวกับโมเลกุลอื่น** สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ อัลคาลอยด์ และแอนโทไซยานินได้ง่าย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบผันกลับได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน โอโซน โลหะ เอนไซม์ และกรด เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนต์รวมกันเป็นสารใหม่ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ส่งผลให้สูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

## 2.3 ไม้ (Wood)

โดยทั่วไปต้นไม้แต่ละต้นจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งมีสัดส่วนของไม้ตามการใช้ประโยชน์เป็นลำต้น 60-65 % เนื้อไม้ส่วนยอด 5 % กิ่งขนาดต่าง ๆ 10-15 % ดอก 5-10 % และราก 10-20 % (วิชณี, 2545) ไม่ว่าจะเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง ดอก ราก ดอก ใบ และเมล็ด ล้วนเป็นอวัยวะของพืชที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่อยู่ร่วมกันและทำงานอย่างเดียวกัน เนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) และเนื้อเยื่อถาวร (permanent tissue) ซึ่งเมื่อต้นไม้ตายหรือถูกตัดฟันลงก็จะคงอยู่แต่เนื้อเยื่อถาวรของระบบต่าง ๆ ทั้งที่เป็นระบบลำเลียง (vascular tissue system) เช่น ไซเลม (xylem) และโฟลเอ็ม (phloem) และระบบพื้น (ground tissue system) เช่น พาเร็นไคมา (parenchyma) คอลเลนไคมา (collenchyma) หรือสเคอเรนไคมา (sclerenchyma) เป็นต้น

### 2.3.1 โครงสร้างของเซลล์ไม้

เนื้อเยื่อต่าง ๆ เกิดขึ้นจากโครงสร้างพื้นฐานที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า เซลล์ เซลล์หลายเซลล์มารวมกลุ่มกันจนเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) เซลล์สามารถแสดงออกถึงการมีชีวิตอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ เซลล์แต่ละเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีองค์ประกอบระดับโมเลกุลที่แตกต่างกัน จึงทำให้การทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แตกต่างกันออกไป ในเซลล์พืชชั้นสูงส่วนใหญ่จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เยื่อหุ้มเซลล์ โปรโตพลาสซึม และผนังเซลล์

1) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) เป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ ที่หุ้มล้อมรอบโปรโตพลาสซึม มีส่วนประกอบของโปรตีนและไขมัน ทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารภายนอกเซลล์กับไซโตพลาสซึม

2) โปรโตพลาสซึม (protoplasm) เป็นส่วนประกอบที่มีชีวิตของเซลล์ มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดคล้ายวุ้น โปร่งแสง ไม่มีสี ยืดหยุ่นได้ แบ่งออกเป็นนิวเคลียส (nucleus) ซึ่งเป็นตัวควบคุมกิจกรรมทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเซลล์ และไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลวคล้ายวุ้น ห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์และมีออร์แกเนลล์ (organelles) เช่น แวกิวโอ (vacuole) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ไรโบโซม (ribosomes) กอลจิบอดี้ (golgibodies) เป็นต้น เป็นส่วนประกอบทั้งเยื่อหุ้มเซลล์และโปรโตพลาสซึมจะเป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่มีชีวิต แต่เมื่อเซลล์ของพืชตายลงองค์ประกอบทั้งหมดก็จะแห้งไป ส่วนของเซลล์ที่ยังคงเหลืออยู่ ได้แก่ ผนังเซลล์

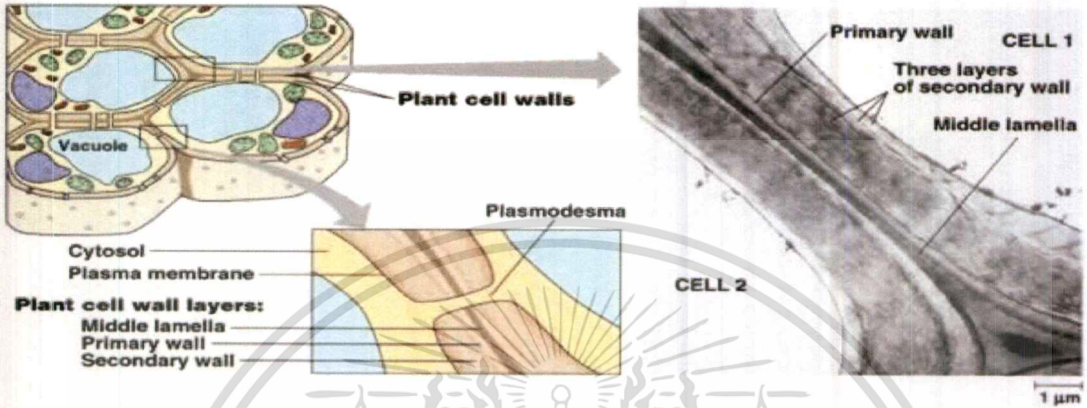
3) ผนังเซลล์ (cell wall) เป็นส่วนของเซลล์พืชที่สำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะช่วยห่อหุ้มสิ่งต่างๆ ภายในเซลล์และเป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุดของพืช ทำให้เซลล์พืชสามารถคงรูปอยู่ได้ นอกจากนี้ ยังช่วยป้องกันโครงสร้างต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่ให้ได้รับอันตราย ผนังเซลล์ของพืชแต่ละชนิดหรือแม้แต่ในเซลล์พืชเซลล์เดียวกัน จะมีความหนาบางของชั้นผนังเซลล์แตกต่างกัน ผนังเซลล์แต่ละเซลล์ของพืชไม่ได้ติดต่อกันโดยตรง แต่คั่นอยู่ด้วยสารระหว่างเซลล์ (intercellular substances) เรียกว่า มิดเดิล ลามลลา (middle lamella) ซึ่งอยู่ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์ 2 เซลล์ที่อยู่ติดกัน และส่วนที่มีลิกนิน (lignin) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ และยังประกอบด้วยสารเพคติน (pectin) ซึ่งเป็นสารที่อุ้มน้ำได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.8

ผนังของเซลล์แบ่งออกเป็น

3.1 ผนังเซลล์ปฐมภูมิหรือเรียกว่า ผนังเดิม (primary wall) เป็นผนังที่เกิดมาพร้อมกับการแบ่งตัวของเซลล์ หลังจากที่ได้สร้าง มิดเดิล ลามลลา แล้ว ถือเป็นผนังเซลล์ชั้นแรก เป็นผนังเซลล์ที่มีไมโครไฟบริลติดกันไปมาอย่างหลวม ๆ (ทิศทางไม่เป็นระเบียบ) เปรียบเสมือนเปลือกป้องกันผนังเซลล์ทุติยภูมิ มักประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และสารเพคติน สำหรับลิกนินจะพบว่าการเกิดขึ้นหนาในผนังเซลล์ปฐมภูมิของ tracheid หรือ fiber

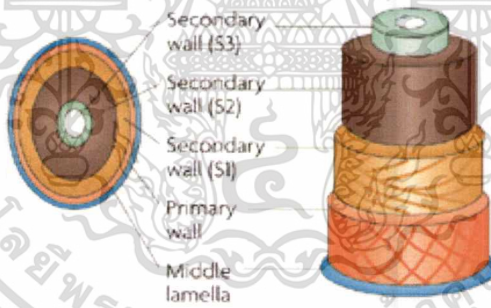
3.2 ผนังเซลล์ทุติยภูมิ หรือผนังเซลล์ใหม่ (secondary wall) เป็นผนังเซลล์ที่ถูกสร้างขึ้นจากผนังเซลล์ปฐมภูมิที่หยุดการขยายขนาดแล้ว อยู่ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิกับเยื่อหุ้มเซลล์ โครงสร้างแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ผนังชั้นกลาง ( $S_2$ ) จะหนาที่สุด มีเนื้อที่ประมาณ 85 % ของความหนา ผนังเซลล์ มีการเรียงตัวของไมโครไฟบริลขนานกับแกนของเซลล์ ในทางตรงกันข้ามการเรียงตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวางวไฉสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชั้น  $S_1, S_2$  เกิดตั้งฉากกับแกนของผนังเซลล์ ใน  $S_1$  มีไมโครไฟบริลเรียงสวนทางกันในทิศทางข้ามทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มักจะประกอบไปด้วยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และเฮมิเซลลูโลส สำหรับเซลล์ของไม้ที่เจริญเต็มที่จะมีลิกนินประมาณ 25 % และสารอื่น ๆ เช่น ซูเบอร์ริน (suberin) คิวติน (cutin) ขี้ผึ้ง (wax) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของผนังเซลล์

(Available : <http://gotoknow.org/blog/beesman/41796>)



รูปที่ 2.9 ชั้นของผนังเซลล์

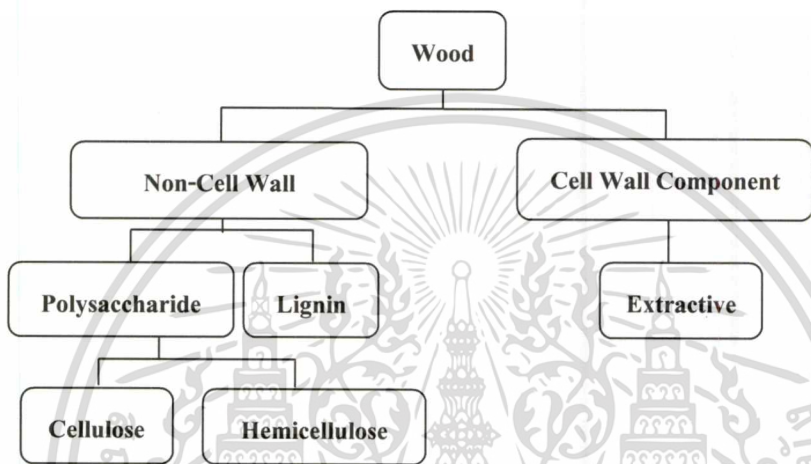
(Available : <http://www.ccruc.uga.edu/~mao/intro/outline.htm>)

### 2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ไม้

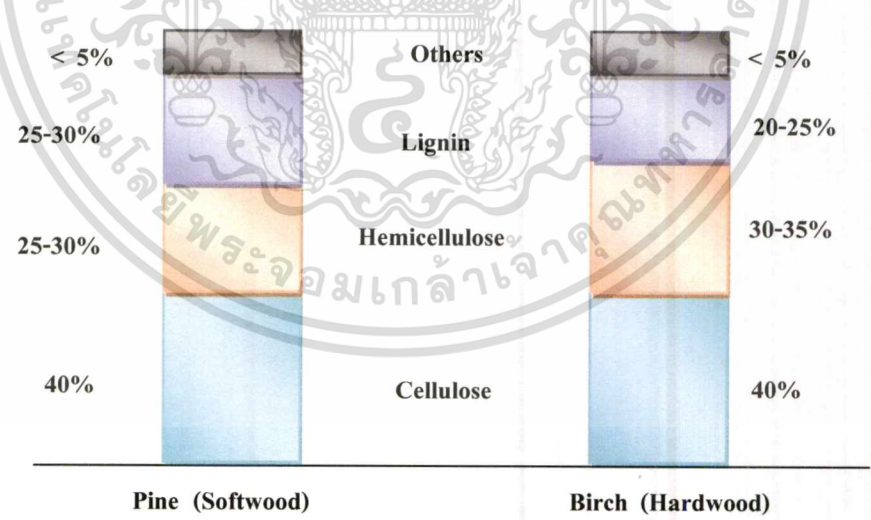
โครงสร้างของผนังเซลล์แต่ละชั้นประกอบด้วยเส้นใยยาวที่เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรง ฝังตัวอยู่ในสารที่มีองค์ประกอบออสถฐาน ซึ่งเป็นตัวเชื่อมให้คงรูป และให้ความแข็งตึง ส่วนตัวเชื่อมที่มีองค์ประกอบเป็นออสถฐาน คือ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งสารทั้งสองเป็นโพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างชนิด 2 และ 3 มิติ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวจะฝังตัวอยู่ในสารเชื่อมทั้งสองสลับกันเป็นชั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังเซลล์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์หลัก ๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นโพลิเมอร์ทั้งสิ้น ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ชนิดที่เป็นโพลิแซคคาไรด์ คือ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส และที่ไม่เป็น คาร์โบไฮเดรต คือ ลิกนิน สำหรับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มักจะถูกเรียกรวมกันว่า โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) และส่วนที่พบทั้งลิกนิน และเซลลูโลสหรือเฮมิเซลลูโลสจะถูก เรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses) นอกจากนี้ ยังมีส่วนที่ไม่เป็นสารเคมีในโครงสร้างของ ผนังเซลล์ ที่เรียกว่า สารแทรก (extractive) อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งสัดส่วนองค์ประกอบ ของผนังเซลล์ในเนื้อไม้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์ไม้ (วิทยา, 2543)

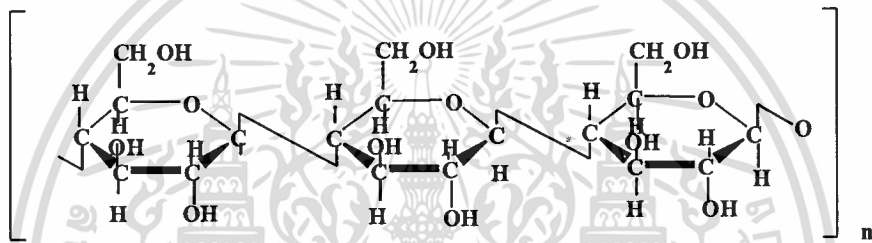


รูปที่ 2.11 องค์ประกอบของผนังเซลล์ในไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน (วิทยา, 2543)

2.3.2.1 เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบในเส้นใยในผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด

ไม้ส่วนใหญ่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ 35-55 % สำหรับไม้ใบกว้างในประเทศไทย จะมีเซลลูโลสอยู่ 33.8-48.7 % จึงเป็นเหตุทำให้เซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุด ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ใน การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติ เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือชนิดที่เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วยหน่วยของโมโนแซ็กคาไรด์เพียงชนิดเดียว คือ D-glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) โดยที่แต่ละโมเลกุลของเซลลูโลส จะมีน้ำตาล D-glucose มากถึง 15,000 หน่วย มายึดต่อกันด้วยพันธะแบบ  $\beta$ -1,4-glycosidic ด้วยพันธะโควาเลนต์จนเกิดเป็นโพลิเมอร์โซ่ตรง (รูปที่ 2.12) ซึ่งแข็งแรงมากทำให้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดน้ำได้เป็นจำนวนมาก การที่เซลลูโลสในไม้ยึดกันด้วยพันธะแบบ  $\beta$ -1,4-glycosidic ทำให้มนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ ไม้ที่มีผนังเซลล์ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว จะเหนียวและยืดหยุ่นทนต่อแรงกระทำ (tensile strength) ได้มากกว่าผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสและลิกนิน แม้ว่าเซลลูโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ได้ โดยใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซัลฟูริก เจือจาง และความร้อน



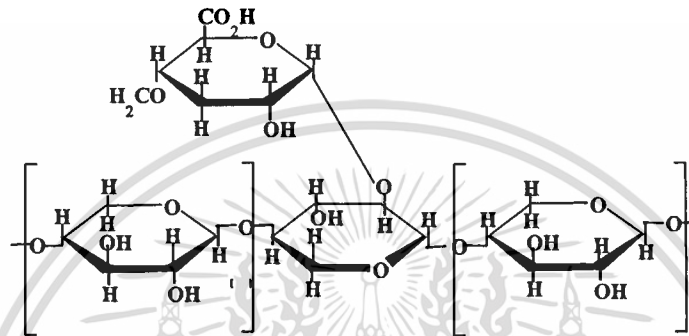
รูปที่ 2.12 โครงสร้างเซลลูโลส (วรรณา, 2534)

2.3.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นสารเชื่อมที่พบในผนังเซลล์ที่มีอยู่ประมาณ 25-40 % เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดโพลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์ 2 มิติของน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ที่มีคาร์บอน 5 โมเลกุล ได้แก่ ไซโลส (D-xylose) และอะราบินอส (L-arabinose) และ 6 โมเลกุล ได้แก่ กลูโคส (D-glucose) กาแลคโตส (D-galactose) แมนโนส (D-mannose) เป็นองค์ประกอบที่อาจมีน้ำตาลชนิดเดียวหรือหลายชนิด จำนวน 150-200 หน่วย มาเชื่อมต่อกันและมีการแตก กิ่งก้านสาขาสั้น ๆ (รูปที่ 2.13)

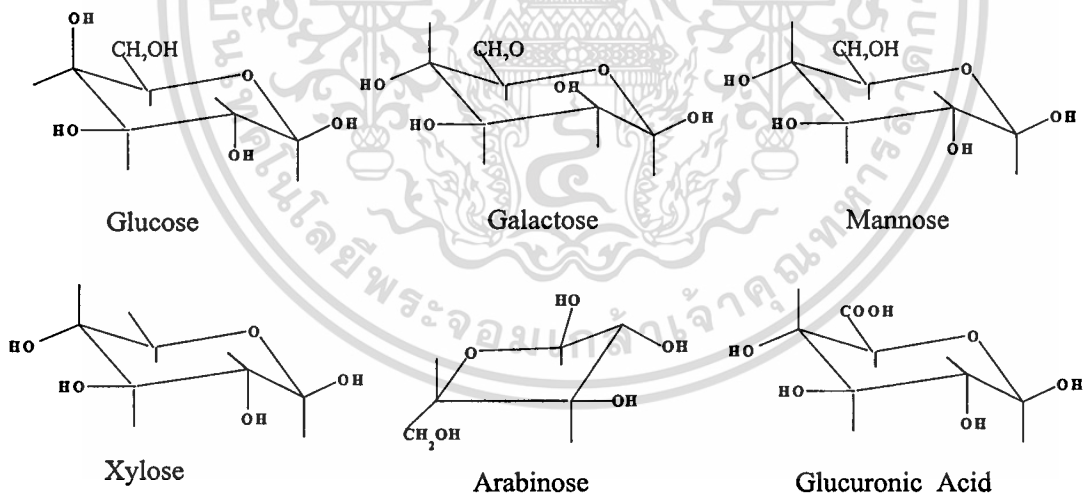
น้ำตาลโมโนเมอร์ที่พบในเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 2.14) มีปริมาณเล็กน้อยแตกต่างกัน โดยมีสัดส่วนโดยน้ำหนัก ดังนี้ กลูโคส 61-65 % แมนโนส 7-16 % กาแลคโตส 6-17 % ไซโลส 9-13 % และอะราบินอส น้อยกว่า 3.5 % นอกจากนี้ ยังอาจพบแรมโนส (L-rhamnose และ 3-O-methyl-L-rhamnose) และฟูโคส (L-fucose) บ้าง ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อยมาก ไม่เกิน 1 % เฮมิเซลลูโลสถูกไฮโดรไลสได้ง่ายด้วยกรดและละลายได้ดีด้วยตัวทำละลายต่าง สามารถดูดซึมน้ำได้ดี เฮมิเซลลูโลสจะพบทั้งในไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ ไซแลน (xylan) เป็นเฮมิเซลลูโลสที่พบมากในไม้ใบกว้าง ส่วนกลูโคแมนแนน (glucomannan) จะพบมากในไม้ใบแคบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปการวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลสในเนื้อเยื่อของพืช ไม่ว่าจะเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบเลี้ยงคู่ ไม้ใบกว้างหรือไม้ใบแคบจะถูกแสดงในรูปเพนโตแซน (pentosan) กรดยูโรนิก (uronic acid) ได้แก่ กรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) และน้ำตาล โมเลกุลเดี่ยว ในเขตนานทางอเมริกาเหนือและยุโรป ไม้ใบแคบจะมีปริมาณเพนโตแซนมากกว่า ไม้ใบกว้างในเขตเดียวกัน ส่วนในเขตร้อนไม้ใบกว้างจะมีปริมาณเพนโตแซนต่ำกว่าในเขตนาน พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เป็นพืชอายุสั้น (annual plant) จะมีปริมาณเพนโตแซนสูงมาก



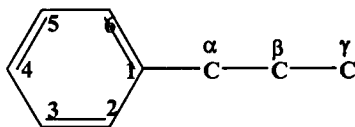
รูปที่ 2.13 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส (วรรณา, 2534)



รูปที่ 2.14 น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส (วรรณา, 2534)

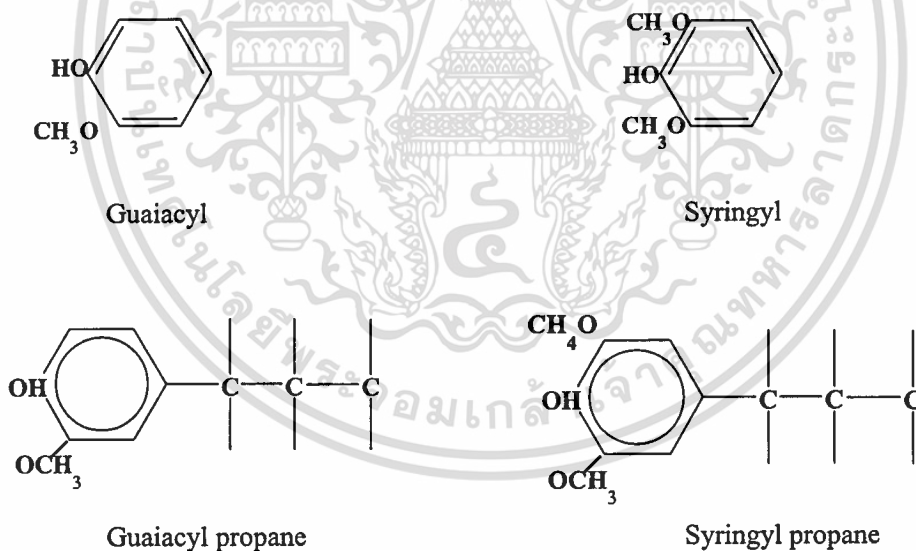
2.3.2.3 ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบที่เป็นโพลิเมอร์ 3 มิติ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีโครงสร้างสลับซับซ้อนของฟีนิลโพรเพนยูนิท (phenylpropane unit) มาเชื่อมต่อกัน (รูปที่ 2.15) ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วลิกนินจะมีคุณสมบัติค่อนข้างคงที่ และจะอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นกลาง การทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ลิกนินเป็นสารละลายจะต้องใช้กรดและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงยากที่จะสกัดออกมาโดยที่ไม่กระทบโครงสร้าง ทำให้ยังไม่ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีที่แท้จริง



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของหน่วยโมโนเมอร์ของลิกนิน (วรรณา, 2534)

ลิกนินเป็นสารเชื่อมอีกชนิดหนึ่งที่พบในมิดเดิลลามেলাและภายในผนังเซลล์ เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ประมาณ 18-33 % ในผนังเซลล์ และเป็นองค์ประกอบที่ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากน้อยแตกต่างกันไป ลิกนินในไม้ใบกว้างส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณมุมนอกของผนังเซลล์หรือมิดเดิลลามেলা จะมีโครงสร้างหลักของลิกนินผสมระหว่างไกวซิล (guaiacyl) และไซริงเจียล (syringyl) ซึ่งมีประมาณ 20 % ของผนังเซลล์ น้อยกว่าไม้ใบแคบ ที่มีปริมาณลิกนิน 30 % (รูปที่ 2.16) สำหรับในไม้ใบแคบที่มีปริมาณลิกนินมากๆ จะมีลิกนินกระจายทั้งผนังเซลล์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบไกวซิล



รูปที่ 2.16 Guaiacyl propane ที่พบในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้าง และ Syringyl propane ที่พบมากในไม้ใบกว้าง (วรรณา, 2534)

2.3.2.4 สารแทรก (wood extractive) หมายถึง สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ มีอยู่ในรูปต่างๆ ทั้งที่อยู่ในรูปของน้ำตาล แป้ง ไขมัน ที่พบในส่วนของกระพี้ และสารที่มีองค์ประกอบเป็นฟีนอลิก ที่มักพบในส่วนแก่นไม้ การกระจายของสารแทรกจะอยู่ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้หรือพืช ปริมาณสารแทรกจะแตกต่างกันไปตามความสูงและยังแตกต่างกันไประหว่างลำต้นและกิ่ง เปลือกและรากจะมีปริมาณสารแทรกมาก ในขณะที่เดียวกันก็เป็นส่วนสำคัญในใบ ดอก และเมล็ด ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่าในส่วนของเนื้อไม้

สารแทรกในไม้มีทั้งที่เป็นสารระเหยได้ง่าย (volatile extracts) กรดเรซิน (resin acid) ถ้ารวมอยู่กับสารระเหย เรียกว่าโอเลโอเรซิน (oleoresin) สารประกอบประเภทเทอร์พีน (terpenes) กรดไขมัน (fatty acids) แป้ง (carbohydrates) แอลกอฮอล์ (alcohols) สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds) นอกจากนี้ ยังมีสารแทรกที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมักพบอยู่ในรูปเกลือแคลเซียม โปแตสเซียม และแมกนีเซียม เกลือเหล่านี้สามารถยึดติดกับ acidic group ขององค์ประกอบของผนังเซลล์ เมื่อสารอินทรีย์ในไม้ถูกเผาไหม้จนหมด ก็จะเหลือแต่สารอินทรีย์ในรูปของขี้เถ้า (ash)

สารแทรกโดยทั่วไปสามารถแบ่งย่อยเป็น

1. สารแทรกที่ระเหยได้ เช่น โมโนเทอร์พีน (monoterpenoid) จะระเหยได้โดยไอน้ำ เนื่องจากเป็นสารแทรกที่มีจุดเดือดต่ำ
2. สารแทรกที่ระเหยไม่ได้ พวกโอเลโอเรซิน แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอีเทอร์หรือพวกสารสกัดที่ไม่แตกตัว (nonpolar solvents) เช่น กรดไขมัน กรดเรซิน และพวกไตรเทอร์พีน (triterpenoids)
3. สารแทรกที่ระเหยไม่ได้ ไม่ละลายในตัวทำละลายอีเทอร์ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ เช่น แทนนิน และสารอะโรมาติก
4. สารแทรกที่ระเหยไม่ได้ ไม่ละลายในตัวทำละลายอีเทอร์และแอลกอฮอล์ แต่ละลายในน้ำ เช่น น้ำตาล แป้ง และพวกเกลือต่าง ๆ

แม้ว่าสารแทรกจะไม่ใช้องค์ประกอบหลักในโครงสร้างของเนื้อไม้และมีจำนวนไม่มากนัก เมื่อเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในผนังเซลล์ของไม้ แต่สารแทรกก็มีผลต่อคุณสมบัติของไม้ ทั้งค่าความร้อนของการสันดาปของไม้ ปริมาณสารระเหย และปริมาณขี้เถ้า

### 2.3.3 ปฏิกริยาการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (Thermal Decomposition of Wood)

การสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น อุณหภูมิ องค์ประกอบของไม้ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณไอน้ำในระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งในแต่ละช่วงของอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสลายตัวขององค์ประกอบของไม้ เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบกลุ่มแรกที่ถูกทำให้สลายตัว ในขณะที่ลิกนินทนต่อการสลายตัวได้มากที่สุด หรือหากใช้อุณหภูมิไม่สูงพอ ลิกนินอาจจะถูกสลายอย่างไม่สมบูรณ์ ดังนั้น ควีน (smoke) จึงมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอุณหภูมิที่เผาไหม้ โดยทั่วไป การสลายไม้ด้วยความร้อนจะเป็นไปอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (วรรณ, 2534)

ความร้อนในระดับอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย มีผลต่อกาเปลี่ยนแปลงไม้ไม่มาก ในตอนแรกจะได้น้ำที่เรียกว่า free water ที่เกิดจากการระเหย ส่วน bound water ก็จะถูกคอกออกจากพันธะที่เกาะกัน โมเลกุลของน้ำยังอาจแยกออกจากหมู่ไฮดรอกซิลของโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ใกล้กันได้เป็นพันธะไฮโดรเจนใหม่ ๆ เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้สามารถเกิดการสร้างกรดอะซิติก ขณะที่อุณหภูมิสูงๆ (200-280 องศาเซลเซียส) อาจจะได้ทั้งกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกด้วย และเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 280 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาเป็นแบบ exothermal reaction จากการศึกษาดifferential thermal analysis แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 120-150 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาเป็นแบบ endothermal reaction เนื่องจากการระเหยของน้ำ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกริยาแบบ exothermal reaction ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน (Fengel และ Wegener, 1984) แสดงในตารางที่ 2.2

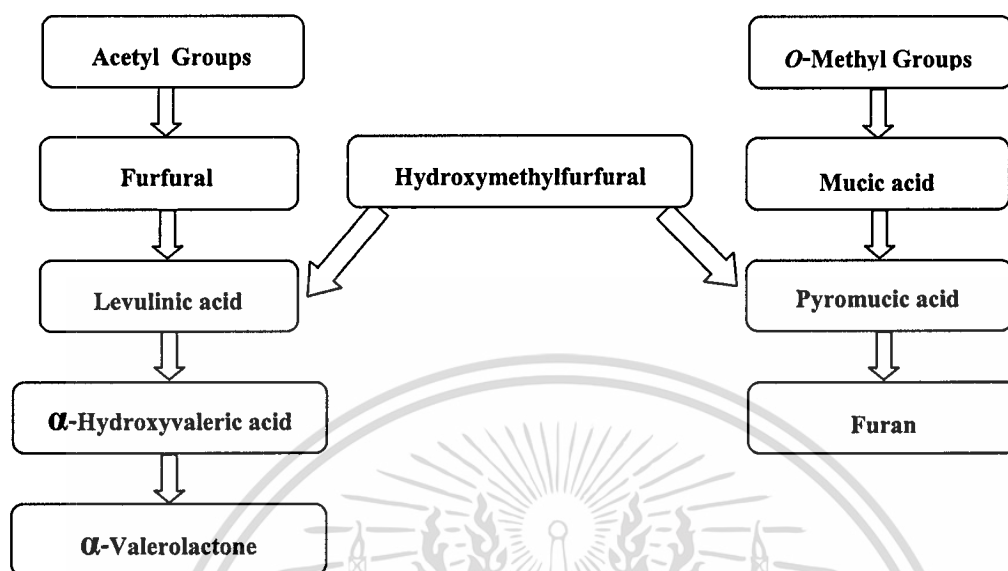
ตารางที่ 2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของไม้ (วรรณ, 2534)

อุณหภูมิ (°C)	ปฏิกริยา (Reaction)
170 ขึ้นไป	สูญเสียน้ำ, ทำให้แห้ง
200 - 260	การสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส
260 - 310	การสลายตัวของเซลลูโลส
310 - 500	การสลายตัวของลิกนิน
มากกว่า 500	เกิดปฏิกริยาทุติยภูมิ ได้แก่ ปฏิกริยาออกซิเดชัน, พอลิเมอไรเซชัน, การควบแน่นและไพโรไลซิส

### 2.3.3.1 การสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสด้วยความร้อน (Thermal Decomposition of Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบแรกที่สลายตัวด้วยความร้อน ซึ่งจะได้เป็นฟูแรน (furan) และอนุพันธ์ รวมทั้ง aliphatic acids จากการที่ไม้เนื้อแข็งประกอบด้วย pentosan-based hemicellulose จำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับไม้เนื้ออ่อน ดังนั้นจึงสร้างกรดดังกล่าวได้มากกว่าในระหว่างการสลายตัว นั่นคือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 260 องศาเซลเซียส การเผาไม้เนื้อแข็งจะเกิดควันทันที่มีฟูแรนและกรดเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า ในระหว่างการสลายตัวด้วยความร้อนของเฮมิเซลลูโลสทั้ง acetyl และ *o*-methyl groups สามารถทำปฏิกริยาและสร้างสารระเหย (volatile) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

compounds) อย่างไรก็ตาม อนุพันธ์ฟูแรนจำนวนมากไม่มีความเสถียรและมักจะเกิดออกซิเดชันต่อไป โดยมีอนุพันธ์ฟูแรนเป็น intermediates หลัก (วรรณภา, 2534) ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การสลายตัวด้วยความร้อนของเฮมิเซลลูโลส (Fengel and Wegener, 1984)

### 2.3.3.2 การสลายตัวของเซลลูโลสด้วยความร้อน (Thermal Decomposition of Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สองที่ถูกสลายตัวด้วยความร้อนรองจากเฮมิเซลลูโลส กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนของเซลลูโลสมี 2 ขั้นตอน (Maga, 1988) ดังนี้

1) การสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวของเซลลูโลสโดยการลดปริมาณของระดับของโพลีเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization) ที่อุณหภูมิ 150-190 องศาเซลเซียส ในสถานะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้น (initiation) เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ด้วยการแตกพันธะ (bond scission) ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดโมเลกุลของคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ในสถานะที่มีออกซิเจนจะช่วยเร่งการเกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ขั้นที่สองเรียกว่าโพรพาเกชัน (propagation) เป็นขั้นตอนการกระจายทำให้เพิ่มปริมาณของอนุมูลอิสระและสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และขั้นสุดท้ายเป็นขั้นการสลายตัวทำให้ได้สารประกอบคาร์บอนิล และคาร์บอกซิลที่ระเหยได้ ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่าการสลายตัว (decomposition) ได้สารประกอบต่าง ๆ

2) การสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการสลายตัวของเซลลูโลสด้วยปฏิกิริยาทรานโกลิโคซิเลชัน (transglycosylation fission) และปฏิกิริยาดีสโพรพอร์ชัน (disproportion reaction) ได้สารสีน้ำตาลของน้ำตาลที่ขาดน้ำ (anhydro sugars) เช่น ลีวอกลูโคแซน (levoglucosan) ซึ่งมีปริมาณมาก 1,6-anhydro-β-D-glucofuranose และโพลีแซก-เอกซาร์นิเจนเอกซาร์ทีสวงวินส์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาไรด์อื่น ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังเกิดสารระเหยโมเลกุลเล็ก ๆ อีกด้วย และถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นถึง 500 องศาเซลเซียส จะเกิดทาร์ น้ำตาลรีดีวซิง และ 1,6-anhydro- $\beta$ -D-glucofuranose มากขึ้น ในขณะที่มีปริมาณของถ่านลดลง ปฏิกิริยานี้เกิดที่สภาวะไม่มีอากาศ

### 2.3.3.3 การสลายตัวของลิกนินด้วยความร้อน (Thermal Decomposition of Lignin)

การสลายตัวของลิกนินด้วยความร้อนจะได้สารประกอบอนุพันธ์บางชนิด ซึ่งรวมถึงฟีนอลและฟีนอลิกเอสเทอร์ เช่น guaiacol (2-methoxyphenol) และ syringol (2,6-dimethoxyphenol) โดยลิกนินจะเริ่มสลายตัวจากการแตก heterocyclic furan, pyran ring และ ether linkages ได้เป็น guaiacol ซึ่งสลายตัวต่อไปเป็นฟีนอลและครีซอล

กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acids) เป็น intermediate ที่สำคัญจากการสลายตัวของลิกนิน สารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันต่อไปเกิดสารประกอบหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.18 อย่างไรก็ตาม สารประกอบที่มีออกซิเจนอยู่ด้วย (oxygenated compounds) เช่น vanillin, vanillic acid และ acetovanillone มักพบในปฏิกิริยาที่เกิดภายใต้บรรยากาศ สรุปได้ว่าการสลายตัวของลิกนินสามารถควบคุมได้หรือให้สารสุดท้ายตามความต้องการโดยวิธีการควบคุมสภาวะของอากาศในระหว่างเกิดปฏิกิริยา จากการศึกษาการสลายตัวของลิกนินโดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าลิกนินเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 120 องศาเซลเซียส จนถึง 300 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยา ได้แก่ formic acid, formaldehyde, CO<sub>2</sub> และ น้ำ ซึ่งได้จากการแตกพันธะเคียวของ phenyl-propane side chains การสลายตัวของลิกนินดำเนินต่อไปและมากขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 300-480 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาการสลายตัวดังกล่าวเกิดได้มากที่สุดที่ 385 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงนี้จะได้สารประกอบแตกต่างกันไป เช่น methanol, CO<sub>2</sub>, CO, น้ำ, methane, guaiacol, 2-methoxy-4-alkyl-substituted phenol, acetone และ acetic acid เป็นต้น ซึ่งคาดว่า methanol เกิดจาก methoxyl ในลิกนิน ในขณะที่สารอื่นๆ ได้จากการแตกตัวของพันธะสำคัญได้เป็น monomeric phenol units ใน vapour phase ซึ่งจะสามารถสลายตัวต่อไปได้อีก อุณหภูมิที่ทำให้ได้สารฟีนอลิกมากที่สุด คือ 320 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะได้ secondary degradation products ดังนั้น หากต้องการให้ได้ปริมาณสารฟีนอลิกในควันมากที่สุด จึงไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินกว่า 320 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าลิกนินยังสามารถสลายตัวต่อไปจนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (วรรณ , 2534)



**รูปที่ 2.18** การสลายตัวด้วยความร้อนของลิกนิน (วรรณา, 2534)

ก) ไม้เนื้ออ่อน (soft wood)

ข) ไม้เนื้อแข็ง (hard wood)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 น้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar) หรือ กรดไพโรลิกเนียส (Pyrolyigneous Acid)

น้ำส้มควันไม้หรือน้ำส้มไม้ เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านภายใต้สภาพอัดอากาศ น้ำส้มควันไม้จะเก็บในช่วงที่เกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) โดยให้ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงสัมผัสกับอากาศเย็นรอบปล่องคักควัน ความชื้นในควันก็จะควบแน่นเป็นหยดน้ำกลายเป็นของเหลว มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล กลิ่นไหม้ เรียกว่า น้ำส้มควันไม้ดิบ มีกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมา ได้แก่ เมทานอล (methanol), อะซีโตน (acetone), ฟีนอล (phenol), soluble tar, insoluble tar และยังมีกรดอินทรีย์อื่น ๆ อีกประมาณ 200 ชนิด โดยทั่วไปต้องแยก insoluble tar ออกก่อนจึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ (วิทยาและสมปอง, 2544; Kartal *et al.*, 2004)

### 2.4.1 กระบวนการเกิดน้ำส้มควันไม้

กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้, 2546) ดังนี้

1) ช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส กลุ่มสารแทรกบางชนิดจะถูกไล่ออกพร้อมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิกเล็กน้อย เนื่องจากการสลายเฮมิเซลลูโลส แต่ยังมีสัดส่วนน้อยมาก คือ ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

2) ช่วงอุณหภูมิ 200 - 280 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสจะแตกตัวมากขึ้นรวมทั้งลิกนินเริ่มสลายตัว เมื่ออุณหภูมิใกล้เซลลูโลสแตกตัวได้ก๊าซต่าง ๆ เนื้อไม้เริ่มกลายเป็นถ่านอย่างช้า ๆ และเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อน จึงต้องการความร้อนเพิ่มจากภายนอก

3) ช่วงอุณหภูมิ 280 - 500 องศาเซลเซียส องค์ประกอบไม้เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วเกิดก๊าซต่าง ๆ หลายชนิดที่สามารถควบแน่นและเก็บไว้เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ เช่น น้ำส้มควันไม้ ทาร์ เป็นต้น ไม้ที่เหลือถูกเปลี่ยนสภาพโดยการจับตัวใหม่ของคาร์บอนกลายเป็นถ่าน

4) ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ก่อนที่ไม้จะกลายเป็นถ่านหมด ไม้ส่วนนอกที่กลายเป็นถ่านแล้ว อาจจะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ออกมาจากภายใน เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของก๊าซกับคาร์บอนได้ก๊าซต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอีก ส่วนถ่านจะเกิดการสลายตัวไปบางส่วน ทำให้ผลผลิตถ่านลดลง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 กระบวนการเกิดน้ำส้มควันไม้ (Loo *et al.*, 2008)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การสลายองค์ประกอบไม้	ผลผลิต
$\leq 200^{\circ}\text{C}$	ความชื้นในไม้	คาร์บอนไดออกไซด์, กรดฟอร์มิก, กรดอะซิติก และน้ำ
$200 - 280^{\circ}\text{C}$	เฮมิเซลลูโลส	คาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ, กรดอะซิติก, คาร์บอนมอนอกไซด์, บางส่วนของทาร์, สารประกอบ คาร์บอนิล และคาร์บอกซิลิก
$280 - 500^{\circ}\text{C}$	เซลลูโลส ที่ $200 - 320^{\circ}\text{C}$ ลิกนิน ที่ $320 - 500^{\circ}\text{C}$	คาร์บอนมอนอกไซด์, เมทานอล, กรดอะซิติก, กรดฟอร์มิก, ฟอร์มัลดีไฮด์, มีเทน, คาร์บอนิล, สารประกอบฟีนอลิก และถ่าน
$> 500^{\circ}\text{C}$	ไม้ส่วนที่เหลือ	คาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ, ถ่าน คาร์บอนมอนอกไซด์

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บน้ำส้มควันไม้ ควรเก็บในขณะที่อุณหภูมิปากปล่องควันอยู่ระหว่าง 80 ถึง 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ระหว่าง 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส (วิทยาและสมปอง, 2544) การเก็บน้ำส้มควันไม้บางครั้งต้องอาศัยความชำนาญในการสังเกตสีของควัน (ตารางที่ 2.4) และลักษณะการพุ่งออกจากปล่องของกลุ่มควันมาประกอบด้วย

จุดสำคัญของการเก็บน้ำส้มควันไม้ คือ ต้องให้ปล่องตั้งค้ำไว้ห่างจากปากปล่องควัน 20 ถึง 30 เซนติเมตร หากทั้งสองส่วนเชื่อมติดกันจะมีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในเตา ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและผลผลิตของถ่านที่ได้ อุปกรณ์ที่ใช้ค้ำน้ำส้มควันไม้ ควรจะเป็นวัสดุทนกรด เช่น เหล็กไร้สนิม ไม้ไผ่ หรือวัสดุอื่นที่ไม่เป็นสนิม (พุฒินันท์, 2544)

ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิและขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของไม้ในเตา (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้, 2546)

สีของควัน	สีของควันที่กลั่นตัว ติดกระเบื้องเคลือบ	อุณหภูมิ ที่ปล่องควัน (°C)	อุณหภูมิ ภายในเตา (°C)	หมายเหตุ
ขาวปนเหลืองอ่อน (ควันเบา)	หยดน้ำใส	80-82	320-350	เริ่มขั้นตอนเปลี่ยน เป็นถ่าน
น้ำตาลปนเทา	ของเหลวสีน้ำตาล	82-85	350-380	เริ่มเก็บน้ำส้มควัน ไม้
น้ำตาลปนเทา	ของเหลวสีชา	90-100	380-400	สีน้ำส้มควัน ไม้เข้มและมี
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาล	100-150	400-430	ความหนืดมากขึ้น
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาล	150-170	430-450	หยุดเก็บน้ำส้มควัน ไม้
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาล	170-230	450-500	ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง
น้ำเงินอ่อนปนขาว	เป็นจุด	230-250	500-530	เป็นถ่านเสร็จสมบูรณ์
น้ำเงินปนขาว		260-300	540-570	
ม่วงน้ำเงิน	จุดสีเทา ไม่มีความชื้น	330-350	600-650	เริ่มขั้นตอนทำให้ถ่าน บริสุทธิ์
ควันใส	สีเทา ไม่มีจุด		700-800	ปิดเตา

#### 2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ ประมาณ 200 ชนิด (ตารางที่ 2.5) ประกอบด้วยน้ำ ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ กรดอินทรีย์ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์อื่น ๆ ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ค่าพีเอช 3 ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.012-1.024 องค์ประกอบหลักของน้ำส้มควัน ไม้ คือ acetic acid ประมาณ 0.7 ถึง 7.2 เปอร์เซ็นต์ และ methyl alcohol ประมาณ 0.5 ถึง 1.8 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบทั้งหมด ในขณะที่สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น สารประกอบ aldehyde, ketone และ phenol มีประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ยังมีลักษณะอื่นที่บ่งบอกถึง คุณภาพได้ คือ สี ควรจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลอมแดง กลิ่นไม่ฉุน และควรจะมีน้ำมันดิน ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ (พุดนิพันธ์, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้, 2546)

ชนิด	สารประกอบ
Organic acids	Formic acid, Acetic acid, Propionic acid, Butyric acid, Isobutyric acid, Valeric acid, Isovaleric acid, Crotonic acid, Isocaproic acid, Tiglic acid, Enanthic acid, Levulinic acid, etc.
Phenols	Phenol, <i>o,m,p</i> -cresol, 2,4-and 3,5-xyleneol, 4-ethyl-and 4-propylphenol, Guaiacol, Cresol, 4-ethyl-and 4-propyl-guaiacol, Pyrogallol, 5-methylpyrogallol, 5-ethyl pyrogallol, 5-propyl pyrogallol-1,3-diacetyl ether, Catechol, 4-methyl, 4-ethyl, and 4-propyl catechol, etc.
Carbonyl compounds	Formaldehyde, Acetaldehyde, Propionaldehyde, Isobutyraldehyde, Butylaldehyde, Valeraldehyde, Isovaleraldehyde, Glyoxal, Acrolein, Crotonaldehyde, Furfural, 5-hydroxymethylfural, Acetone, Methyl ethyl ketone, Methyl propyl ketone, Methyl isopropyl ketone, Methyl butyl methyl ketone, Diacetyl, Methylcyclo pentenone, Methycyclo pentenone, etc.
Alcohols	Methanol, Ethanol, Propanol, Isopropanol, Allyl alcohol, Isobutyl alcohol, Isoamyl alcohol, etc.
Neutral ingredients	Levogluconan, Acetol, Maltol, Organic acid methyl ester, Veratrole, 4-methyl, 4-ethyl, and 4-propyl veratrole, 3,4-benzopyrene, 1,2,5,6-dibenzanthracene, 20-methylcholinerme, -hydroxy-valerolacetone, etc.
Basic ingredients	Ammonia, Methylamine, Dimethylamine, Pyridine, Methylpyridine, Dimethylpyridine, Trimethylamine, etc.

วัตถุดิบหรือชนิดของไม้ ความชื้นของไม้ อุณหภูมิการเผาที่แตกต่างกัน จะให้ผลผลิตถ่าน ก๊าซ น้ำส้มควันไม้ และทาร์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน รวมทั้งการเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีผลทำให้องค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้และทาร์แตกต่างกันได้ การเผาไม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส จะได้น้ำส้มควันไม้และทาร์ (วรรณ, 2534)

นอกจากนี้ สัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ (ตารางที่ 2.6) และอุณหภูมิที่เก็บน้ำส้มควันไม้ นอกจากนี้ ไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์กัน ยังพบความแตกต่างในสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมี โดยน้ำส้มควันไม้จากไม้พันธุ์ Moso ประกอบด้วย ether-extracted vinegar, acid fraction, neutral fraction และ phenolic fraction เป็น 12.83, 4.41, 0.18 และ 1.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไม้พันธุ์ Madake ประกอบด้วย ether-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

extracted vinegar, acid fraction, neutral fraction และ phenolic fraction เป็น 12.18, 3.09, 0.23 และ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Mu *et al.*, 2003)

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ชนิดต่างๆ (Jun *et al.*, 2006)

สารประกอบ	สัดส่วน (%)		
	ไม้ไฟ	ไม้กระถ่อน	กะลามะพร้าว
Formic acid	-	-	1.23
Acetic acid, methyl ester	-	1.48	2.27
Acetic acid	40.04	64.57	49.23
1-hydroxy- 2-propanone	-	3.41	3.48
Propanoic acid	1.51	-	-
Butanoic acid	0.33	-	-
3,5-dimethoxy-4-hydroxyphenyl acetic acid	0.54	-	0.80
Phenol	4.10	2.19	18.99
2-methyl-phenol	1.03	-	-
2-methoxy-phenol (guaiacol)	5.02	3.00	3.26
2-ethyl-phenol	0.15	-	-
2,5-dimethyl-phenol	0.45	-	-
4-ethyl-phenol	2.06	-	-
4-methyl-2-methoxy-phenol	1.44	-	-
2-methyl-4-methyl-phenol	-	1.88	-
1,2-benzenediol	0.77	-	1.36
3-methoxy-1,2-benzenediol	1.08	-	-
3-hydroxy-4-methoxybenzoic acid	-	1.81	-
3,5-dimethoxy-4-hydroxyphenylacetic acid	-	-	0.80
4-ethyl-2-methoxy-phenol	0.85	4.68	3.23
2,6-dimethoxy-phenol	5.99	-	0.99
4-propyl-2-methoxy-phenol	0.28	-	0.78
1-hydroxy-2-butanone	0.24	-	1.77
Cyclopentanone	0.06	-	-
2-cyclopenten-1-one	0.05	-	1.01
Furural	1.66	-	-
d-allose	-	-	2.06
1-hydroxy-3-methyl-2-butanone	0.10	-	-
Butyrolactone	0.05	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สารประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ชนิดต่างๆ (Jun *et al.*, 2006)

สารประกอบ	สัดส่วน (%)		
	ไม้ไผ่	ไม้กระถ่อน	กะลามะพร้าว
2,4-diphenyl-4-methyl-2(E)-pentene	-	6.04	-
2-methyl-2-cyclopenten-1-one	0.76	-	-
3,4-dimethyl-2-cyclopenten-1-one	0.03	-	-
2,3-dimethyl-2-cyclopenten-1-one	0.02	-	-
5-methyl-2-furancarboxaldehyde	0.57	-	-
1,2,4-trimethoxybenzene	1.08	-	-
5-methyl-1,2,3-trimethoxybenzene	0.54	-	-
2(3H)-furanone,dihydro	-	2.05	-
2H-pyran-2,6-dimethoxy-	-	-	4.71
1H-purin-6-amine,[(2-fluorophenyl) methyl]-	-	3.84	-
2,4-dimethyl-3-3(methoxycarbonyl)-5-ethyl furan	-	1.72	1.35
Benzoic acid, 2,4-bis	-	-	-
[(trimethylsilyloxy],trimethylsilyl ester	-	3.34	-

#### 2.4.3 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

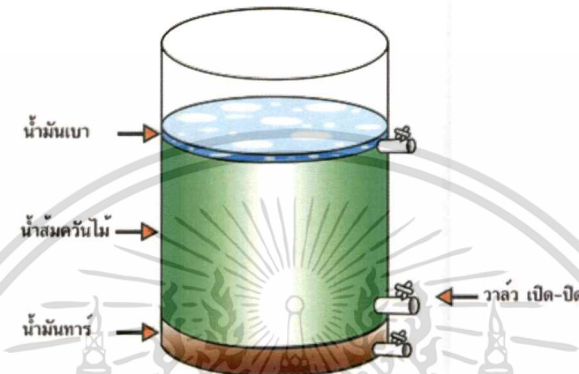
น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเก็บจากเตาผลิตถ่าน ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นถ่านไม้ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตา แต่จะเริ่มก่อนที่หน้าเตาด้านบนแล้วแผ่กระจายมายังหลังเตาด้านล่าง ควันที่ออกมาจากปล่องควันจึงเป็นควันที่ผสมกันระหว่างควันอุณหภูมิต่ำและสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 310 องศาเซลเซียส ลิกนินจะเริ่มสลายตัวจะมีน้ำมันดินและสารระเหยง่ายปนออกมามีด้วย น้ำมันดินที่ละลายน้ำไม้ได้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรไม่ได้ เพราะจะไปปิดปากใบของพืช และเกาะติดรากพืช ทำให้พืชเหี่ยวโทรมหรือตายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดน้ำมันดินออกก่อน

การกำจัดน้ำมันดิน หรือเรียกว่าการทำให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้ คือ (สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2549)

1) ปล่อยให้ตกตะกอน โดยนำน้ำส้มควันไม้มาเก็บในถังทรงสูง มีความสูงมากกว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า โดยทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 90 วัน น้ำส้มควันไม้ก็จะตกตะกอนแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมันใส (light oil) ชั้นกลางเป็นของเหลวใสสีขาว คือ น้ำส้มควันไม้ และชั้นล่างสุดจะเป็นของเหลวข้นสีดำหรือน้ำมันดิน (รูปที่ 2.19) หากนำผงถ่านมาผสมประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผงถ่านก็จะดูดซับทั้งน้ำมันใสและน้ำมันดินให้ตกตะกอนลงสู่ชั้นล่างสุดใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเร็วขึ้นเพียงประมาณ 45 วัน เท่านั้น ระหว่างการปล่อยให้ตกตะกอน สารประกอบในน้ำส้มควันไม้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันเปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลยาวขึ้น (polymerization) เช่น ฟอรั่มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ทำปฏิกิริยากับฟีนอล (phenol) เปลี่ยนเป็นน้ำมันดินแล้วตกตะกอนหรือจับตัวติดแน่นกับผนังของถังเก็บ ดังนั้น หากนำน้ำส้มควันไม้มากรองโดยไม่ผ่านกระบวนการเกิดตะกอนเสียก่อน ก็จะเกิดน้ำมันดินใหม่ได้ทั้ง ๆ ที่ผ่านการกรองแล้ว



รูปที่ 2.19 ถังเก็บน้ำส้มควันไม้

แต่ถ้าใช้ถ่านช่วยตกตะกอนมีเพียงระดับกลางก็พอ เมื่อแยกน้ำส้มควันไม้เสร็จแล้วต้องยกถ่านเพื่อเทผงถ่านผสมน้ำมันดินออก เพราะผงถ่านผสมน้ำมันดินไม่สามารถไหลผ่านวาล์วได้ (ผงถ่านผสมน้ำมันดิน สามารถนำไปใช้โรยรอบอาคารเพื่อป้องกันสัตว์ต่างๆ เช่น มด ปลวก ตะขาบ เป็นต้น และจะสลายตัวได้เองภายในเวลาไม่นานนัก แต่ห้ามทิ้งลงแหล่งน้ำเด็ดขาด) หลังจากตกตะกอนจนครบกำหนดแล้ว นำน้ำส้มควันไม้มากรองซ้ำอีกครั้งด้วยผ้ากรอง แล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ น้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ต้องมีน้ำมันดินไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่าย โดยการดูความใส หากมีน้ำมันดินเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำส้มควันไม้จะขุ่นและมีสีดำ น้ำส้มควันไม้ที่ดีจะมีลักษณะใส สีชา หรือน้ำตาลแดง และจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

2) การกรอง โดยใช้ผ้ากรอง หรือถังกรองที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะได้คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้แตกต่างกันไป เพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ โดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม

3) การกลั่น โดยกลั่นที่ความดันบรรยากาศและกลั่นแบบลดความดัน รวมทั้งกลั่นแบบลำดับส่วนเพื่อแยกเฉพาะสารหนึ่งสารใดในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม ทั้งการกรองและการกลั่น ต้องทำหลังจากตกตะกอนก่อนเท่านั้น เนื่องจากต้องรอให้เกิดปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อน

ตารางที่ 2.7 สมบัติของน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพดี (กรมป่าไม้และองค์การความร่วมมือแห่งประเทศไทย, 2544)

รายการ	น้ำส้มควันไม้	น้ำส้มควันไม้กลั่น
ค่า pH	1.5 – 3.7	1.5 – 3.7
ค่าความตึงจำเพาะ	> 1.005	> 1.001
สี	เหลือง น้ำตาลแดงจาง หรือน้ำตาลแดง	ไม่มีสี เหลืองจาง หรือน้ำตาลแดงจาง
ความใส	ใส	ใส
สารแขวนลอย	ไม่มี	ไม่มี

#### 2.4.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้

เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่างๆ มากมายหลายชนิด จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ด้านอุตสาหกรรม ใช้ในการผลิตสารดับกลิ่น สารปรับผิวนุ่มทั้งใช้โดยตรงทางผิวหนัง และผสมน้ำอาบ ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมผ้า ผลิตสารป้องกันราและแมลงสำหรับเนื้อไม้ ผลิตยารักษาผิวหนัง ยาน้ำเชื้อไทฟอยด์ อาหารเสริมเพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกันทาน อาหารเสริมการทำงานของตับ สารช่วยย่อย เป็นต้น (จิระพงษ์, 2548) ในการศึกษาการใช้ น้ำส้มควันไม้ในกระบวนการผลิตยางพาราแผ่นเพื่อคุณภาพของยางแผ่นทั้งในด้านการยับยั้งเชื้อรา และเพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติความยืดหยุ่นของยางแผ่น พบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้ร่วมกับกรดฟอร์มิก เมื่อปริมาณของน้ำส้มควันไม้เพิ่มขึ้น ยางแผ่นสามารถรับแรงกระทำ และมีระยะยืดเพิ่มมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอร์มิกอย่างเดียว

2) ด้านครัวเรือน น้ำส้มควันไม้ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้รักษาแผลสด แผลน้ำร้อน และไฟลวก น้ำกัดเท้า และเชื้อราที่ผิวหนัง หากผสมน้ำ 20 เท่า ราคทำลาบปลวกและมดได้ ผสมน้ำ 50 เท่า ป้องกันปลวก มด และสัตว์ต่างๆ เช่น ตะเข็บ ตะขาบ แมงป่อง กิ้งกือ ผสมน้ำ 100 เท่า ราคโค่นต้นไม้รักษาโรครา และโรคเน่า รวมทั้งป้องกันแมลงวางไข่ ใช้ฉีดพ่นถังขยะเพื่อป้องกันกลิ่น และแมลงวัน ใช้ดับกลิ่นในห้องน้ำ ห้องครัว และบริเวณชั้นแฉะ ใช้ดับกลิ่นกรงสัตว์สามารถใช้หมักขยะสดและเศษอาหารเป็นปุ๋ยไม้ประดับรอบบ้าน โดยต้องผสมน้ำอีก 5 เท่า หลังจากหมักแล้ว 1 เดือน (สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ด้านปศุสัตว์ สามารถใช้น้ำส้มควันไม้ในการกำจัดกลิ่น และขับไล่แมลงในคอกสัตว์ ป้องกันไม่ให้แมลงวางไข่ ขับไล่เห็บ หมัด และรักษาโรคเรื้อนของสัตว์ (จิรพงษ์, 2548) ใช้ลดกลิ่น และแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ โดยการใช้ครั้งแรกควรผสมน้ำ 100 เท่า หลังจากนั้นเพิ่มเป็นผสมน้ำ 200 เท่า ช่วยยับยั้งการเกิดก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้ลดกลิ่นของมูลสัตว์ ซึ่งช่วยให้สัตว์ไม่เครียด ทั้งยังเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลสัตว์ให้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ผสมกับอาหารสัตว์ เพื่อช่วยในการย่อย ช่วยยับยั้งแก๊ส และดูดซึมโลหะหนักใน กระเพาะอาหาร ช่วยป้องกันและรักษาอาการท้องเสียของสัตว์ (สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2549) ในต่างประเทศมีการนำน้ำส้มควันไม้มาใช้ผสมอาหารสัตว์ เพื่อช่วยในการย่อยอาหารและ ป้องกันโรคท้องเสีย โดยพบว่าการผสมถ่านกัมมันต์ที่มีส่วนผสมของน้ำส้มควันไม้ในอาหารไก่ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Samonella enteric* ในลำไส้ที่เป็นสาเหตุของโรคทางเดินอาหาร แต่กระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในลำไส้พวก *Enterococcus faecium* และ *Bifidobacterium thermophilum* (Watarai and Tana, 2005) นอกจากนี้ น้ำส้มควัน ไม้ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของไข่ในสัตว์ปีก เพิ่มปริมาณวิตามิน ลคอเลสเทอรอล และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนมในโคนม โดยจะผสมผงถ่านต่อน้ำส้มควันไม้ ในอัตรา ส่วน 8 : 2 โดยน้ำหนัก ผสมลงในอาหารโคใน ปริมาณ 0.8-1.8 % ของปริมาณอาหาร จะทำให้มีปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น 20-30 % คือ ประมาณ 7-8 กิโลกรัม ถึง 10-12 กิโลกรัมต่อวัน (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์ และพลังงานจากไม้, 2546; สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2549)

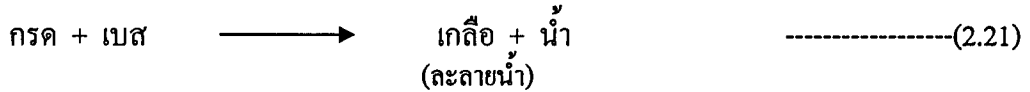
4) ด้านเกษตร เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีความเป็นกรดสูง ดังนั้น ก่อนที่จะนำไปใช้ควรจะ นำมาเจือจางให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานเสียก่อน ในทางเกษตรเมื่อนำ น้ำส้มควัน ไม้ไปผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถใช้ให้เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงสภาพดิน ใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ควบคุมโรคพืชที่มีสาเหตุจากไส้เดือนฝอย และเชื้อรา น้ำส้มควัน ไม้ยังมีคุณสมบัติเป็นฮอร์โมนพืช (สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2549) นอกจากนี้ ควันและสารละลายที่ได้จากควันมักจะถูกใช้ในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์อีกด้วย

## 2.5 การสกัดด้วยกรด-เบส (Acid-base extraction)

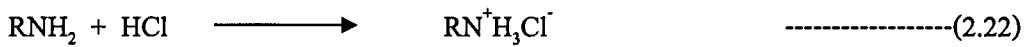
การใช้ปฏิกิริยากรด-เบส เพื่อแยกของผสมที่มีสมบัติเป็นกรด เบสและกลางออกจากกัน เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก หลักการสำคัญ คือ การเลือกใช้กรดหรือเบสที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดเกลือของสารนั้นเพียงชนิดเดียว (สมการที่ 2.21) เกลือที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำจะสามารถแยกออกมาจากของผสมตัวอื่น ๆ ที่อยู่ในชั้นสารอินทรีย์ได้ สารที่เป็นกรดและเบสจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกออกมาอยู่ในชั้นน้ำที่ละชนิด ในที่สุดจะเหลือแต่สารที่เป็นกลางอยู่ในสารอินทรีย์ เกลือของสารแต่ละชนิดที่อยู่ในชั้นน้ำจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นสารอินทรีย์อย่างเดิม



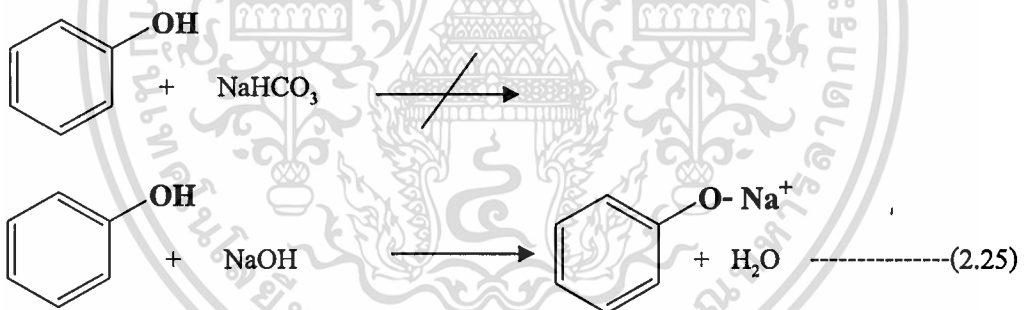
สารที่มีสมบัติเป็นเบส เช่น เอมีนชนิดต่าง ๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจาง เช่น HCl จะได้เกลือแอมโมเนียมที่ละลายน้ำได้ ดังสมการที่ 2.22



สารที่มีสมบัติเป็นกรด เช่น กรดคาร์บอกซิลิกชนิดต่าง ๆ จะทำปฏิกิริยากับเบสเจือจาง เช่น NaOH และ NaHCO<sub>3</sub> ให้เกลือคาร์บอกซิเลตที่ละลายน้ำได้ (สมการที่ 2.23) ในกรณีที่ทำปฏิกิริยากับ NaHCO<sub>3</sub> จะให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.24



ฟีนอลเป็นกรดอ่อนกว่ากรดคาร์บอกซิลิกจึงไม่ทำปฏิกิริยากับ NaHCO<sub>3</sub> แต่ทำปฏิกิริยากับเบสที่แรงกว่า เช่น NaOH เท่านั้น ดังสมการที่ 2.25



ดังนั้น สารผสมที่มีทั้งกรดแก่และกรดอ่อนอยู่ด้วยกัน จำเป็นต้องเลือกใช้เบสที่เหมาะสม และสกัดตามลำดับให้ถูกต้อง จึงจะสามารถแยกกรดแก่และกรดอ่อนออกจากกันได้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mu *et al.* (2003) ศึกษาองค์ประกอบน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่สองชนิด คือ Madake bamboo (*Phyllostachys bambusoides*) และ Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) โดยใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ผลการทดลองพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะน้ำส้มควันไม้จาก Madake bamboo และ Moso bamboo มีค่าเป็น 1.0246 และ 1.0257 ค่าพีเอชของทั้งสองชนิดเท่ากันเป็น 2.8 และค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรดของ Moso bamboo มีค่ามากกว่า Madake bamboo น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย น้ำส้มควันไม้ดิบ น้ำส้มควันไม้กลั่นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามและตีพิมพ์ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อประโยชน์ทางวิชาการเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำส้มควันไม้ที่สกัดด้วยอีเทอร์ โดยการแยกของเหลวออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนกรด ส่วนกลาง และส่วนฟีนอลิก สำหรับการวิเคราะห์ด้วย GC ใช้คอลัมน์ CBP20-M25 (0.25 mm id x 25 m; PEG-20M) อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ 60-200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำส้มควันไม้คือ 60:1 โดยใช้ฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพา พบว่าน้ำส้มควันไม้ประกอบด้วย acetic acid เป็นหลัก รวมทั้งได้ propionic acid, 2,4-dimethyl-2-butenolide, *n*-butanoic acid, furfural, 2-acetylfuran, 3-methyl-2-cyclopentenone, 5-methylfurfural, acetophenone, guaiacol, 4-methyl guaiacol, phenol, *o*-cresol, 4-ethyl guaiacol, *p*-cresol, *m*-cresol และ syringol

Loo *et al.* (2008) ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอลจากกรดไพโรลิกเนียสที่ได้จากการเผาไม้โกงกาง โดยทำการสกัดด้วยทำละลายไดคลอโรมีเทนและทำการสกัดด้วยกรด-เบส แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพขององค์ประกอบด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี - แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) จากการวิเคราะห์พบสารประกอบ 52 ชนิด คิดเป็น 95.47% ของ โพลีฟีนอลทั้งหมด โดยกลุ่มที่พบมากที่สุดคือ syringol และอนุพันธ์ของ syringol คิดเป็น 50.43% รองลงมาคือ furan และอนุพันธ์ของ pyran คิดเป็น 16.48 % จากนั้นทำการสารสกัดกรดไพโรลิกเนียสเป็น 4 แฟรคชัน (F1-F4) โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีและซิลิกาเจลคอลัมน์โครมาโตกราฟีด้วย dichloromethane/chloroform/ethyl acetate mixture (8:1:1; 4:3:3 v/v/v) และเอททิลอะซิเตทตามลำดับ จากนั้นนำสารสกัดแต่ละส่วนมาวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH radical scavenging activity และ molybdenum (VI) reducing power พบว่าแฟรคชัน 1 มีสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากที่สุด หลังจากนั้นนำแฟรคชัน 1 ไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีซิลิกาเจลคอลัมน์โครมาโตกราฟี ด้วย hexane, hexane/diethyl ether mixture (9:1,6:1,3:1 v/v) และ diethyl ether ตามลำดับ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC/MS, <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR spectral analyses และยืนยันผลด้วย GC co-injection with authentic standards พบว่ามี syringol, catechol และ 3-methoxycatechol คิดเป็น 39.08, 4.21 และ 1.10 % ในแฟรคชัน 1 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันใน 4 แฟรคชัน ด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity, phosphomolybdenum and ferric reducing antioxidation power (FRAP) พบว่ามีแนวโน้มความสามารถเป็นสารต้านออกซิเดชันคล้ายกันทั้ง 4 วิธี

Manu and Sangsrichan (2009) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจากกรดไพโรลิกเนียสหรือน้ำส้มควันไม้ โดยตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ได้จากจังหวัดเชียงใหม่และแม่ฮ่องสอน จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu colorimetric method โดยคิดในรูปของมิลลิกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร พบว่ามีค่าเท่ากับเอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.25 ± 0.37 mg GAE/ml และ 4.38 ± 0.37 mg GAE/ml ตามลำดับ ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยคิดจากค่า IC<sub>50</sub> จากการคำนวณความเข้มข้นของกรดไฟโรลิกเนียสที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ พบว่าที่ความเข้มข้น 276.2 ppm และ 248.8 ppm สำหรับน้ำส้มควันไม้จากเชียงใหม่และแม่ฮ่องสอน ตามลำดับ

Wei *et al.* (2010) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้จากเปลือกวอลนัท โดยตัวอย่างน้ำส้มควันไม้จากเปลือกวอลนัทที่ใช้ในการทดลองทำการเก็บ 3 ช่วงอุณหภูมิ คือ ช่วงอุณหภูมิต่ำที่ 90-150 องศาเซลเซียส (SP<sub>1</sub>), ช่วงอุณหภูมิกกลางที่ 151-310 องศาเซลเซียส (SP<sub>2</sub>) และอุณหภูมิสูงที่ 311-550 องศาเซลเซียส (SP<sub>3</sub>) จากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 3 ช่วงอุณหภูมิ ไปวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 4 วิธี ได้แก่ DPPH free radical scavenging capacity, Hydroxyl free radical scavenging capacity, Superoxide anion radical scavenging capacity และ Anti-lipid peroxidation capacity จากการทดลอง พบว่าน้ำส้มควันไม้จากเปลือกวอลนัทมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในระดับที่แตกต่างกัน โดยน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิสูง (SP<sub>3</sub>) มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิกกลาง (SP<sub>2</sub>) และน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (SP<sub>1</sub>) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิสูง (SP<sub>3</sub>) มีปริมาณฟีนอลมากที่สุด ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทำการวิเคราะห์ด้วยด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี – แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกันแต่มีปริมาณแตกต่างกัน องค์ประกอบหลักที่พบ คือฟีนอล กรดอินทรีย์ คีโตน และอนุพันธ์ของฟูแรน โดยในน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (SP<sub>1</sub>) พบองค์ประกอบทางเคมี 44 ชนิด คิดเป็น 90.04 % น้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิกกลาง (SP<sub>2</sub>) พบองค์ประกอบทางเคมี 39 ชนิด คิดเป็น 96.72 % โดยมีกรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิสูง (SP<sub>3</sub>) พบองค์ประกอบทางเคมี 41 ชนิด คิดเป็น 88.19 % โดยมีฟีนอลเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการทดลองพบว่าฟีนอลและกรดอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักที่พบในน้ำส้มควันไม้จากเปลือกวอลนัท

# บทที่ 3

## การดำเนินการวิจัย

### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6830 N และแมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (MS) รุ่น 573 N บริษัท Agilent Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น 6405 บริษัท Thermo Electron ประเทศอังกฤษ
3. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Vacuum Evaporator) รุ่น N-N series บริษัท Eyelar ประเทศญี่ปุ่น
4. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) รุ่น 215 บริษัท Denver Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. Hotplate stirrer บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. Vortex รุ่น 232 บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. Soxhlet extraction
9. ปุ่มเติมอากาศ รุ่น ACO-208 บริษัท Hailea ประเทศจีน
10. พิกโนมิเตอร์ (Pycnometer) ขนาด 10 มิลลิลิตร
11. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 (ขนาดรูพรุน 2.5 ไมโครเมตร)
12. เครื่องแก้วต่าง ๆ (Glassware)

#### 3.1.2 สารเคมี

1. สารมาตรฐานกรดแกลติก ( $C_7H_6O_5$ ), HPLC grade, บริษัท Fluka ประเทศสเปน
2. สารมาตรฐาน 3-tert-butyl-4-hydroxyanisole ( $C_{11}H_{16}O_2$ ), GC grade, บริษัท Fluka ประเทศฝรั่งเศส
3. 2-2-Diphenyl-1-picryl-hydrazyl ( $C_{18}H_{12}N_5O_6$ ), บริษัท Sigma ประเทศเยอรมนี
4. ไคเอทริลอีเทอร์ ( $C_4H_{10}O$ ), HPLC grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไอร์แลนด์
5. ไคคลอโรมีเทน ( $CH_2Cl_2$ ), HPLC grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไอร์แลนด์
6. เอทิลอะซิเตท ( $CH_3COOC_2H_5$ ), HPLC grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR grade, บริษัท Rankem, ประเทศอินเดีย
8. กรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), AR grade, บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี
9. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>), AR grade, บริษัท Fisher Scientific, ประเทศแคนาดา
10. โซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), AR grade, บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี
11. เมทานอล (CH<sub>3</sub>OH), AR grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไอร์แลนด์
12. เอทานอล (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O), AR grade, บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี
13. Folin – Ciocalteu reagent, AR grade, บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
14. เบนซีน (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), AR grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไอร์แลนด์
15. ผงถ่านกัมมันต์ (Powder activated carbon) บริษัท Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย
16. ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์, บริษัท Praxair, ประเทศไทย

### 3.1.3 น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการศึกษา

น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการศึกษา เป็นน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้จากไม้ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก โดยผ่านการตั้งทิ้งไว้ในถังที่บดแสงนาน 6 เดือน โดยน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่และไม้ยูคาลิปตัส ได้จากการเผาถ่านไม้ด้วยเตาอิฐขนาด 1.5 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากคุณกิตติ เลิศล้ำ อำเภอชาติ จังหวัดปราจีนบุรี และน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สัก ได้จากการเผาถ่านด้วยเตาดังน้ำมันขนาด 200 ลิตร จากกลุ่มเกษตรกรน้ำส้มควันไม้ อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### 3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

นำตัวอย่างน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ โดยพารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

พารามิเตอร์	เครื่องมือวิเคราะห์/วิธีวิเคราะห์
การทดสอบการเปลี่ยนสีและกลิ่นของน้ำส้มควันไม้	วิเคราะห์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ดิบ (มผช. 659/2547)
พีเอช (pH) ของน้ำส้มควันไม้	เครื่องพีเอชมิเตอร์
ความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้	วิธีพิกโนมิเตอร์ (ASTM 891-95, 2004) คูในภาคผนวก ก-1
ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้	วิเคราะห์ตาม TAPPI T222 Om-88 คูในภาคผนวก ก-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ศึกษาชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้

สกัดสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบกรด-เบส ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์ (Di. et) ไดคลอโรมีเทน (DCM) และเอทิลอะซิเตท (Et. ac) (ดัดแปลงจาก Loo *et al.*, 2008) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ไฟ 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร เติม ไดเอทิลอีเทอร์ 25 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งให้แยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที
2. สกัดแยกเอาชั้นน้ำส้มควันไม้ (ชั้นล่าง) และชั้นไดเอทิลอีเทอร์ (ชั้นบน) ออกจากกัน (ยกเว้นไดคลอโรมีเทนจะอยู่ชั้นล่าง) โดยไขชั้นไดเอทิลอีเทอร์ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการสกัดซ้ำอีก 2 ซ้ำ
3. นำชั้นไดเอทิลอีเทอร์ไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ นำไปพ่นในโถรเจนที่ความดัน 5 psi จนแห้ง นำไปเจือจางด้วยไดเอทิลอีเทอร์และปรับปริมาตรให้เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
4. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลาร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งให้แยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที
5. สกัดแยกเอาชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) และชั้นไดเอทิลอีเทอร์ (ชั้นบน) ออกจากกัน โดยไขชั้นน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ทำการสกัดชั้นไดเอทิลอีเทอร์เช่นเดียวกับข้อ 4-5 อีก 2 ซ้ำ
7. นำสารสกัดชั้นน้ำมาปรับพีเอชให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ โดยให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2-3 จากนั้นนำสารสกัดชั้นน้ำมาปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 10% โดยปริมาตร โดยให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-7 ซึ่งจะได้ชั้นน้ำโดยประมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
8. เติมไดเอทิลอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งให้แยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที
9. สกัดแยกเอาชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) และชั้นไดเอทิลอีเทอร์ (ชั้นบน) ออกจากกัน โดยไขชั้นไดเอทิลอีเทอร์ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนักขวดเปล่าแล้ว
10. ทำการสกัดชั้นน้ำเช่นเดียวกับ 8-9 อีก 2 ซ้ำ
11. นำชั้นไดเอทิลอีเทอร์ไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ นำไปพ่นในโถรเจนที่ความดัน 5 psi จนแห้ง นำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปเจือจางด้วยไดเอทิลอีเทอร์และปรับปริมาตรให้เท่ากับ 25 มิลลิลิตร
12. วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu colorimetric method (ดูในภาคผนวก ก-3)
13. ทำแบลนด์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-12 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำส้มควันไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-13 อีก 2 ซ้ำ

15. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-14 แต่เปลี่ยนชนิดตัวทำละลายจากไดเอทิลอีเทอร์ เป็นไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท ตามลำดับ

16. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-15 แต่เปลี่ยนชนิดน้ำส้มควันไม้จากน้ำส้มควันไม้ไฟ เป็นน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัส และน้ำส้มควันไม้สัก ตามลำดับ

### 3.2.3 การหาประสิทธิภาพของวิธีการสกัดน้ำส้มควันไม้

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

2. แบ่งน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสออกเป็น 2 ส่วน โดย

- ส่วนที่ 1 คือ ชุดทดลอง เดิมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ได้จากข้อ 1 2.5 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำส้มควันไม้

- ส่วนที่ 2 คือ ชุดควบคุม เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำส้มควันไม้

3. สกัดตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากข้อ 2 ตามวิธีข้อ 3.2.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้ตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท

4. นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 3 ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu colorimetric method

5. คำนวณหาประสิทธิภาพในการสกัดจากร้อยละปริมาณการกลับคืนของสาร (% Recovery) ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Extraction efficiency} = [(C_{sp} - C_u) / C_u] \times 100 \text{ -----(3.1)}$$

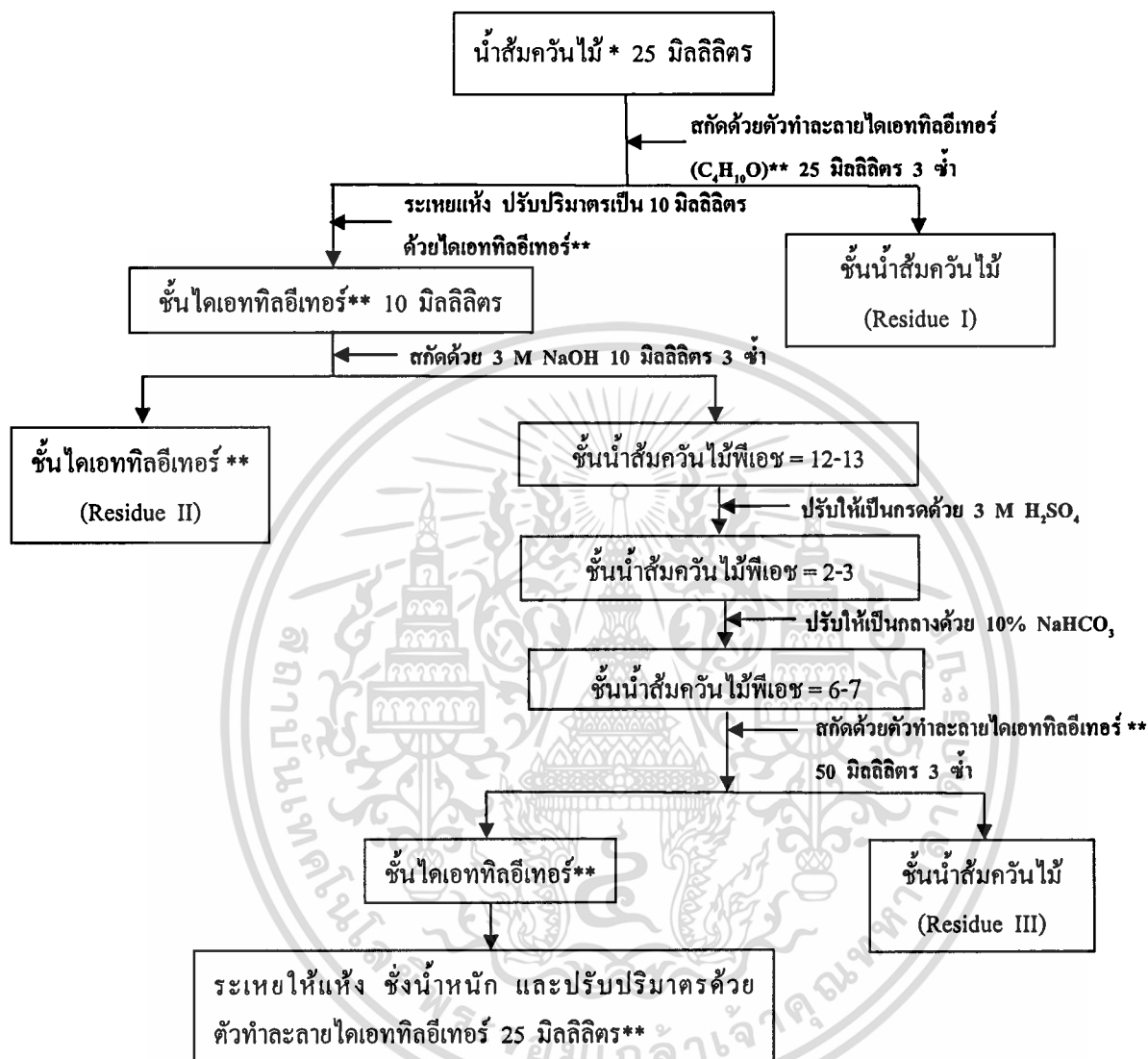
เมื่อ  $C_{sp}$  = ความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดที่เติมสารมาตรฐาน (spike sample)

$C_u$  = ความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดที่ไม่ได้เติมสารมาตรฐาน (unspike sample)

$C_u$  = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนโดยสรุปของการเตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ในตัวทำละลายแต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ในตัวทำละลายแต่ละชนิด

หมายเหตุ \* เปลี่ยนจากน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เป็นน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสและน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สัก ตามลำดับ

\*\* เปลี่ยนจากตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์เป็น ไคคลอ โรมีเทนและเอทิลอะซิเตรท ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 ศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้

1. นำสารสกัดน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตท ที่ได้จากข้อ 3.2.2 มา 1 มิลลิลิตร
2. กรองด้วย syring filter ขนาด 0.45 ไมครอน
3. นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบสารประกอบฟีนอลิกด้วยเครื่อง GC-MS

พารามิเตอร์	สภาวะในการเดินระบบ
<b>GC conditions</b>	
Gas Chromatograph	6890N (Agilent Technologies, USA)
Column	DB-WAX 30 m x 0.25 mm i.d. x 0.50 $\mu$ m capillary column (J&W scientific, USA)
Temperature program	Injector temperature : 250°C Oven temperature : 40°C (initial temperature), holding at 40°C for 1 min, then increased from 40°C to 230°C at 5°C/min, holding at 230°C for 10 mins.
Injection mode	Split ratio 100 : 1
Helium carrier gas	Flow rate 10 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.2 (ต่อ) สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารประกอบฟีนอลิกด้วยเครื่อง GC-MS

พารามิเตอร์	สถานะในการเดินระบบ
<b>Mass spectrophotometer conditions</b>	
Detector	Mass Spectrophotometer 5973N (Agilent Technologies, USA)
MS mode	EI mode
Mass range / scan speed	30 – 500 amu / sec.
Detector temperature	250°C
Filament / multiplier delay	3 mins.

#### 3.2.5 ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้

นำตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์ด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical Scavenging Capacity Assay (DPPH) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจาก Loo และคณะ, 2008) มีขั้นตอนดังนี้

1. ปิเปิดสารสกัดตัวอย่างน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มา 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2. เติมสารละลาย DPPH (9.25 มิลลิกรัมในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3. ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 517

นาโนเมตร

5. ทำแบลนด์เช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัด

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 อีก 2 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่าง

7. คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากสมการที่ 3.2

$$\% \text{ Radical scavenging activity} = [(A_1 - A_2) / A_1 \times 100] \text{-----}(3.2)$$

เมื่อ  $A_1$  = ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์

$A_2$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

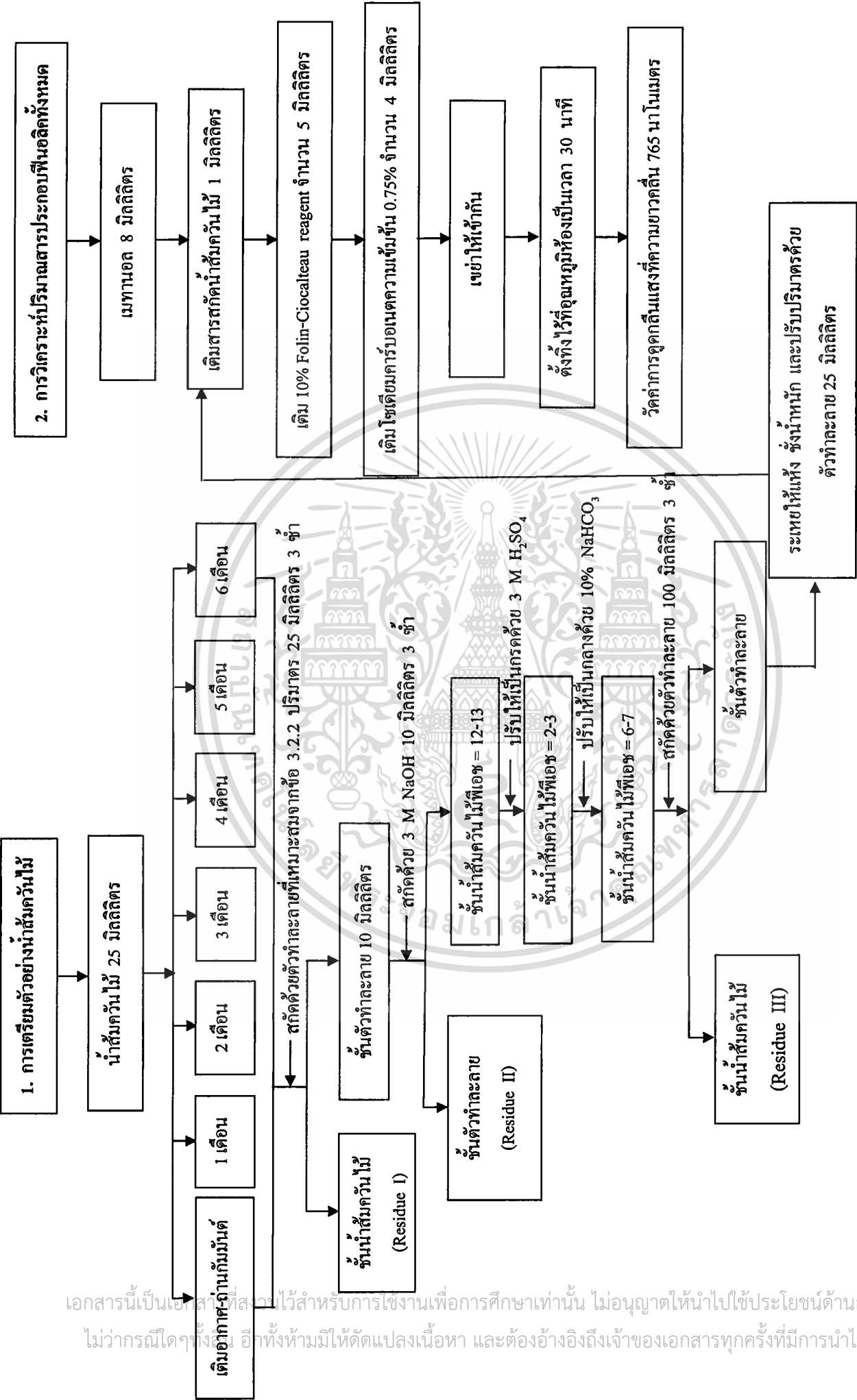
### 3.2.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ระยะเวลาต่างๆ

1. นำตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาตั้งไว้ในที่ที่บแสงเพื่อกำจัดน้ำมันดินเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6 เดือน และตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดน้ำมันดินโดยพ่นอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที พร้อมทั้งเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 % โดยน้ำหนัก แล้วตั้งทิ้งไว้ 7 วัน (นิลบล, 2551)

2. สกัดตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

3. วิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin – Ciocalteu Colorimetric Method (ดูในภาคผนวก ก-3)

ขั้นตอนโดยสรุปของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบ่มและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังสรุปขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ระยะเวลาต่างๆ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก หลังจากผ่านการกำจัดทาร์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน พบว่า มีกลิ่นควันไฟและสีน้ำตาลแดงในน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด มีค่าพีเอช เท่ากับ  $3.60\pm 0.01$ ,  $2.96\pm 0.01$  และ  $2.98\pm 0.01$  และค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ  $1.0058\pm 0.0002$ ,  $1.0110\pm 0.0003$  และ  $1.0160\pm 0.0003$  ตามลำดับ โดยค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547) (ดูรายละเอียดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบในภาคผนวก ง) สำหรับปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก มีค่าเท่ากับ  $23.863\pm 0.056$ ,  $23.086\pm 0.005$  และ  $23.099\pm 0.079$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.1 - 1.3, ภาคผนวก ข-1) ซึ่งปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ยูคาลิปตัสและไม้สัก มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1 - ค-2, ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพน้ำส้มควันไม้และปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

ตัวอย่าง น้ำส้มควันไม้/เนื้อไม้	พารามิเตอร์				
	สี	กลิ่น	พีเอช	ความ ถ่วงจำเพาะ	ปริมาณลิกนิน ในเนื้อไม้ (%)
ไม้ไผ่	สีน้ำตาล แดง	กลิ่น ควันไฟ	$3.60\pm 0.01$	$1.0058\pm 0.0002$	$23.863\pm 0.056^a$
ไม้ยูคาลิปตัส	สีน้ำตาล แดง	กลิ่น ควันไฟ	$2.96\pm 0.01$	$1.0110\pm 0.0003$	$23.086\pm 0.005^b$
ปึกไม้สัก	สีน้ำตาล แดง	กลิ่น ควันไฟ	$2.98\pm 0.01$	$1.0160\pm 0.0003$	$23.099\pm 0.079^{b*}$
ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ	ต้องไม่ เปลี่ยนเป็น สีดำ	กลิ่นเหมือน ควันไฟ	2.8-3.7	>1.005	-

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ )

\* ปริมาณลิกนินในไม้สัก

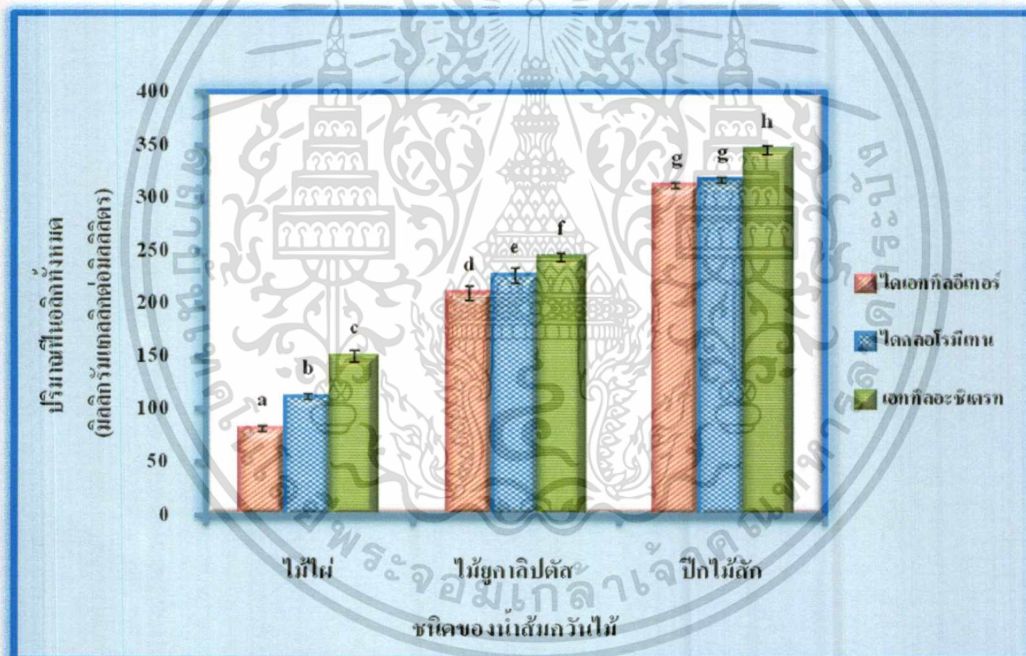
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้

ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท โดยสกัดด้วยวิธีการค-เบส และไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu Colorimetric method พบว่าเอทิลอะซิเตรท มีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สักได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ไคคลอโรมีเทน และไดเอทิลอีเทอร์ ตามลำดับ โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ยกเว้นน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สักที่มีประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารละลาย ไคคลอโรมีเทนและไดเอทิลอีเทอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-3-ค-4, ภาคผนวก ค) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติในการละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกับเอทิลอะซิเตรท ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่บ่งบอกถึงความมีขั้วของตัวทำละลาย โดยเรียงจากความมีขั้วมากไปหาขั้วน้อย พบว่า ไคคลอโรมีเทน > เอทิลอะซิเตรท > ไดเอทิลอีเทอร์ ตามลำดับ (Kosower, 1969) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pokorny *et al.* (2000) ที่กล่าวว่า ตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลางสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว และมีขั้วสูง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับปริมาณน้ำหนักแห้งของของน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดในตัวทำละลายต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.2, ภาคผนวก ข-1) โดยน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สักที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส และน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ตามลำดับ โดยน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สักที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท ไคคลอโรมีเทน และไดเอทิลอีเทอร์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ  $0.346 \pm 0.004$ ,  $0.317 \pm 0.003$  และ  $0.312 \pm 0.003$  มิลลิกรัมแกลลิคต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท ไคคลอโรมีเทน และไดเอทิลอีเทอร์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ  $0.244 \pm 0.004$ ,  $0.227 \pm 0.007$  และ  $0.210 \pm 0.007$  มิลลิกรัมแกลลิคต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท ไคคลอโรมีเทน และไดเอทิลอีเทอร์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ  $0.150 \pm 0.006$ ,  $0.112 \pm 0.003$  และ  $0.082 \pm 0.003$  มิลลิกรัมแกลลิคต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.1, ภาคผนวก ข) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Manu and Sansrichan (2009) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า อาจเนื่องมาจากในงานวิจัย

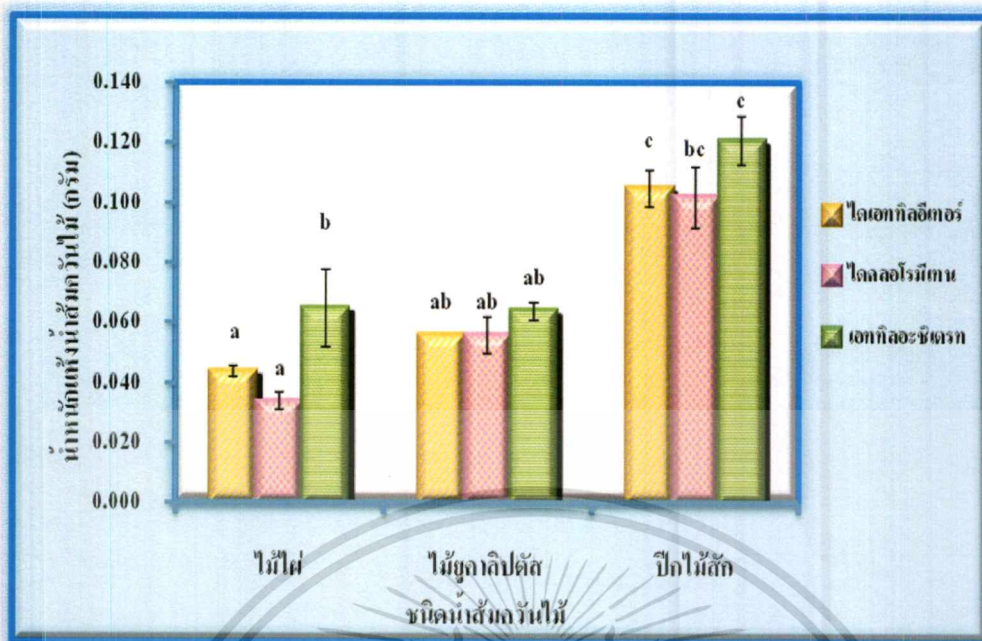
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Manu and Sansrichan ใช้ไม้ที่หลากหลายในการผลิตน้ำส้มควันไม้และตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่ได้ผ่านการสกัด อาจมีสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์เกิดเป็นสารประกอบที่ให้สีและดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรได้ จากการที่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สักมีมากกว่าน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสและไม้ไผ่ อาจเนื่องจากปึกไม้มีปริมาณลิกนินสูงกว่าในเนื้อไม้ (วิวัฒน์, 2545) แต่ปริมาณลิกนินในตารางที่ 4.1 เป็นปริมาณลิกนินในเนื้อไม้สักจึงมีค่าใกล้เคียงกับไม้ยูคาลิปตัส นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการทดลองได้จากการเผาไม้ในปริมาณไม่เท่ากัน ดังนั้นผลการทดลองนี้ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณลิกนินกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้ จากการศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท พบว่าร้อยละปริมาณการกลับคืนของสารมีค่าเท่ากับ 89.78, 91.33 และ 92.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.3, ภาคผนวก ข-2)

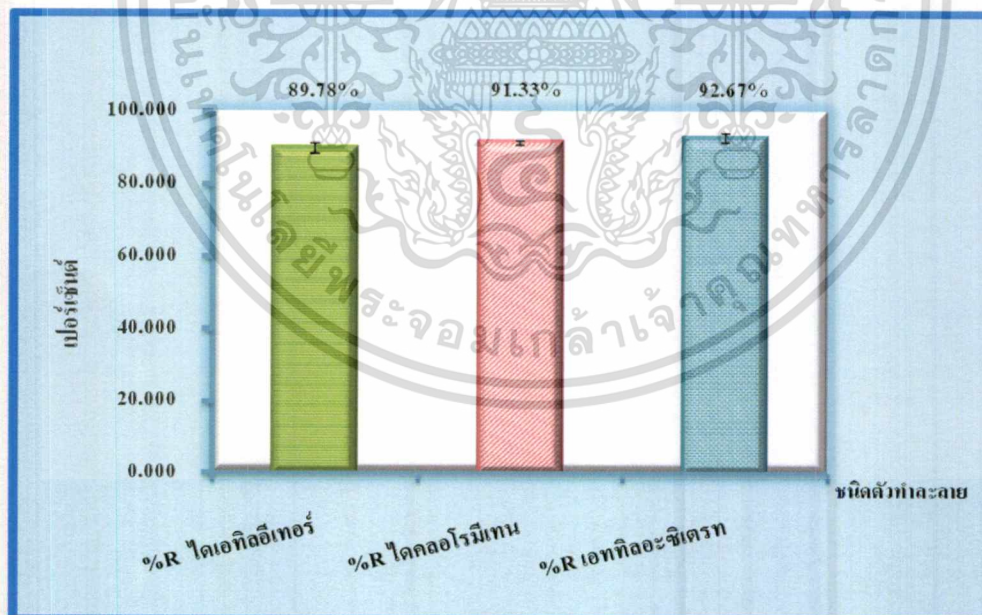


รูปที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ ในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 น้ำหนักแห้งสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่าง ๆ ด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสด้วยตัวทำละลาย ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท

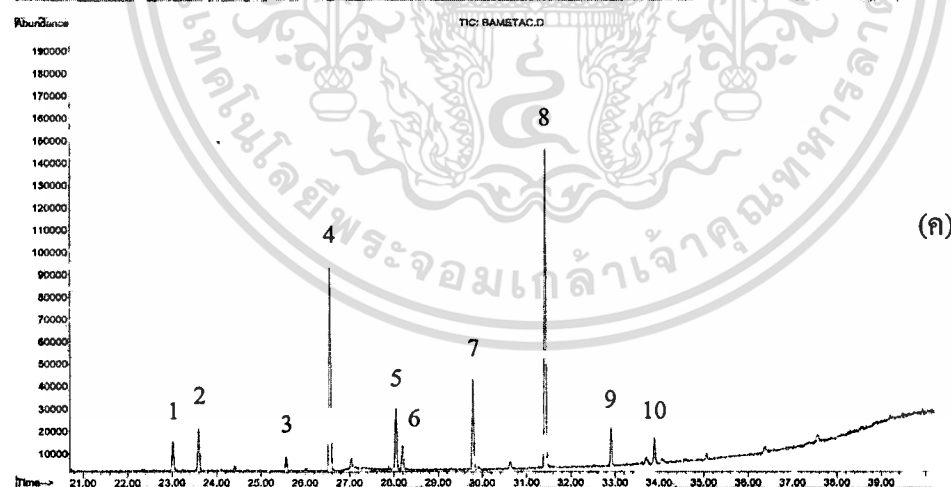
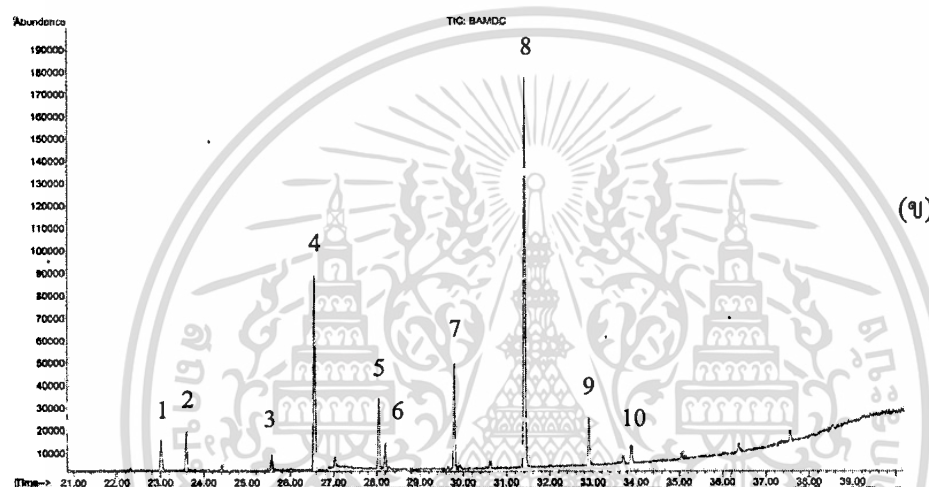
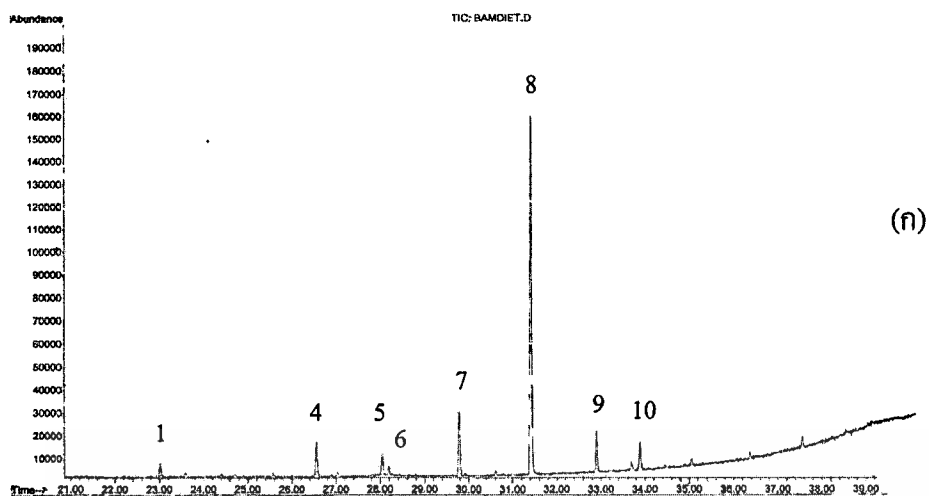
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก ในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตท พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน โดยสารประกอบฟีนอลิกที่พบ ได้แก่ 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one, 2-Methoxyphenol (Guaiacol), 3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one, 4-Methyl-2-methoxy-phenol (4-methylguaiacol), Phenol, 4-Methylphenol (*p*-Cresol), 3-Methylphenol (*m*-Cresol), 3,4-Dimethylphenol, 2,6-Dimethoxyphenol (Syringol) และ 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.6 และตารางที่ 4.2-4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3.1-ข-3.9, ภาคผนวก ข-3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Loo และคณะ (2008) จากผลของพื้นที่ใต้กราฟพบว่า 2,6-Dimethoxyphenol (Syringol) ในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด มากที่สุด ซึ่งพบในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากยูคาลิปตัสมากที่สุด รองลงมาคือ ปึกไม้สัก และไม้ไผ่ ตามลำดับ ส่วน 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin), 2-Methoxyphenol (Guaiacol) และ 4-Methyl-2-methoxyphenol (4-methylguaiacol) พบในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สักมากที่สุด รองลงมาคือ ไม้ยูคาลิปตัส และไม้ไผ่ ตามลำดับ ส่วน Phenol พบในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สักมากที่สุด รองลงมาคือ ไม้ไผ่ และ ไม้ยูคาลิปตัส ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3.1-ข-3.9, ภาคผนวก ข-3)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุดในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ 2,6-Dimethoxyphenol (Syringol) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Kjallstrand และ Peterson (2001) ที่พบว่า 2,6-Dimethoxyphenol เป็นองค์ประกอบของควันที่พบมาก และยังมีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนหรือป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มนี้ไปยับยั้งการเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ เนื่องจากในโครงสร้างของเมทอกซีฟีนอลมีหมู่อัลคิล (alkyl) และหมู่อัลคีนิล (alkenyl) ทำให้เมทอกซีฟีนอลสามารถละลายในไขมันและสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในไขมัน ทำให้มีฤทธิ์เป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากสารดังกล่าวแล้ว 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin), 2-Methoxyphenol (Guaiacol), 4-Methyl-2-methoxyphenol (4-methylguaiacol) และ Phenol ยังมีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนอีกด้วย (Pratt, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

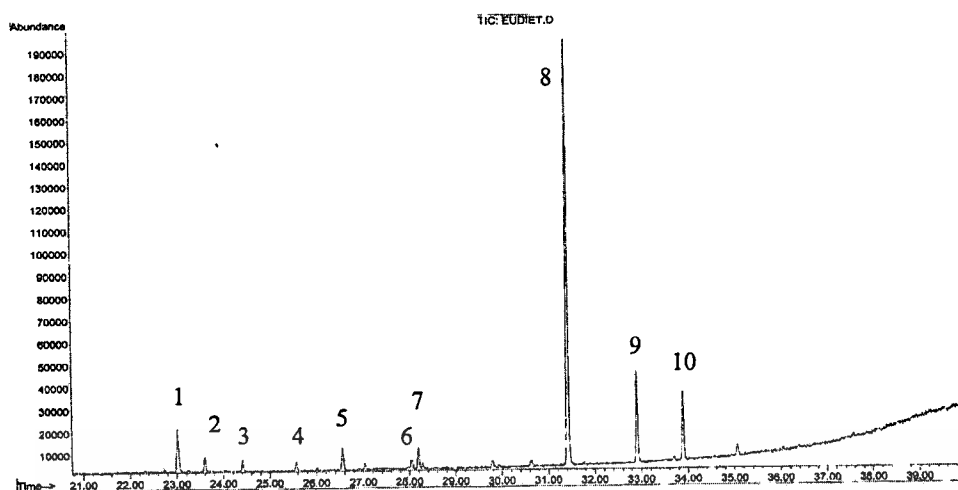


รูปที่ 4.4 โครมาโทแกรมสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่  
ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ก) ไดเอทิลอีเทอร์ ข) ไคลอโรฟอร์ม ค) เอทิลอะซิเตรท

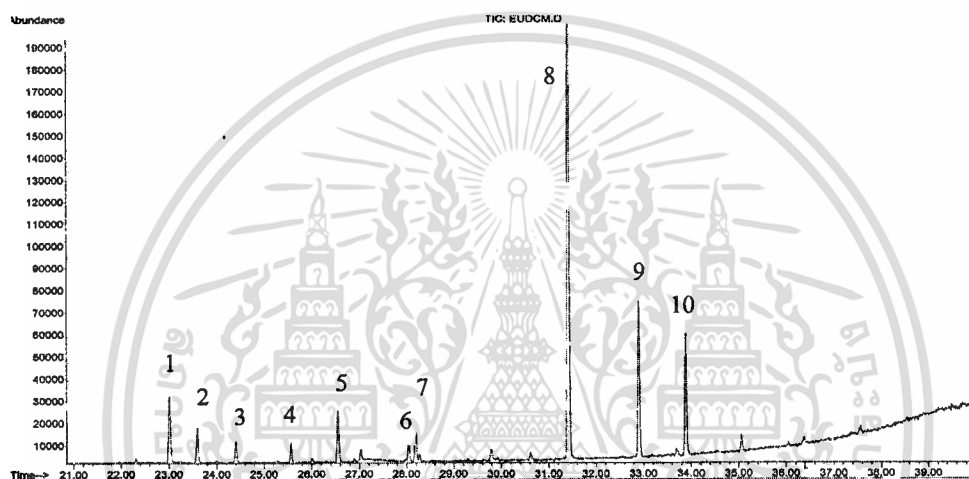
- 1) 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one
- 2) 2-Methoxyphenol
- 3) 4-Methyl-2-methoxy-phenol
- 4) Phenol
- 5) 4-Methylphenol
- 6) 3-Methylphenol
- 7) 4-Ethylphenol
- 8) 2,6-Dimethoxy-phenol
- 9) 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde
- 10) 2,3,5-Trimethoxytoluene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

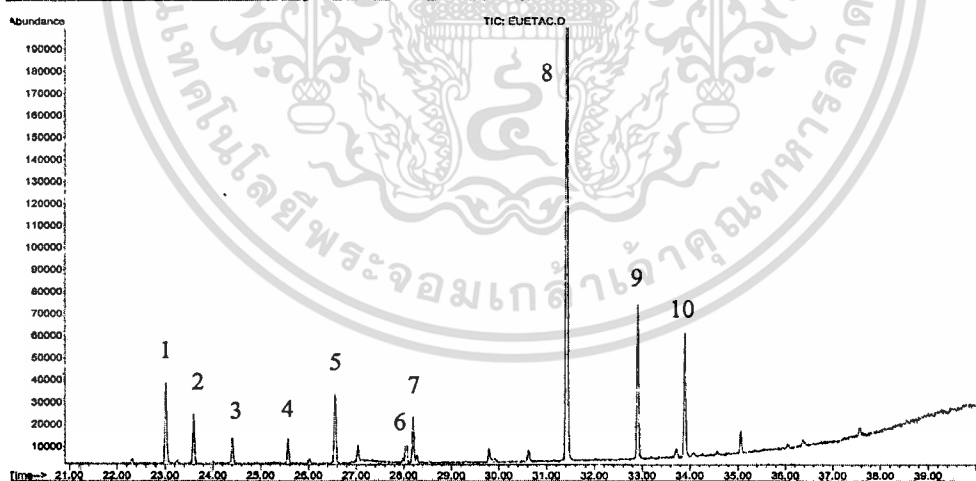
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



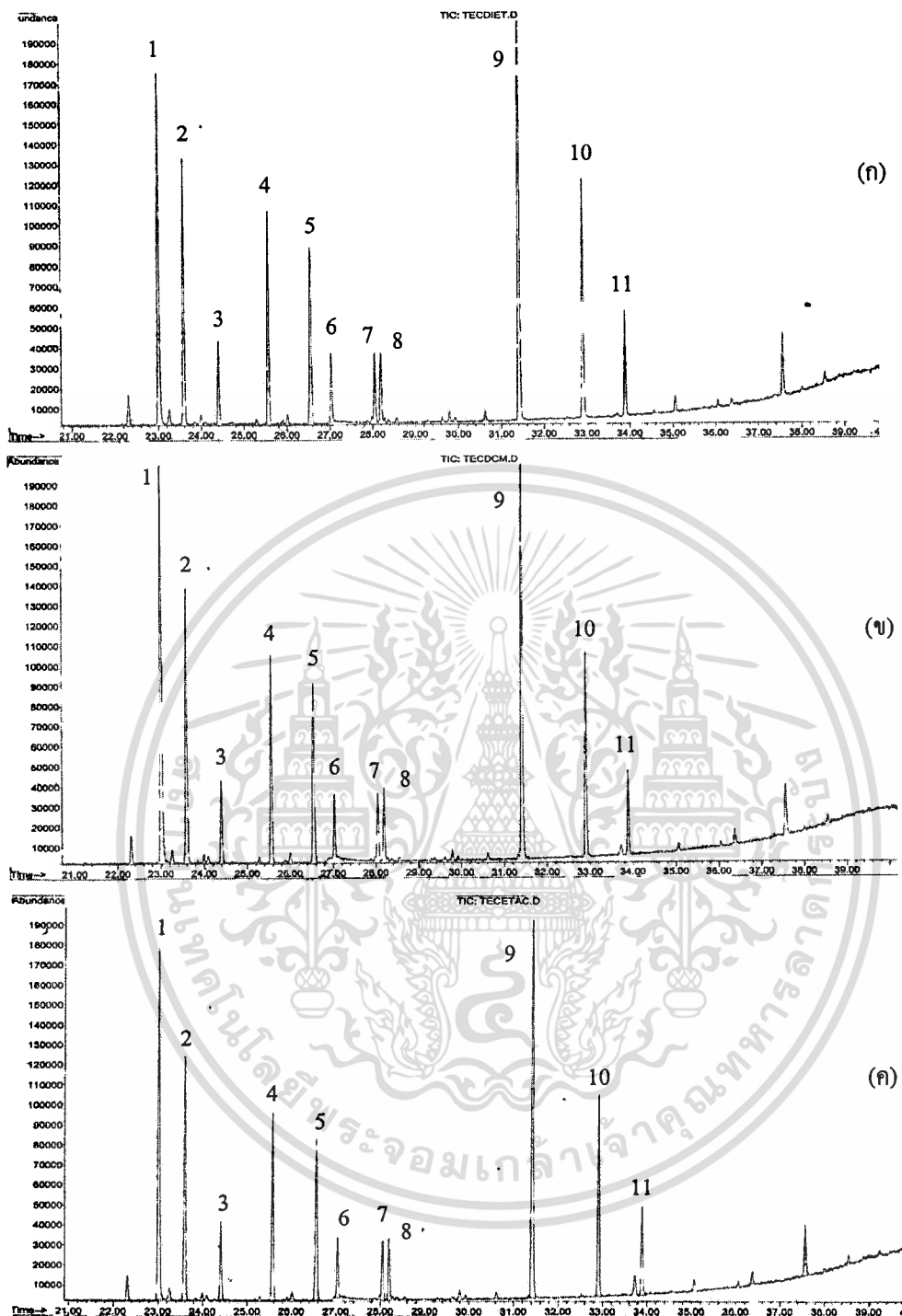
(ค)

#### รูปที่ 4.5 โครมาโทแกรมสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส

ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ก) ไคเอททิลอีเทอร์ ข) ไคคลอโรฟอร์ม ค) เอททิลอะซิเตรท

- 1) 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one    2) 2-Methoxyphenol
- 3) 3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one    4) 4-Methyl-2-methoxy-phenol
- 5) Phenol    6) 4-Methylphenol    7) 3-Methylphenol    8) 2,6-Dimethoxy-phenol
- 9) 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde    10) 2,3,5-Trimethoxytoluene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 โครมาโทแกรมสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปีกไม้สัก

ในตัวอย่างหลายชนิดต่างๆ ก) ไคเอททิลอีเทอร์ ข) ไคโคล โรมีเทน ค) เอททิลอะซิเตรท

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1) 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one | 2) 2-Methoxyphenol           |
| 3) 3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one  | 4) 4-Methyl-2-methoxy-phenol |
| 5) Phenol                                 | 6) 2-Methoxy-4-ethylphenol   |
| 7) 4-Methylphenol                         |                              |
| 8) 3-Methylphenol                         | 9) 2,6-Dimethoxy-phenol      |
| 10) 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde       |                              |
| 11) 2,3,5-Trimethoxytoluene               |                              |

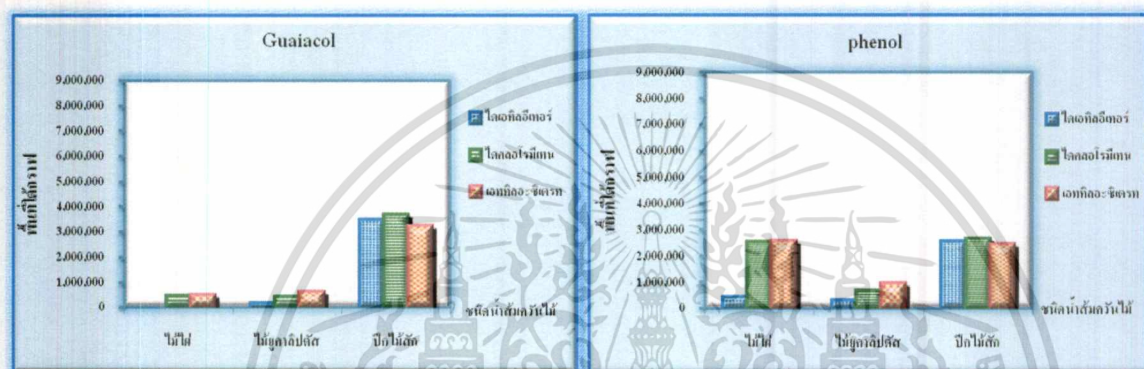
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



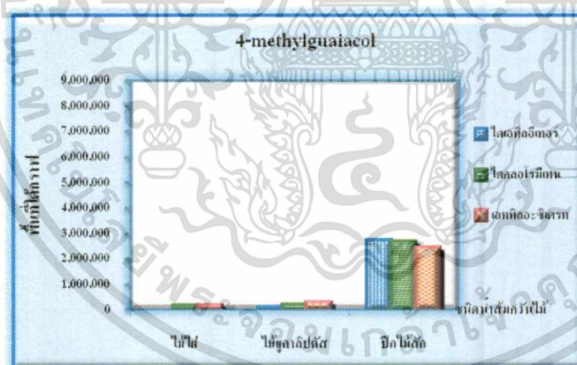
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ 4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ ในตัวทำละลาย ทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตท แสดงในรูปแบบที่ได้กราฟ (ก) 2,6-Dimethoxyphenol (Syringol) (ข) 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin) (ค) 2-Methoxyphenol (Guaiacol) (ง) Phenol และ (จ) 4-Methyl-2-methoxy-phenol (4-methylguaiacol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่  
ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้ GC-MS

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Qualifying ion mass
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	112,83,69,55
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	124,109,81,53
3	2-Methoxy-4-methylphenol (4-methylguaicol)	25.57	138,123,95,77
4	Phenol	26.55	94,66,65,39
5	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	108,107,77,71
6	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	108,107,79,77
7	4-Ethylphenol	29.79	122,107,91,77
8	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	154,139,111,96
9	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	168,153,125,79
10	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	183,182,168,167

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้  
ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้ GC-MS

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Qualifying ion mass
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	112,83,69,55
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	124,109,81,53
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	126,83,69,55
4	2-Methoxy-4-methylphenol (4-methylguaicol)	25.56	138,123,95,77
5	Phenol	26.55	94,66,65,39
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	108,107,77,71
7	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	108,107,79,77
8	2,3-Dimethylphenol	29.79	122,107,91,77
9	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	154,139,111,96
10	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	168,153,125,79
11	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.88	183,182,168,167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปีกไม้สัก  
ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้ GC-MS

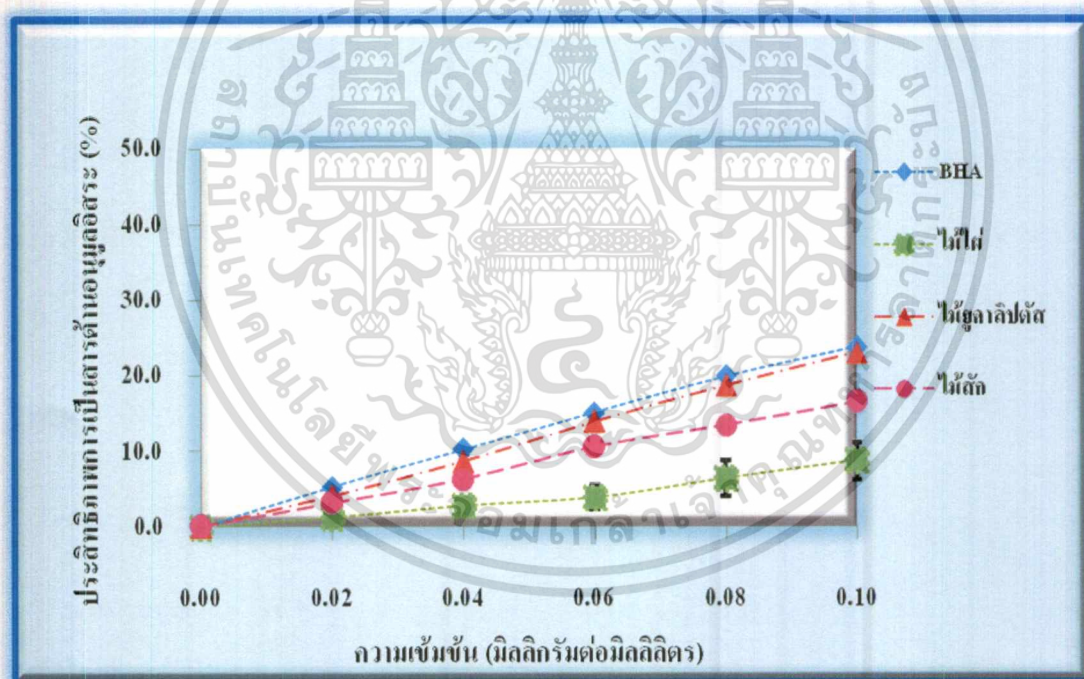
ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Qualifying ion mass
1	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	22.31	126,111,83,69
2	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	112,83,69,55
3	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	124,109,81,53
4	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	126,83,69,55
5	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.56	138,123,95,77
6	Phenol	26.55	94,66,65,39
7	2-Methoxy-4-ethylphenol (4-Ethylguaiacol)	27.03	152,137,122,91
8	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	108,107,77,71
9	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	108,107,79,77
10	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	154,139,111,96
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	168,153,125,79
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	183,182,168,167
13	1-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-ethanone	37.56	166,151,123,108

#### 4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัด น้ำส้มควันไม้

การศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้  
จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปีกไม้สัก ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ซึ่งเป็นตัวทำ  
ละลายที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลอง 4.2 ด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical  
Scavenging Capacity Assay (DPPH) โดยวัดในรูป % Radical scavenging activity เปรียบเทียบกับ  
สารมาตรฐาน Butylated hydroxyl anisole (BHA)

จากรูปที่ 4.8 พบว่าสารมาตรฐาน BHA และตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ มีแนวโน้ม  
ประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควัน  
ไม้เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐาน  
BHA และสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และไม้สัก ที่ความเข้มข้น 0.02  
มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ  $5.35 \pm 0.00$ ,  $1.29 \pm 0.43$ ,  $4.18 \pm 0.06$  และ  $3.18 \pm 0.66$  เปอร์เซ็นต์  
ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ  $10.33 \pm 0.00$ ,  $2.81 \pm 1.14$ ,  $8.65 \pm 0.31$   
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ  $6.31 \pm 0.80$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น  $0.06$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ  $15.18 \pm 0.00$ ,  $3.95 \pm 1.53$ ,  $13.98 \pm 0.29$  และ  $10.55 \pm 0.30$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น  $0.08$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ  $19.98 \pm 0.00$ ,  $6.45 \pm 2.40$ ,  $18.75 \pm 0.37$  และ  $13.42 \pm 0.34$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น  $0.10$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ  $23.85 \pm 0.00$ ,  $8.79 \pm 2.42$ ,  $23.09 \pm 0.71$  และ  $16.41 \pm 0.43$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4.1, ภาคผนวก ข) พบว่าตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน BHA โดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-5- ค-6 ภาคผนวก ค) แสดงว่าในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน BHA ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก ปริมาณ 2,6-Dimethoxyphenol (syringol) ที่พบในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสที่มีปริมาณสูง เนื่องจากสารดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมันได้ดี (ไพบูลย์, 2535)



รูปที่ 4.8 ร้อยละประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐาน BHA (◆), สารสกัดน้ำส้มควันไม้ไผ่ (◆), ไม้ยูคาลิปตัส (▲) และปีกไม้สัก (●)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ ระยะเวลาต่างๆ

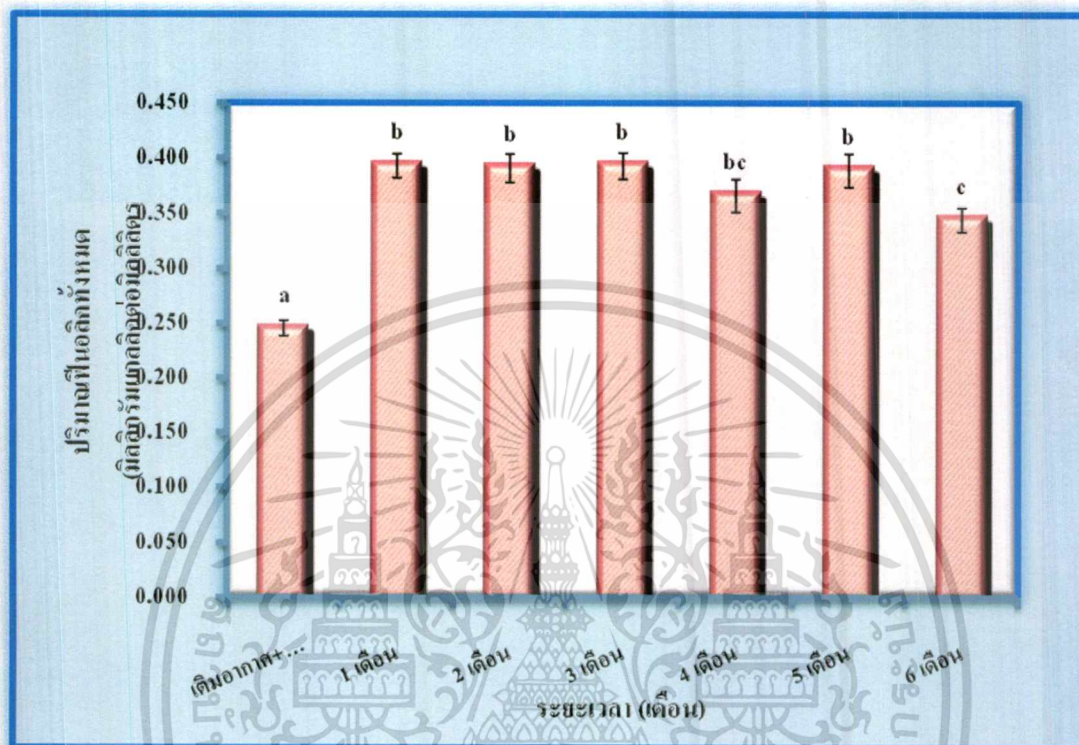
จากผลการศึกษาในข้อ 4.3 และ 4.4 พบว่า น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสมีคุณสมบัติการเป็นสารออกซิเดชันดีที่สุด จึงเลือกใช้น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการตั้งไว้ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่เดิมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ตั้งทิ้งไว้ในที่มีระยะเวลาต่าง ๆ (1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน) มีค่าเท่ากับ  $3.52 \pm 0.00$ ,  $3.93 \pm 0.00$ ,  $3.89 \pm 0.00$ ,  $3.84 \pm 0.01$ ,  $3.79 \pm 0.01$ ,  $3.73 \pm 0.01$  และ  $3.69 \pm 0.00$  ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.1, ภาคผนวก ข) และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่เดิมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ (1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน) มีค่าเท่ากับ  $1.0481 \pm 0.0029$ ,  $1.0308 \pm 0.0021$ ,  $1.0345 \pm 0.0001$ ,  $1.0225 \pm 0.0006$ ,  $1.0140 \pm 0.0001$ ,  $1.0203 \pm 0.0002$  และ  $1.0123 \pm 0.0001$  ตามลำดับ (ดูรายละเอียดตารางที่ ข-5.2 ในภาคผนวก ข) ซึ่งค่าพีเอชและความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่เดิมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์และที่ระยะเวลาต่างๆมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส โดยนำน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสแต่ละเดือนมาสกัดแบบกรด-เบส ด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu colorimetric method พบว่า สารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเดิมอากาศและถ่านกัมมันต์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ  $0.246 \pm 0.007$  มิลลิกรัม แกลลิกต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกอาจถูกอากาศออกซิไดส์แล้วเปลี่ยนรูปและอาจถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ เป็นผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลง ส่วนที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-7-ค-8) คือ มีค่าเท่ากับ  $0.394 \pm 0.011$ ,  $0.392 \pm 0.013$ ,  $0.394 \pm 0.012$ ,  $0.367 \pm 0.015$  และ  $0.390 \pm 0.015$  มิลลิกรัม แกลลิกต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.3, ภาคผนวก ข) ส่วนที่ระยะเวลา 6 เดือน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีค่าลดลง มีค่าเท่ากับ  $0.345 \pm 0.011$  มิลลิกรัม แกลลิกต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่างๆพบ 2,6-Dimethoxyphenol (Syringol), 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Vanillin), Phenol, 2-Methoxyphenol (Guaiacol) และ 4-Methyl-2-methoxyphenol (4-methyl-guaiacol) ยกเว้นน้ำส้มควันไม้ที่เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์และที่ระยะเวลา 4 เดือน ซึ่งไม่พบ Guaiacol และ 4-methylguaiacol (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.4 - ข-5.10, ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัส ที่ระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปึกไม้สัก ที่ผ่านการกำจัดทาร์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน พบว่า กลิ่น สี ค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้คิบดีตัวทำลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิดได้ดีที่สุด คือเอทิลอะซิเตรท รองลงมา คือ ไดคลอโรมีเทน และไดเอทิลอีเทอร์ โดยมีร้อยละปริมาณการกลับคืนของสารมีค่าเท่ากับ 92.67, 91.33 และ 89.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำส้มควันไม้ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด คือ น้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สัก มีค่าเท่ากับ  $0.346 \pm 0.004$ ,  $0.317 \pm 0.003$  และ  $0.312 \pm 0.003$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร รองลงมา คือ น้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัส มีค่าเท่ากับ  $0.244 \pm 0.004$ ,  $0.227 \pm 0.007$  และ  $0.210 \pm 0.007$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร และน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ  $0.150 \pm 0.006$ ,  $0.112 \pm 0.003$  และ  $0.082 \pm 0.003$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ 3 ชนิดในตัวทำลายไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน โดยสารที่มีปริมาณที่สุด คือ 2,6-Dimethoxyphenol (Syringol) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารกันเหี่ยวและยังพบสารที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกัน คือ 2-Methoxyphenol (Guaiacol), Phenol, 4-Methyl-2-methoxyphenol (4-methylguaiacol) และ 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin) อีกด้วย สารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน BHA รองลงมา คือ สารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้สัก และไม้ไผ่ ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป พบว่าระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้เพื่อกำจัดน้ำมันดินภายใน 5 เดือน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ชนิดต่างๆ ในปริมาณเท่ากัน ที่สภาวะเดียวกัน
2. ควรศึกษาความเป็นพิษของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากน้ำส้มควันไม้
3. ควรนำสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากน้ำส้มควันไม้ไปประยุกต์ใช้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้และองค์การความร่วมมือแห่งประเทศไทย. 2544. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ : [ม.ป.ท.]
- จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2548. “น้ำส้มควันไม้ Wood Vinegar.” เกษตรกรรมธรรมชาติ. 6 : 19-53.
- จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, วรสร โพธิ์ทอง และ กวินธิดา อธิกิจไพบูลย์. 2550. “การศึกษาเบื้องต้นเพื่อประเมินคุณลักษณะน้ำส้มควันไม้จากเชื้อเพลิงไม้ยางพารา”. หน้า MT24-1-MT24-5. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้. 2546. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ : [ม.ป.ท.]
- นิลบล นุ่มสกุล. 2551. การทำน้ำส้มควันไม้จากการเผาถ่านไม้ให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรนแบบนาโน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรรณดา ตั้งเจริญชัย. 2534. ควันสำหรับรมอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ ฯ
- วิษณุ บุญญะปฏิภาค. 2545. ไม้พิน. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้. สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- วิทยา ปั่นสุวรรณ. 2543. เคมีไม้และการใช้ประโยชน์. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- วิทยา อภัย และ สมปอง ทองดีแท้. 2544. น้ำส้มไม้ (wood vinegar) สารอินทรีย์ใหม่เพื่อการเกษตรไทย. รายงานการประชุมวิชาการกองวัตถุมีพิษ, ครั้งที่ 4. กรมวิชาการเกษตร. 166-169.
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลิกต่อสุขภาพ. วารสารอาหาร. 32(4): 245-253.
- พิชญ์อร ไหมสุทธีสกุล. 2549. การใช้สารประกอบฟีนอลิกของพืชเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 26(3): 222-238.
- พุดินันท์ พิงวงษ์ญาติ. 2544. . “น้ำส้มควันไม้ Wood Vinegar.” เกษตรกรรมธรรมชาติ. 9 : 28-33.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์वासิก. 2535 .กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียน-สตอร์.
- สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม. 2549. คู่มือไม้ส้มควันไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: พิมพ์เศส พรินต์ติ้ง เซ็นเตอร์ จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้ดิบ**. [ออนไลน์]. Available : [http://www.tisi.go.th/otop/pdf\\_file/tcps659\\_47.pdf](http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps659_47.pdf)

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. **สารต้านอนุมูลอิสระ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: สำนักพิมพ์พี. เอส. พรินท์.

Amen –Chan, C., Pakdel, H. and Roy, C. 1997. Separation of Phenols from Eucalyptus Wood Tar. **Journl of Biomass and Bioenergy**, 13: 25-37.

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. 2006. Phenolic Compounds in Plants and Agricultural by-products: Antioxidant Activity, Occurrence, and Potential Uses. **Food Chemistry**, 99: 191-203.

Duh, P-D, Tu, Y-Y. and Yen, G-C. 1999. Antioxidant Activity of Water Extract of Harnng Jyur (*Chrysanthemum morifolium* Ramat). **Food Chemistry**, 32: 269-277.

Fengel, D. and Wegener. G. 1984. **Influence of Temperature, in Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**, Walter de Gruyter, Berlin, chap 12.

Green, R.C. 2007. **Physiochemical Properties and Phenolic Composition of Selected Saskatchewan Fruits: Buffaloberry, Chokecherry and Sea Buckthorn**. Ph.D. Thesis, Saskatchewan University.

Huang, D., Ou B. amd Prior, R.L. 2005. The Chemistry Behind Dietary Antioxidant Capacity Assays. **J. Agric. Food Chem**, 3(6): 1841-1856.

Iverson, F. 1999. *In vivo* Studies on Butylated Hydroxyanisole. **Food Chem. Toxicol**, 37: 993-997.

Jun, M., Zhi-ming, Y., Wen-qiang, W. and Qing-li, W. 2006. Preliminary Study of Application Effect of Bamboo Vinegar on Vegetable Growth. **For. Stud. China**, 8: 43-47.

Karakaya, S. 2004. Bioavailability of Phenolic Compounds. **Crit. Rev. Food Sci. and Nutr**, 44: 453-464.

Kartal, S.N., Imamura, Y., Tsuchiya, F., and Ohsato, K. 2004. Preliminary Evaluation of Fungicidal and Termiticidal Activities of Filtrates from Biomass Slurry Fuel Production. **Biores. Technol**, 95: 41-47.

Kim, D.O., Jeong, S.W. and Lee, C.Y. 2003. Antioxidant Capacity of Phenolic Phytochemicals from Various Cultivars of Plums. **Food Chemistry**, 81: 321-326.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kim, D.O., Jeong, S.W. and Lee, C.Y. 2005. HPLC Separation of Polyphenolic, pp. 483-498. In: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D. and Sporns, P., eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Kjallstrand, J. and Peterson, G. 2001. Phenolic Antioxidants in Wood Smoke. **The Science of the Total Environment**, 277: 69-75.
- Kosower, E. M., 1969, “ **An Introduction of Physical Organic Chemistry**” Wiley: New York, p. 293.
- Li, B.B., Smith, B. and Hossain, Md.M. 2006. Extraction of Phenolics from Citrus Peels I. Solvent Extraction Method. **Separation and Purification Techn**, 48(2): 182-188.
- Loo, A.Y., Jain, K. and Darah, I. 2008. Antioxidant Activity of Compounds Isolated from the Pyrolytic Acid, *Rhizophora Apiculata*. **Food Chemistry**, 107, 1151-1160.
- Maga, J.A. 1988. **Smoke in Food Processing**, CRC Press, Inc., Boca Roton, Florida. p.160.
- Manu, R. and Sangsrichan, S. 2009. Evaluation of Antioxidation and Radical Scavenging Activity in Pyrolytic Acid Sample. **Proceeding in PACCON 2009**, Pittsanuloke, P.51-53.
- Mu, J., Uehara, T. and Furuno, T. 2003. Effect of Bamboo Vinegar on Regulation of Germination and Radicle Growth of Seed Plants. **Journal of Wood Science**, 49: 262-270.
- Packer, L.1999. **The Antioxidant Miracle** .Your Complete Plan for Total Health and Healing. New York: Wiley.
- Pangnakorn, U. 2008. Utilization of Wood Vinegar by-product from Iwate Kiln for Organic Agricultural System. **Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008)**, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.
- Peschel, W., Sanchez-Rabaneda, F., Diekmann, W., Plesher, A., Gartzia, I. and Jimenez, D. 2006. An Industrial Approach in the Search of Natural Antioxidants from Vegetables and Fruit Wastes. **Food Chemistry**, 97: 137-150.
- Podsedeck, A. 2007. Natural Antioxidants and Antioxidant Capacity of Brassica Vegetables: A review. **LWT: J. Food Composition Analysis**, 40: 1-11.
- Pokorny, J., Yanishieava, N. and Gordon, M. 2000. **Antioxidant in Food**. Woodhead Publishing Limited, England.

- Pratt, D.E. 1992. Natural Antioxidants from Plant Material, pp. 54-71. In: Houngh M-T., Ho, C.T. and Lee, C.Y. (eds.). **Phenolic Compounds in Food and their Effect on Health**. Vol. 2. Antioxidants and Cancer Prevention, American Chemical Society, Washington, DC.
- Prior, R.L., Wu, X. and Schaich, K. 2005. Standardized methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53: 4290-4302.
- Rajalakshmi, D. and Narasimhan, S. 1996. Food Antioxidants: Sources and Methods of Evaluation, pp. 65-156. In; Madhavi, D.L., Deshpande, S.S., and Sulnkhe, D.K. (eds.). **Food Antioxidants: Technological, Toxicological and Health Perspectives**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- TAPPI T222 om-88. 1988. "Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp." In Tappi Test Methods. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
- TAPPI, T264 om – 88. 1988. "Preparation of Wood for Chemical Analysis." In Tappi Test Methods. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
- Watarai S. and Tana. 2005. Eliminating the Carriage of *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis in Domestic Fowls by Feeding Activated Charcoal from Bark Containing Wood Vinegar Liquid (Nekka-Rich). **Journal of Poultry Science**, 84(4): 515-521.
- Waterhouse, A.L. 2005. Determination of Total Phenolic, pp. 463-470. In; Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D. and Sporns, P., eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Wei, Q., Ma, X., Zhao, Z., Zhang, S. and Liu, S. 2010. Antioxidant Activities and Chemical Profiles of Pyrolytic Acids from Walnut Shell. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 88: 149-154.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2004. [Online].  
 Available : <http://www.astmpubs.com/>  
<http://gotoknow.org/blog/beesman/41796>  
<http://www.cccr.uga.edu/~mao/intro/outline.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก-1 วิธีการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ

### 1.1 อุปกรณ์

- 1) พิกโนมิเตอร์ (pycnometer) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 2) เทอร์โมมิเตอร์
- 3) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

### 1.2 วิธีการทดลอง

- 1) ทำความสะอาดพิกโนมิเตอร์ นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 2) ชั่งน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า บันทึกผล
- 3) เติมน้ำกลั่นลงในพิกโนมิเตอร์ที่ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าแล้ว เช็ดให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกผล
- 4) คำนวณหาน้ำหนักของน้ำกลั่น ( $W$ ) โดยนำน้ำหนักพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นมาลบด้วยน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า
- 5) ทำความสะอาดพิกโนมิเตอร์ นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 6) ชั่งน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า บันทึกผล
- 7) เติมน้ำส้มคว้นไม้ลงในพิกโนมิเตอร์ที่ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าแล้ว เช็ดให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกผล
- 8) คำนวณหาน้ำหนักของน้ำส้มคว้นไม้ ( $S$ ) โดยนำน้ำหนักพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำส้มคว้นไม้มาลบด้วยน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า
- 9) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มคว้นไม้ ดังสมการ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{S}{W}$$

เมื่อ  $S$  คือ ความหนาแน่นของน้ำส้มคว้นไม้

$W$  คือ ความหนาแน่นของน้ำกลั่น

## ภาคผนวก ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

### การเตรียมตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรก วิเคราะห์ตาม TAPPI T264 om-88

1. ชั่งน้ำหนักไม้ขนาด 40 mesh ประมาณ 10 กรัม สกัดด้วยสารละลายผสมของเอทานอล+เบนซิน (1:2 โดยปริมาตร) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง
2. สกัดสารแทรกโดยใช้เครื่อง soxhlet extraction
3. นำไม้ไปสกัดใหม่โดยสกัดด้วย 95% เอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. กรองตัวอย่างไม้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ผ่าน Buchner funnel และล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเอทานอล เทตัวอย่างไม้ลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง แล้วกรองไม้ผ่าน Buchner funnel และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ต้มเดือด ปล่อยให้แห้งไว้ในอากาศ เพื่อให้ไม้แห้ง
5. ผสมและเก็บตัวอย่างไม้ไว้ในภาชนะที่มิดชิด หาค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ในไม้และนำตัวอย่างที่เตรียมได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน

### การวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน วิเคราะห์ตาม TAPPI T222 om-88

1. ชั่งน้ำหนักแห้งที่ปราศจากสารแทรกของไม้หนัก  $1 \pm 0.1$  กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็งแล้วค่อยๆ เติม 72%  $H_2SO_4$  ที่เข้มข้นไว้ในตู้เย็นลงไป 15 มิลลิลิตร พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที เพื่อให้ผสมกันดีขึ้น
3. ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วนำออกจากอ่างน้ำแข็งมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่  $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 15 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลม พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนถึงระดับ 575 มิลลิลิตร ที่ขีดไว้ข้างขวดก้นกลม
5. ทำการ Reflux สารละลายนาน 4 ชั่วโมง เมื่อเสร็จ เทสารละลายทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ 1 คืน
6. กรองผ่าน Sinter glass crucible เบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนักแล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักรวมของ glass crucible และลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \% \text{ ปริมาณลิกนิน} &= 100(W_1/W_2) \\ W_1 &= \text{น้ำหนักแห้งของลิกนินอบแห้ง (กรัม)} \\ W_2 &= \text{น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (กรัม)} \end{aligned}$$

**ภาคผนวก ก-3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ด้วยวิธี Folin - Ciocalteu colorimetric method (ดัดแปลงจาก Loo และคณะ, 2008)**

นำตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และปีกไม้สัก ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน และเอทิลอะซิเตรท ที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin - Ciocalteu colorimetric method เพื่อหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ดังนี้

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดที่ได้จากข้อ 3.2.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุเมทานอล 8 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลาย 10% Folin-Ciocalteu reagent โดยปริมาตร จำนวน 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.75% โดยปริมาตร จำนวน 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex
3. จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
4. ทำแบลนด์เช่นเดียวกับข้อ 1-3 โดยนำสารสกัดแบลนด์จากข้อ 3.2.2 มาทำการทดลอง
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 อีก 2 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่าง
6. ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมจากสารมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข-1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำดื่มแก้วน้ำและปริมาณคลอรีนในเนื้อไม้ชนิดต่างๆ**

**ตารางที่ ข-1.1** ค่าพีเอชของน้ำดื่มแก้วน้ำในแต่ละชนิดหลังจากผ่านการกำจัดคาร์บอนโดยการดั่งทิ้งไว้ 6 เดือน

ตัวอย่างน้ำดื่ม	พีเอช				S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่มีไฟ	3.59	3.60	3.60	3.60	0.01
ไม่มียูคลิปตัส	2.96	2.97	2.96	2.96	0.01
ปึกไม้สัก	2.98	2.98	2.97	2.98	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสัมควิน ไม่แต่ละชชนิดถึงจากผ่านการกำจัดทาร์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นตัวอย่าง (กรัมต่อมิลลิลิตร)		ความถ่วงจำเพาะ		S.D.
						ความ หนาแน่น	ความ หนาแน่นเฉลี่ย	ความถ่วง จำเพาะ	ความถ่วง จำเพาะเฉลี่ย	
น้ำ	1	15.7270	25.9658	10.2388		1.0239		-		
	2	15.7277	25.9632	10.2355	10	1.0236	1.0237	-		-
	3	15.7274	25.9647	10.2373		1.0237		-		
น้ำฝน	1	15.7279	26.0235	10.2956		1.0296		1.0057		
	2	15.7271	26.0259	10.2988	10	1.0299	1.0297	1.0060	1.0058	0.0002
	3	15.7280	26.0248	10.2968		1.0297		1.0058		
น้ำยูคาลิปตัส	1	15.7275	26.0778	10.3503		1.0350		1.0110		
	2	15.7270	26.0737	10.3467	10	1.0347	1.0350	1.0107	1.0110	0.0003
	3	15.7279	26.0796	10.3517		1.0352		1.0112		
ปึกไม้สัก	1	15.7273	26.1247	10.3974		1.0397		1.0156		
	2	15.7275	26.1287	10.4012	10	1.0401	1.0401	1.0160	1.0160	0.0003
	3	15.7281	26.1316	10.4035		1.0404		1.0162		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1.3 ปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

ตัวอย่างไม้	ปริมาณลิกนิน			S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
ไม้ฝ	23.903	23.823	23.863	0.056
ไม้ยูคาลิปตัส	23.089	23.082	23.086	0.005
ปีกไม้สัก	23.043	23.155	23.099	0.079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข-2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้

ตารางที่ ข-2.1 ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้

ตัวอย่าง	ครั้งที	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มด.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มด.)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มก.แกดลิกต่อมิลลิลิตร)			กราฟ มาตรฐาน*
							ปริมาณ สาร	ปริมาณ สารเฉลี่ย	S.D.	
น้ำส้ม ควันไม้	1	0.000	0.030	10	25	10	0.080	0.082	0.003	Y=0.0015X
	2	0.000	0.030				0.080			
	3	0.000	0.032				0.085			
โศเดียมไฮดรอกไซด์	1	0.000	0.043	10	25	10	0.115	0.112	0.003	Y=0.0015X
	2	0.000	0.041				0.109			
	3	0.000	0.042				0.112			
เอทิลแอลกอฮอล์	1	-0.001	0.056	10	25	10	0.152	0.150	0.006	Y=0.0015X
	2	-0.001	0.054				0.144			
	3	-0.001	0.057				0.115			

Y = Abs. , X = ความเข้มข้นในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

ตารางที่ ข-2.1 (ต่อ) ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้

ตัวอย่าง	ครั้งที่	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มก. แกลลิกต่อมิลลิลิตร)			กราฟ มาตรฐาน*
							ปริมาณ สาร	ปริมาณสารเฉลี่ย	S.D.	
น้ำส้ม ควันไม้	1	0.000	0.079	10	10	10	0.211	0.210	0.007	Y=0.0015X
	2	0.000	0.076				0.203			
	3	0.000	0.081				0.216			
โศเดียมไฮดรอกไซด์	1	0.000	0.082	10	25	10	0.219	0.227	0.007	Y=0.0015X
	2	0.000	0.086				0.229			
	3	0.000	0.087				0.232			
เอทิลอะซิเตท	1	-0.001	0.091	10	10	10	0.245	0.244	0.004	Y=0.0015X
	2	-0.001	0.092				0.248			
	3	-0.001	0.089				0.240			

\* Y = Abs. , X = ความเข้มข้นในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

**ตารางที่ ข-2.1 (ต่อ) ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้**

ตัวอย่าง	ครั้งที	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มก.แกดลิกต่อมิลลิลิตร)			กราฟ มาตรฐาน*
							ปริมาณ สาร	ปริมาณสาร เฉลี่ย	S.D.	
น้ำส้ม ควันไม้	1	0.000	0.117				0.312			Y=0.0015X
	2	0.000	0.118	10	10		0.315	0.312	0.003	
	3	0.000	0.116				0.309			
ไดเอทิล-อีเทอร์	1	0.000	0.119				0.317			
	2	0.000	0.118	10	25	10	0.315	0.317	0.003	
	3	0.000	0.120				0.320			
ไดคลอโร-มีเทน	1	-0.001	0.127				0.341			
	2	-0.001	0.129	10		10	0.347	0.346	0.004	
	3	-0.001	0.130				0.349			

\* Y = Abs. , X = ความเข้มข้นในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

**การคำนวณ**

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกดลิกต่อมิลลิลิตร) =  $\frac{\text{ความเข้มข้นของฟีนอลิกคำนวณจากกราฟ(มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร))}}{\text{อัตราส่วนการเจือจาง}}$

ปริมาณฟีนอลิกต่อมิลลิลิตร =  $\frac{\text{ปริมาณน้ำส้มควันไม้เริ่มต้น (มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาณน้ำส้มควันไม้เริ่มต้น (มิลลิลิตร)}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 นำหนักแห้งสารสกัดน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดหลังจากผ่านการกำจัดพาราโรโดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

ชนิดน้ำส้มควันไม้	ตัวทำละลาย	น้ำหนักแห้ง (กรัม)					SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
ไม้ไผ่	ไดเอทิลอีเทอร์	0.042	0.046	0.045	0.044	0.002	
	ไดคลอโรมีเทน	0.030	0.035	0.036	0.034	0.003	
	เอทิลอะซิเตรท	(0.098)	0.056	0.074	0.065	0.013	
ไม้ยูคาลิปตัส	ไดเอทิลอีเทอร์	0.056	0.056	0.057	0.056	0.000	
	ไดคลอโรมีเทน	0.050	0.055	0.062	0.056	0.006	
	เอทิลอะซิเตรท	0.066	0.066	0.060	0.064	0.003	
ปีกไม้สัก	ไดเอทิลอีเทอร์	0.100	0.112	0.102	0.105	0.006	
	ไดคลอโรมีเทน	0.102	0.091	0.112	0.102	0.010	
	เอทิลอะซิเตรท	0.112	0.128	0.124	0.121	0.008	

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บ คือ ค่าที่ถูกต้องถึง เนื่องจากเกิน out liner

ตารางที่ ข-2.3 ประสิทธิภาพของวิธีการสกัดน้ำส้มควันไม้

ตัวอย่าง	น้ำส้ม ควันไม้	ตัวทำ ละลาย	ครั้งที่	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณที่นอลิกทั้งหมด (มก.แกวลิกต่อมิลลิลิตร)			ประสิทธิภาพ การสกัด (%Recovery)	กราฟ มาตรฐาน*
									ปริมาณ สาร	ปริมาณ สารเฉลี่ย	S.D.		
ขย๒๒๒๒๒			1	0.000	0.103	10	25	10	0.207	0.212	0.006	89.778	Y=0.0020X
			2	0.000	0.109				0.219				
			3	0.000	0.106				0.211				
ขย๒๒๒๒๒			1	0.000	0.152	10	25	10	0.303	0.302	0.007	89.778	Y=0.0020X
			2	0.000	0.147				0.294				
			3	0.000	0.154				0.309				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 (ต่อ) ประสิทธิภาพของวิธีการสกัดน้ำส้มควันไม้

ตัวอย่าง	ครั้งที่ ที่ทำ ซ้ำ	Abs. เบสค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มด.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มด.)	ปริมาณที่นอดิทั้งหมด (มก.แกดดิคต่อมิลลิติตร)			ประสิทธิภาพ การสกัด (%Recovery)	กราฟ มาตรฐาน*
							ปริมาณ สารละลาย	ปริมาณ สาร	S.D.		
หน่อกล้วย	1	0.000	0.124	10	25	10	0.247	0.252	0.009	91.333	Y=0.0020X
	2	0.000	0.132				0.264				
	3	0.000	0.126				0.338				
ยอดกล้วย	1	0.000	0.169	10	25	10	0.356	0.343	0.009	91.333	Y=0.0020X
	2	0.000	0.178				0.346				
	3	0.000	0.172				0.343				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 (ต่อ) ประสิทธิภาพของวิธีการสกัดน้ำส้มควันไม้

ตัวอย่าง	น้ำส้ม ควันไม้	ตัวทำ ละลาย	ครั้งที่	Abs. เบดจ์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาตร น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณที่เนอลิกทั้งหมด			ประสิทธิภาพ การสกัด (%Recovery)	กราฟ มาตรฐาน*	
									ปริมาณ สาร สกัด	ปริมาณ สาร เจือจาง	S.D.			
เนอลิกเนอ	1	0.000	0.144	10	25	10	10	0.289	0.287	0.008	92.667	Y=0.0020X		
													0.293	0.278
เนอชเนอ	2	0.000	0.147	10	25	10	0.377	0.389	0.009	92.667	Y=0.0020X			
												0.186	0.189	
														0.194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-3 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้  
ตารางที่ ข-3.1 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่  
ในตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.02	72	166,933
2	Phenol	26.55	91	417,224
3	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.04	90	301,903
4	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	80	98,927
5	4-Ethylphenol	29.78	91	725,745
6	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	95	4,324,188
7	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	80	459,517
8	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	83	356,973
	Sum of corrected areas			6,851,409

ตารางที่ ข-3.2 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่  
ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	97	386,008
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	91	439,515
3	2-Methoxy-4-methylphenol (4-methylguaiacol)	25.57	91	164,057
4	Phenol	26.55	94	2,516,572
5	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	94	843,446
6	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	90	308,289
7	4-Ethylphenol	29.79	91	1,227,440
8	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	95	4,760,235
9	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	72	532,272
10	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	83	368,080
	Sum of corrected areas			11,545,915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.3 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่  
ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	95	347,549
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	91	472,353
3	2-Methoxy-4-methylphenol (4-methylguaicol)	25.57	90	153,092
4	Phenol	26.56	94	2,565,934
5	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	93	701,799
6	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.20	93	255,047
7	4-Ethylphenol	29.79	94	1,010,791
8	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	94	3,869,870
9	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.91	72	446,423
10	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	83	306,263
	Sum of corrected areas			10,129,122

ตารางที่ ข-3.4 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้-  
ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	95	536,854
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	90	168,903
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	95	139,265
4	2-Methoxy-4-methylphenol (4-methylguaicol)	25.56	90	112,885
5	Phenol	26.55	86	312,234
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	90	156,008
7	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	90	243,627
8	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.42	95	5,209,052
9	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	80	1,036,108
10	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	83	818,338
	Sum of corrected areas			8,733,275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.5 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	97	811,157
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	91	406,028
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	95	244,523
4	2-Methoxy-4-methylphenol (4-methylguaicol)	25.56	91	197,984
5	Phenol	26.55	93	656,366
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	87	278,291
7	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	91	423,023
8	2,3-Dimethylphenol	29.79	78	143,022
9	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	91	8,505,399
10	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	80	1,845,878
11	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.88	90	1,470,568
	Sum of corrected areas			14,982,241

ตารางที่ ข-3.6 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	96	1,007,445
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.60	91	605,087
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.41	94	291,608
4	4-Methyl-2-methoxyphenol (4-methylguaicol)	25.56	91	292,462
5	Phenol	26.55	90	937,786
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	90	348,247
7	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.20	91	559,134
8	2,3-Dimethylphenol	29.80	72	200,419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.6 (ต่อ) องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จาก  
ไม้ยูคาลิปตัสในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตรท

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
9	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	94	8,485,705
10	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.91	80	1,890,096
11	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	90	1,500,351
Sum of corrected areas				16,118,340

ตารางที่ ข-3.7 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปึกไม้-  
สักในตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	22.31	94	355,042
2	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	96	4,990,693
3	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	97	3,486,627
4	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.41	96	1,107,584
5	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.57	95	2,729,052
6	Phenol	26.55	93	2,571,539
7	2-Methoxy-4-ethylphenol (4-Ethylguaiacol)	27.03	94	850,620
8	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	90	916,657
9	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.20	94	926,222
10	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	94	7,095,812
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	80	3,121,313
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	90	1,406,099
13	1-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-ethanone	37.56	94	896,962
Sum of corrected areas				30,454,223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.8 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปีกไม้-  
สกัดในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	22.31	91	358,155
2	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	96	5,872,996
3	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	97	3,666,203
4	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	96	1,131,628
5	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.56	96	2,690,883
6	Phenol	26.55	94	2,651,705
7	2-Methoxy-4-ethylphenol (4-Ethylguaiacol)	27.03	91	770,561
8	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	93	894,561
9	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	95	957,489
10	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	94	6,946,490
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.90	80	2,728,628
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	83	1,095,020
13	1-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-ethanone	37.56	91	775,310
	Sum of corrected areas			30,539,630

ตารางที่ ข-3.9 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จากปีกไม้-  
สกัดในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	22.31	94	310,513
2	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	96	4,968,432
3	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	97	3,228,559
4	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	96	1,018,010
5	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.56	97	2,443,441
6	Phenol	26.55	93	2,423,832
7	2-Methoxy-4-ethylphenol (4-Ethylguaiacol)	27.04	94	756,419
8	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.05	90	803,736

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.9 (ต่อ) องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้จาก  
 ปีกไม้สักในตัวทำลายเอทิลอะซิเตท

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
9	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	94	837,986
10	2,6-Dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	94	6,205,033
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.91	86	2,651,314
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.89	90	1,171,900
13	1-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-ethanone	37.56	91	719,681
Sum of corrected areas				27,538,855



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข-4 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควนไม้**  
**ตารางที่ ข-4.1 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควนไม้ชนิดต่างๆ**

ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร						% RSA			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
น้ำส้มควนไม้	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิตร)									
	0.00	1.627	1.627	1.627	1.627	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.02	1.540	1.540	1.540	1.540	0.000	5.347	5.347	5.347	0.000
	0.04	1.459	1.459	1.459	1.459	0.000	10.326	10.326	10.326	0.000
	0.06	1.380	1.380	1.380	1.380	0.000	15.181	15.181	15.181	0.000
	0.08	1.302	1.302	1.302	1.302	0.000	19.975	19.975	19.975	0.000
BHA	0.10	1.239	1.239	1.239	1.239	0.000	23.848	23.848	23.848	0.000
	0.00	1.627	1.627	1.627	1.627	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.02	1.610	1.598	1.610	1.606	0.007	1.045	1.782	1.291	0.426
	0.04	1.594	1.560	1.590	1.581	0.019	2.028	4.118	2.807	1.142
	0.06	1.583	1.535	1.570	1.563	0.025	2.704	5.655	3.503	1.526
	0.08	1.562	1.484	1.520	1.522	0.039	3.995	8.789	6.577	2.399
ไม้ไผ่	0.10	1.520	1.442	1.490	1.484	0.039	6.577	11.371	8.789	2.418

ตารางที่ ข-4.1 (ต่อ) สมบัติการด้านปริมาตรออกซิเจนในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควินโม้นชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร						% RSA			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
น้ำส้มควินโม้น	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)									
	0.00	1.627	1.627	1.627	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.02	1.558	1.560	1.559	0.001	0.001	4.241	4.118	4.179	0.061
	0.04	1.487	1.491	1.481	1.486	0.005	8.605	8.359	8.974	0.309
	0.06	1.405	1.398	1.396	1.400	0.005	13.645	14.075	14.198	0.290
น้ำยูคาลิปตัส	0.08	1.326	1.325	1.315	1.322	0.006	18.500	18.562	18.746	0.374
	0.10	1.258	1.258	1.238	1.251	0.012	22.680	22.680	23.909	0.710
	0.00	1.627	1.627	1.627	1.627	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.02	1.580	1.583	1.563	1.575	0.011	2.889	2.704	3.934	0.663
	0.04	1.523	1.538	1.512	1.524	0.013	6.392	5.470	7.068	0.802
เปลือกไม้สัก	0.06	1.452	1.461	1.453	1.455	0.005	10.756	10.203	10.695	0.303
	0.08	1.405	1.415	1.406	1.409	0.006	13.645	13.030	13.583	0.339
	0.10	1.353	1.368	1.356	1.359	0.008	16.656	15.919	16.656	0.426

ภาคผนวก ข-5 สารประกอบพินอคิลในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ ข-5.1 ค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง น้ำส้มควันไม้	พีเอช					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์	3.52	3.52	3.52	3.52	0.00	
1 เดือน	3.93	3.93	3.93	3.93	0.00	
2 เดือน	3.89	3.89	3.89	3.89	0.00	
3 เดือน	3.83	3.84	3.84	3.84	0.01	
4 เดือน	3.79	3.78	3.79	3.79	0.01	
5 เดือน	3.72	3.73	3.73	3.73	0.01	
6 เดือน	3.69	3.69	3.69	3.69	0.00	

ตารางที่ ข-5.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควินไม่ยูคลิปติดที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด ใส่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นตัวอย่าง (กรัมต่อมิลลิลิตร)		ความถ่วงจำเพาะ		S.D.
							ความ หนาแน่น	ความ หนาแน่น เฉลี่ย	ความถ่วง จำเพาะ	ความถ่วง จำเพาะ เฉลี่ย	
น้ำ	1	15.7262	25.9632	10.2370	1.0237	10	1.0239	-	-	-	
	2	15.7271	25.9657	10.2386	1.0239			-	-		
	3	15.7276	25.9683	10.2407	1.0241			-	-		
เติมอากาศ ร่วมกับ ถ่านกัมมันต์	1	15.7259	26.4329	10.7070	1.0707	10	1.0731	1.0457	1.0481	0.0029	
	2	15.7272	26.4478	10.7206	1.0721			1.0471	1.0481		
	3	15.7244	26.4893	10.7649	1.0765			1.0514	1.0481		
น้ำ	1	15.7346	26.0023	10.2677	1.0268	10	1.0269	-	-	-	
	2	15.7382	26.0090	10.2708	1.0271			-	-		
	3	15.7376	26.0067	10.2691	1.0269			-	-		
1 เดือน	1	15.7352	26.3074	10.5722	1.0572	10	1.0586	1.0295	1.0308	0.0021	
	2	15.7374	26.3117	10.5743	1.0574			1.0297	1.0308		
	3	15.7389	26.3492	10.6103	1.0610			1.0332	1.0308		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.2 (ต่อ) ค่าความถี่จำเพาะของน้ำดื่มควินโมโยคาลิปโตที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	ความหนาแน่นตัวอย่าง (กรัมต่อมิลลิเมตร)		ความถี่จำเพาะ		S.D.
						ความหนาแน่น	ความหนาแน่นเฉลี่ย	ความถี่จำเพาะ	ความถี่จำเพาะเฉลี่ย	
น้ำ	1	15.7398	25.9991	10.2593	10	1.0259	1.0255	-	-	-
	2	15.7333	25.9878	10.2521		1.0252		-		
	3	15.7357	25.9902	10.2545		1.0255		-		
2 เดือน	1	15.7397	26.3472	10.6075	10	1.0608	1.0609	1.0343	1.0345	0.0001
	2	15.7364	26.3462	10.6098		1.0610		1.0346		
	3	15.7332	26.3431	10.6099		1.0610		1.0346		
น้ำ	1	15.7348	25.9761	10.2413	10	1.0241	1.0242	-	-	-
	2	15.7369	25.9796	10.2427		1.0243		-		
	3	15.7314	25.9748	10.2434		1.0243		-		
3 เดือน	1	15.7322	26.1987	10.4665	10	1.0467	1.0473	1.0219	1.0225	0.0006
	2	15.7356	26.2134	10.4778		1.0478		1.0230		
	3	15.7377	26.2115	10.4738		1.0474		1.0226		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.2 (ต่อ) ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสัมควันไม้ยูคาดิบตัดที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด ใส่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	ความหนาแน่นตัวอย่าง (กรัมต่อมิลลิเมตร)		ความถ่วงจำเพาะ		S.D.	
						ความ หนาแน่น	ความ หนาแน่น เฉลี่ย	ความถ่วง จำเพาะ	ความถ่วง จำเพาะ เฉลี่ย		
น้ำ	1	15.7307	25.9664	10.2357	10	1.0236	1.0234	-	-	-	
	2	15.7335	25.9693	10.2358		1.0236		-	-	-	-
	3	15.7298	25.9617	10.2319		1.0232		-	-	-	-
4 เดือน	1	15.7319	26.1099	10.378	10	1.0378	1.0377	1.0140	1.0140	0.0001	
	2	15.7296	26.1058	10.3762		1.0376		1.0139	1.0139		1.0140
	3	15.7303	26.1073	10.377		1.0377		1.0139	1.0139		1.0139
น้ำ	1	15.7409	26.0012	10.2603	10	1.0260	1.0262	-	-	-	
	2	15.7428	26.0067	10.2639		1.0264		-	-	-	-
	3	15.7414	26.0025	10.2611		1.0261		-	-	-	-
5 เดือน	1	15.7428	26.2113	10.4685	10	1.0469	1.0472	1.0201	1.0203	0.00019	
	2	15.7442	26.2139	10.4697		1.0470		1.0203	1.0203		1.0203
	3	15.7461	26.2251	10.479		1.0479		1.0205	1.0205		1.0205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.2 (ต่อ) ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ยุคาลิปติสต์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด ใส่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นตัวอย่าง (กรัมต่อมิลลิลิตร)		ความถ่วงจำเพาะ		S.D.	
						ความหนาแน่น	ความหนาแน่นเฉลี่ย	ความถ่วง จำเพาะ	ความถ่วง จำเพาะเฉลี่ย		
น้ำ	1	15.7354	25.9749	10.2395	10	1.0240	1.0239	-	-	-	
	2	15.7369	25.9773	10.2404		1.0240		-			-
	3	15.7342	25.972	10.2378		1.0238		-			-
6 เดือน	1	15.7372	26.1027	10.3655	10	1.03655	1.0366	1.0123	1.0123	4.916E-05	
	2	15.7344	26.1005	10.3661		1.03661		1.0124			1.0123
	3	15.7398	26.1049	10.3651		1.03651		1.0123			1.0123

การคำนวณ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{S}{W}$$

เมื่อ S คือ ความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้

W คือ ความหนาแน่นของน้ำกลั่น

ตารางที่ ข-5.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มก.แกลลิกต่อมิลลิลิตร)			กราฟ มาตรฐาน*
							ปริมาณ สาร	ปริมาณสาร เฉลี่ย	S.D.	
น้ำส้ม ควันไม้	1	-0.001	0.116	10	25	10	0.246	0.246	0.007	Y=0.0019X
	2	-0.001	0.112				0.238			
	3	-0.001	0.119				0.253			
ใบชา	1	-0.001	0.180	10	25	10	0.381	0.394	0.011	Y=0.0019X
	2	-0.001	0.188				0.398			
	3	-0.001	0.190				0.402			

\* Y = Abs. , X = ความเข้มข้นในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ ข-5.3 (ต่อ) ปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยุคปกติได้สัปดาห์ละระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาณ น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณพีนอลิกทั้งหมด (มก.กรดลิกตอิมิดลิดิทร)			กราฟ
							ปริมาณ สาร	ปริมาณสาร เจลลี่	S.D.	
น้ำส้ม ควันไม้	1	-0.001	0.184	10	25	10	0.389	0.392	0.013	Y=0.0019X
	2	-0.001	0.180				0.381			
	3	-0.001	0.192				0.406			
2 เดือน	1	-0.001	0.167	10	25	10	0.395	0.394	0.012	Y=0.0017X
	2	-0.001	0.161				0.381			
	3	-0.001	0.171				0.405			

\* Y = Abs. , X = ความเข้มข้นในตัวอย่าง (มิลลิกรัมตอลิตร)

ตารางที่ ข-5.3 (ต่อ) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยุคปกติตั้งแต่ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร น้ำส้มควันไม้ เริ่มต้น (มล.)	ปริมาตร น้ำส้มควันไม้ หลังการสกัด (มล.)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มก. เทลลิกต่อมิลลิลิตร)			กราฟ มาตรฐาน*
							ปริมาณ สาร	ปริมาณ สาร เฉลี่ย	S.D.	
น้ำส้ม ควันไม้	1	-0.001	0.170	10	25	10	0.380	0.367	0.015	Y=0.0018X
	2	-0.001	0.165				0.369			
	3	-0.001	0.157				0.351			
แคะหูละออง	1	-0.001	0.206	10	25	10	0.376	0.390	0.015	Y=0.0022X
	2	-0.001	0.222				0.405			
	3	-0.001	0.213				0.389			
6 เดือน	1	-0.001	0.185	10	25	10	0.354	0.345	0.011	Y=0.0021X
	2	-0.001	0.174				0.333			
	3	-0.001	0.181				0.347			

\*Y = Abs. , X = ความเข้มข้นในตัวอย่างไม่บริสุทธิ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

**การคำนวณ**

ปริมาณพื้นที่ในอภิตกทั้งหมด	==	ความเข้มแข็งของพื้นที่ในอภิตกคำนวณจาก	X	ปริมาณน้ำส้มควินไม้	X	อัตราส่วนการเจือจาง	X	ลิตร
(มิตลิกกรัมเกดลิกต่อมิตลิกลิตร)		กราฟมาตรฐาน (มิตลิกกรัมต่อลิตร)		หลังการสกัด (มิตลิกลิตร)				1,000 มิตลิกลิตร

ปริมาณน้ำส้มควินไม้เริ่มต้น (มิตลิกลิตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.4 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการพ่นอากาศนาน 15 นาที พร้อมทั้งเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 % โดยน้ำหนัก แล้วตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	95	416,029
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	86	114,418
3	Phenol	26.54	83	350,394
4	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.04	89	128,280
5	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.19	92	297,929
6	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.41	95	9,169,663
7	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.89	72	2,859,538
8	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.88	91	1,538,613
9	(3S) 2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.04	74	213,257
Sum of corrected areas				15,088,121

ตารางที่ ข-5.5 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 1 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	95	647,115
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	86	242,979
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	86	159,586
4	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.55	91	155,232
5	Phenol	26.55	87	586,225
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.04	90	267,265
7	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.18	95	492,212
8	3,5-Dimethylphenol	29.78	91	294,829

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.5 (ต่อ) องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 1 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
9	3,4-Dimethylphenol	30.61	91	160,938
10	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.40	95	11,612,348
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.89	80	4,906,262
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.88	90	3,471,288
13	(3S)-2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.04	90	928,732
<b>Sum of corrected areas</b>				23,925,011

ตารางที่ ข-5.6 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 2 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	23.01	95	633,702
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.59	86	257,366
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.40	81	145,885
4	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.56	83	150,785
5	Phenol	26.55	87	631,981
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.04	90	283,930
8	3,5-Dimethylphenol	29.78	91	272,704
9	3,4-Dimethylphenol	30.61	91	160,338
10	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.40	94	11,976,672
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.89	80	4,701,410
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.88	90	3,353,963
13	(3S)-2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.04	90	905,368
<b>Sum of corrected areas</b>				24,001,621

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.7 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่าน  
การตั้งทิ้งไว้ 3 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	22.97	94	842,587
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.55	87	486,318
3	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	24.36	87	200,300
4	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.53	80	295,380
5	Phenol	26.51	81	1,373,422
6	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.01	87	452,097
7	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.15	93	773,873
8	3,5-Dimethylphenol	29.75	87	686,385
9	3,4-Dimethylphenol	30.57	81	499,548
10	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.37	94	15,022,684
11	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.86	86	5,752,055
12	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.85	90	4,077,014
13	(3S)-2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.01	86	1,158,757
<b>Sum of corrected areas</b>				<b>31,620,420</b>

ตารางที่ ข-5.8 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่าน  
การตั้งทิ้งไว้ 4 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	22.97	87	316,179
2	Phenol	26.51	72	355,356
3	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.01	76	263,090
4	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.15	90	391,195
5	3,5-Dimethylphenol	29.75	81	212,026
6	3,4-Dimethylphenol	30.58	81	293,495

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.8 (ต่อ) องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 4 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
7	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.37	93	14,414,241
8	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.86	86	5,242,461
9	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.85	90	3,781,102
10	(3S)-2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.02	86	1,149,868
<b>Sum of corrected areas</b>				26,419,013

ตารางที่ ข-5.9 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 5 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.55	91	555,224
2	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.52	91	299,826
3	Phenol	26.50	87	1,624,217
4	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.00	87	533,140
5	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.15	94	895,159
6	3,5-Dimethylphenol	29.75	81	372,164
7	3,4-Dimethylphenol	30.57	81	284,428
8	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.37	91	12,190,100
9	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.86	80	4,357,569
10	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.85	90	3,130,937
11	(3S)-2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.01	86	937,589
<b>Sum of corrected areas</b>				25,180,353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.10 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	RT (min)	Quality (เปอร์เซ็นต์)	Peak Area
1	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	22.97	87	339,566
2	2-Methoxyphenol (Guaiacol)	23.55	91	811,986
3	2-Methoxy-4-methylphenol (4-Methylguaiacol)	25.53	91	326,757
4	Phenol	26.51	72	2,164,720
5	4-Methylphenol (p-Cresol)	28.01	87	586,108
6	3-Methylphenol (m-Cresol)	28.15	93	1,024,397
7	3,5-Dimethylphenol	29.75	87	453,470
8	3,4-Dimethylphenol	30.57	87	338,195
9	2,6-dimethoxyphenol (Syringol)	31.37	94	13,739,055
10	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vanillin)	32.86	86	5,096,164
11	2,3,5-Trimethoxytoluene	33.85	90	5,530,309
12	(3S)-2-choloro-1-phenyl-1-penten-3-ol	35.01	86	10,757,341
<b>Sum of corrected areas</b>				<b>30,410,727</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ One - way ANOVA ของค่าปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

กลุ่มไม้	df	SS	MS	F	p
ไม้ไผ่	2	0.7924	0.3962	126.21	0.001
ไม้ยูคาลิปตัส					
ปีกไม้สัก					
Error	3	0.00942	0.00314	-	-
Total	5	0.80181	-	-	-

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก ก-2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey

ชนิดไม้		Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ไม้ไผ่	ไม้ยูคาลิปตัส	-0.7644	0.05603	0.0018	-0.998	-0.5302
	ไม้สัก	-0.7773	0.05603	0.0017	-1.011	-0.5432
ไม้ยูคาลิปตัส	ไม้สัก	-0.01295	0.05603	0.9713	-0.2471	0.2212

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-3 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ Two - way ANOVA ชนิดของ  
ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้

ตัวอย่าง		df	SS	MS	F	p
น้ำส้มควันไม้	ไม้ไผ่	2	0.200	0.100	4772.600	0.000
	ไม้ยูคาลิปตัส					
	ปีกไม้สัก					
ตัวทำละลาย	ไดเอทิลอีเทอร์	2	0.010	0.005	227.620	0.000
	ไดคลอโรมีเทน					
	เอทิลอีเธอร์					
น้ำส้มควันไม้*ตัวทำละลาย		4	0.001	0.000	15.900	0.000
Error		18	0.000	0.000	-	-
Total		26	0.211	-	-	-

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวกที่ ค-4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey**

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ไม่มีไฟ*โดเอททีลเอทีเทอร์	ไม่มีไฟ*โดคโล โรมีเทน	0.004	0.00	0.017	0.043
	ไม่มีไฟ*เอททีลอะซีเตรท	0.004	0.00	0.056	0.082
	ไม่มีคาลิปิตัส*โดเอททีลเอทีเทอร์	0.004	0.00	0.115	0.141
	ไม่มีคาลิปิตัส*โดคโล โรมีเทน	0.004	0.00	0.132	0.158
	ไม่มีคาลิปิตัส*เอททีลอะซีเตรท	0.004	0.00	0.150	0.176
	ปิกไม่มีสัก*โดเอททีลเอทีเทอร์	0.004	0.00	0.217	0.243
	ปิกไม่มีสัก*โดคโล โรมีเทน	0.004	0.00	0.223	0.249
	ปิกไม่มีสัก*เอททีลอะซีเตรท	0.004	0.00	0.251	0.277

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำดื่มวันไม่ โดยทดสอบสถิติ**  
**เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey**

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ไม่ใส่*เอทิลอะซิเตท	ไม่ใส่*เอทิลอะซิเตท	0.004	0.00	0.025	0.051
	ไม่ยูคาลิปตัส*โคคาทิลีเทอร์	0.004	0.00	0.085	0.111
	ไม่ยูคาลิปตัส*โคคลอโรมีเทน	0.004	0.00	0.102	0.128
	ไม่ยูคาลิปตัส*เอทิลอะซิเตท	0.004	0.00	0.119	0.145
ไม่ใส่*โคคลอโรมีเทน	ปักไม้สัก*โคคาทิลีเทอร์	0.004	0.00	0.187	0.213
	ปักไม้สัก*โคคลอโรมีเทน	0.004	0.00	0.192	0.218
	ปักไม้สัก*เอทิลอะซิเตท	0.004	0.00	0.221	0.247
ไม่ใส่*เอทิลอะซิเตท	ไม่ยูคาลิปตัส*โคคาทิลีเทอร์	0.004	0.00	0.047	0.073
	ไม่ยูคาลิปตัส*โคคลอโรมีเทน	0.004	0.00	0.063	0.089
	ไม่ยูคาลิปตัส*เอทิลอะซิเตท	0.004	0.00	0.081	0.107
	ปักไม้สัก*โคคาทิลีเทอร์	0.004	0.00	0.149	0.175
ไม่ใส่*เอทิลอะซิเตท	ปักไม้สัก*โคคลอโรมีเทน	0.004	0.00	0.154	0.180
	ปักไม้สัก*เอทิลอะซิเตท	0.004	0.00	0.182	0.208

**ภาคผนวกที่ ค-4 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวทำลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey**

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ไม่ยูคาลิปตัส*ไคคโลโรมีเทน	ไม่ยูคาลิปตัส*ไคคโลโรมีเทน	0.004	0.007	0.004	0.030
	ไม่ยูคาลิปตัส*เอททิลอะซิเตรท	0.004	0.00	0.021	0.047
	ปีกไม้สัก*ไคเอททิลเอเทอร์	0.004	0.00	0.089	0.115
	ปีกไม้สัก*ไคคโลโรมีเทน	0.004	0.00	0.094	0.120
	ปีกไม้สัก*เอททิลอะซิเตรท	0.004	0.00	0.122	0.149
ไม่ยูคาลิปตัส*เอททิลอะซิเตรท	ไม่ยูคาลิปตัส*เอททิลอะซิเตรท	0.004	0.004	0.005	0.031
	ปีกไม้สัก*ไคเอททิลเอเทอร์	0.004	0.00	0.072	0.098
	ปีกไม้สัก*ไคคโลโรมีเทน	0.004	0.00	0.078	0.104
	ปีกไม้สัก*เอททิลอะซิเตรท	0.004	0.00	0.106	0.132
	ปีกไม้สัก*ไคเอททิลเอเทอร์	0.004	0.00	0.055	0.081
ไม่ยูคาลิปตัส*เอททิลอะซิเตรท	ปีกไม้สัก*ไคคโลโรมีเทน	0.004	0.00	0.060	0.086
	ปีกไม้สัก*เอททิลอะซิเตรท	0.004	0.00	0.088	0.114

ภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ปีที่ไม่ใส่*ไดเอทิลอีเทอร์	ปีที่ไม่ใส่*ไดคอลลอโรมีเทน	0.004	0.872	-0.008	0.018
	ปีที่ไม่ใส่*เอทิลอะซิเตรท	0.004	0.00	0.021	0.047
ปีที่ไม่ใส่*ไดคอลลอโรมีเทน	ปีที่ไม่ใส่*เอทิลอะซิเตรท	0.004	0.00	0.015	0.041

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวกที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ Two - way ANOVA สมบัติการด้านปฏิกริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้

กลุ่มตัวอย่าง		df	SS	MS	F	p
น้ำส้ม ควันไม้	สารมาตรฐาน BHA	3	800.77	266.92	361.56	0.000
	ไม้ไผ่					
	ไม้ยูคาลิปตัส					
	ปีกไม้สัก					
ความ เข้มข้น	0.00	5	2788.45	557.69	755.40	0.000
	0.02					
	0.04					
	0.06					
	0.08					
	0.10					
น้ำส้มควันไม้*ความเข้มข้น		15	333.6	22.24	30.1	0.000
Error		48	35.4	0.74		
Total		71	3958.2			

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันใน ตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
BHA*0.00	BHA*0.02	5.3470	0.7016	0.0001	2.6430	8.0510
	BHA*0.04	10.3260	0.7016	0.0001	7.6220	13.0300
	BHA*0.06	15.1810	0.7016	0.0001	12.4770	17.8850
	BHA*0.08	19.9750	0.7016	0.0001	17.2710	22.6790
	BHA*0.10	23.8480	0.7016	0.0001	21.1440	26.5520
	ไม้ไผ่*0.00	0.0000	0.7016	1.0000	-2.7040	2.7040
	ไม้ไผ่*0.02	1.2907	0.7016	0.9684	-1.4130	3.9940
	ไม้ไผ่*0.04	2.8067	0.7016	0.0339	0.1030	5.5100
	ไม้ไผ่*0.06	3.9540	0.7016	0.0003	1.2500	6.6580
	ไม้ไผ่*0.08	6.4537	0.7016	0.0001	3.7500	9.1570
	ไม้ไผ่*0.10	8.8793	0.7016	0.0001	6.0860	11.4930
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	0.0000	0.7016	1.0000	-2.7040	2.7040
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	4.1793	0.7016	0.0001	1.4760	6.8830
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	8.6460	0.7016	0.0001	5.9420	11.3500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	13.9727	0.7016	0.0001	11.2690	16.6760
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	18.7460	0.7016	0.0001	16.0420	21.4500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	23.0897	0.7016	0.0001	20.3860	25.7930
	ไม้สัก*0.00	0.0000	0.7016	1.0000	-2.7040	2.7040
	ไม้สัก*0.02	3.1757	0.7016	0.0075	0.4720	5.8790
	ไม้สัก*0.04	6.3100	0.7016	0.0001	3.6060	9.0140
ไม้สัก*0.06	10.5513	0.7016	0.0001	7.8480	13.2550	
ไม้สัก*0.08	13.4193	0.7016	0.0001	10.7160	16.1230	
ไม้สัก*0.10	16.4103	0.7016	0.0001	13.7070	19.1140	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
BHA*0.02	BHA*0.04	4.9790	0.7016	0.0001	2.2750	7.6830
	BHA*0.06	9.8340	0.7016	0.0001	7.1300	12.5380
	BHA*0.08	14.6280	0.7016	0.0001	11.9240	17.3320
	BHA*0.10	18.5010	0.7016	0.0001	15.7970	21.2050
	ไม้ไผ่*0.00	-5.3470	0.7016	0.0001	-8.0510	-2.6430
	ไม้ไผ่*0.02	-4.0560	0.7016	0.0002	-6.7600	-1.3530
	ไม้ไผ่*0.04	-2.5400	0.7016	0.0904	-5.2440	0.1630
	ไม้ไผ่*0.06	-1.3930	0.7016	0.9347	-4.0970	1.3110
	ไม้ไผ่*0.08	1.1070	0.7016	0.9945	-1.5970	3.8100
	ไม้ไผ่*0.10	3.4420	0.7016	0.0023	0.7390	6.1460
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-5.3470	0.7016	0.0001	-8.0510	-2.6430
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-1.1680	0.7016	0.9894	-3.8710	1.5360
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	3.2990	0.7016	0.0044	0.5950	6.0030
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	8.6260	0.7016	0.0001	5.9220	11.3290
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	13.3990	0.7016	0.0001	10.6950	16.1030
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	17.7430	0.7016	0.0001	15.0390	20.4460
	ไม้สัก*0.00	35.3470	0.7016	0.0001	-8.0510	-2.6430
	ไม้สัก*0.02	-2.1710	0.7016	0.2819	-4.8750	0.5320
	ไม้สัก*0.04	0.9630	0.7016	0.9991	-1.7410	3.6670
	ไม้สัก*0.06	5.2040	0.7016	0.0001	2.5010	7.9080
ไม้สัก*0.08	8.0720	0.7016	0.0001	5.3690	10.7760	
ไม้สัก*0.10	11.0630	0.7016	0.0001	8.3600	13.7670	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควินไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
BHA*0.04	BHA*0.06	4.8600	0.7016	0.0001	2.1500	7.5590
	BHA*0.08	9.6500	0.7016	0.0001	6.9500	12.3530
	BHA*0.10	13.5200	0.7016	0.0001	10.8200	16.2260
	ไม้ไผ่*0.00	-10.3300	0.7016	0.0001	-13.0300	-7.6220
	ไม้ไผ่*0.02	-9.0400	0.7016	0.0001	-11.7400	-6.3320
	ไม้ไผ่*0.04	-7.5200	0.7016	0.0001	10.2200	-4.8160
	ไม้ไผ่*0.06	-6.3700	0.7016	0.0001	-9.0800	-3.6680
	ไม้ไผ่*0.08	-3.8700	0.7016	0.0004	-6.5800	-1.1690
	ไม้ไผ่*0.10	-1.5400	0.7016	0.8555	-4.2400	1.1670
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-10.3300	0.7016	0.0001	-13.0300	-7.6220
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-6.1500	0.7016	0.0001	-8.8500	-3.4430
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	-1.6800	0.7016	0.7402	-4.3800	1.0240
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	3.6500	0.7016	0.0010	0.9400	6.3500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	8.4200	0.7016	0.0001	5.7200	11.1240
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	12.7600	0.7016	0.0001	10.0600	15.4670
	ไม้สัก*0.00	-10.3300	0.7016	0.0001	-13.0300	-7.6220
	ไม้สัก*0.02	-7.1500	0.7016	0.0001	-9.8500	-4.4470
	ไม้สัก*0.04	-4.0200	0.7016	0.0002	-6.7200	-1.3120
	ไม้สัก*0.06	0.2300	0.7016	1.0000	-2.4800	2.9290
	ไม้สัก*0.08	3.0900	0.7016	0.0106	0.3900	5.7970
ไม้สัก*0.10	6.0800	0.7016	0.0001	3.3800	8.7880	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
BHA*0.06	BHA*0.08	4.7900	0.7016	0.0001	2.0900	7.5000
	BHA*0.10	8.6700	0.7016	0.0001	5.9600	11.3700
	ไม้ไผ่*0.00	-15.1800	0.7016	0.0001	-17.8800	-12.4800
	ไม้ไผ่*0.02	-13.8900	0.7016	0.0001	-16.5900	-11.1900
	ไม้ไผ่*0.04	-12.3700	0.7016	0.0001	-15.0800	-9.6700
	ไม้ไผ่*0.06	-11.2300	0.7016	0.0001	-13.9300	-8.5200
	ไม้ไผ่*0.08	-8.7300	0.7016	0.0001	-11.4300	-6.0200
	ไม้ไผ่*0.10	-6.3900	0.7016	0.0001	-9.1000	-3.6900
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-15.1800	0.7016	0.0001	-17.8800	-12.4800
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-11.0000	0.7016	0.0001	-13.7100	-8.3000
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	-6.5400	0.7016	0.0001	-9.2400	-3.8300
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	-1.2100	0.7016	0.9843	-3.9100	1.5000
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	3.5600	0.7016	0.0014	0.8600	6.2700
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	7.9100	0.7016	0.0001	5.2100	10.6100
	ไม้สัก*0.00	-15.1800	0.7016	0.0001	-17.8800	-12.4800
	ไม้สัก*0.02	-12.0100	0.7016	0.0001	-14.7100	-9.3000
	ไม้สัก*0.04	-8.8700	0.7016	0.0001	-11.5700	-6.1700
	ไม้สัก*0.06	-4.6300	0.7016	0.0001	-7.3300	-1.9300
	ไม้สัก*0.08	-1.7600	0.7016	0.6630	-4.4700	0.9400
	ไม้สัก*0.10	1.2300	0.7016	0.9811	-1.4700	3.9300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันใน ตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
BHA*0.10	3.8700	0.7016	0.0004	1.1700	6.5800
ไม้ไผ่*0.00	-19.9800	0.7016	0.0001	-22.6800	-17.2700
ไม้ไผ่*0.02	-18.6800	0.7016	0.0001	-21.3900	-15.9800
ไม้ไผ่*0.04	-17.1700	0.7016	0.0001	-19.8700	-14.4600
ไม้ไผ่*0.06	-16.0200	0.7016	0.0001	-18.7200	-13.3200
ไม้ไผ่*0.08	-13.5200	0.7016	0.0001	-16.2200	10.8200
ไม้ไผ่*0.10	-11.1900	0.7016	0.0001	-13.8900	8.48
ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-19.9800	0.7016	0.0001	-22.6800	-17.2700
ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-15.8000	0.7016	0.0001	-18.5000	-13.0900
ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	-11.3300	0.7016	0.0001	-14.0300	-8.6300
ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	-6.0000	0.7016	0.0001	-8.7100	-3.3000
ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	-1.2300	0.7016	0.9811	-3.9300	1.4700
ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	3.1100	0.7016	0.0097	0.4100	5.8200
ไม้สัก*0.00	-19.9800	0.7016	0.0001	-22.6800	-17.2700
ไม้สัก*0.02	-16.8000	0.7016	0.0001	-19.5000	-14.1000
ไม้สัก*0.04	-13.6700	0.7016	0.0001	-16.3700	-10.9600
ไม้สัก*0.06	-9.4200	0.7016	0.0001	-12.1300	-6.7200
ไม้สัก*0.08	-6.5600	0.7016	0.0001	-9.2600	-3.8500
ไม้สัก*0.10	-3.5600	0.7016	0.0004	-6.2700	-0.8600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควินไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
BHA*0.10	ไม้ใผ่*0.00	-23.8500	0.7016	0.0001	-26.5500	-21.1400
	ไม้ใผ่*0.02	-22.5600	0.7016	0.0001	-25.2600	-19.8500
	ไม้ใผ่*0.04	-21.0400	0.7016	0.0001	-23.7400	-18.3400
	ไม้ใผ่*0.06	-19.8900	0.7016	0.0001	-22.6000	-17.1900
	ไม้ใผ่*0.08	-17.3900	0.7016	0.0001	-20.1000	-14.6900
	ไม้ใผ่*0.10	-15.0600	0.7016	0.0001	-17.7600	-12.3600
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-23.8500	0.7016	0.0001	-26.5500	-21.1400
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-19.6700	0.7016	0.0001	22.3700	-16.9700
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	-15.2000	0.7016	0.0001	-27.9100	-12.5000
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	-9.8800	0.7016	0.0001	-12.5800	-7.1700
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	-5.1000	0.7016	0.0001	-7.8100	-2.4000
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	-0.7600	0.7016	1.0000	-3.4600	1.9500
	ไม้สัก*0.00	-23.8500	0.7016	0.0001	-26.5500	-21.1400
	ไม้สัก*0.02	-20.6700	0.7016	0.0001	-23.3800	-17.9700
	ไม้สัก*0.04	-17.5400	0.7016	0.0001	-20.2400	-14.8300
	ไม้สัก*0.06	-13.3000	0.7016	0.0001	-16.0000	-10.5900
	ไม้สัก*0.08	-10.4300	0.7016	0.0001	-13.1300	-7.7300
	ไม้สัก*0.10	-7.4400	0.7016	0.0001	-10.1400	-4.7300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ไผ่*0.00	ไม้ไผ่*0.02	1.2907	0.7016	0.9684	-1.4130	3.9940
	ไม้ไผ่*0.04	2.8067	0.7016	0.0339	0.1030	5.5100
	ไม้ไผ่*0.06	3.9540	0.7016	0.0003	1.2500	6.6580
	ไม้ไผ่*0.08	6.4537	0.7016	0.0001	3.7500	9.1570
	ไม้ไผ่*0.10	8.7893	0.7016	0.0001	6.0860	11.4930
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	0.0000	0.7016	1.0000	-2.7040	2.7040
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	4.1793	0.7016	0.0001	1.4760	6.8830
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	8.6460	0.7016	0.0001	5.9420	11.3500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	13.9727	0.7016	0.0001	11.2690	16.6760
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	18.7460	0.7016	0.0001	16.0420	21.4500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	23.0897	0.7016	0.0001	20.3860	25.7930
	ไม้สัก*0.00	0.0000	0.7016	1.0000	-2.7040	2.7040
	ไม้สัก*0.02	3.1757	0.7016	0.0075	0.4720	5.8790
	ไม้สัก*0.04	6.3100	0.7016	0.0001	3.6060	9.0140
	ไม้สัก*0.06	10.5513	0.7016	0.0001	7.8480	13.2550
	ไม้สัก*0.08	13.4193	0.7016	0.0001	10.7160	16.1230
ไม้สัก*0.10	16.4103	0.7016	0.0001	13.7070	19.1140	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ไผ่*0.02	ไม้ไผ่*0.04	1.5160	0.7016	0.8693	-1.1880	4.2200
	ไม้ไผ่*0.06	2.6630	0.7016	0.0582	-0.0400	5.3670
	ไม้ไผ่*0.08	5.1630	0.7016	0.0001	2.4590	7.8670
	ไม้ไผ่*0.10	7.4990	0.7016	0.0001	4.7950	10.2020
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-1.2910	0.7016	0.9684	-3.9940	1.4130
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	2.8890	0.7016	0.0245	0.1850	5.5920
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	7.3550	0.7016	0.0001	4.6520	10.0590
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	12.6820	0.7016	0.0001	9.9780	15.3860
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	17.4550	0.7016	0.0001	14.7520	20.1590
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	212.7990	0.7016	0.0001	19.0950	24.5030
	ไม้สัก*0.00	-1.2910	0.7016	0.9684	-3.9940	1.4130
	ไม้สัก*0.02	1.8850	0.7016	0.5398	-0.8190	4.5890
	ไม้สัก*0.04	5.0180	0.7016	0.0001	2.3160	7.7230
	ไม้สัก*0.06	9.2610	0.7016	0.0001	6.5570	11.9640
	ไม้สัก*0.08	12.1290	0.7016	0.0001	9.4250	14.8320
	ไม้สัก*0.10	15.1200	0.7016	0.0001	12.4160	17.8230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ค-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการด้านปฏิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มคว้นไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ไผ่*0.04	ไม้ไผ่*0.06	1.1470	0.7016	0.9914	-1.5560	3.8509
	ไม้ไผ่*0.08	3.6470	0.7016	0.0010	0.9430	6.3506
	ไม้ไผ่*0.10	5.9830	0.7016	0.0001	3.2790	8.6863
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-2.8070	0.7016	0.0339	-5.5100	-0.1031
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	1.3730	0.7016	0.9428	-1.3310	4.0763
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	5.8390	0.7016	0.0001	3.1360	8.5429
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	11.1660	0.7016	0.0001	8.4620	13.8696
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	15.9390	0.7016	0.0001	13.2360	18.6429
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	20.2830	0.7016	0.0001	17.5790	22.9866
	ไม้สัก*0.00	-2.8070	0.7016	0.0339	-5.5100	-0.1031
	ไม้สัก*0.02	0.3690	0.7016	1.0000	-2.3350	3.0726
	ไม้สัก*0.04	3.5030	0.7016	0.0018	0.8000	6.2069
	ไม้สัก*0.06	7.7450	0.7016	0.0010	5.0410	10.4483
	ไม้สัก*0.08	10.6130	0.7016	0.0010	7.9090	13.3163
	ไม้สัก*0.10	13.6040	0.7016	0.0010	10.9000	16.3073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการด้านปฏิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ไผ่*0.06	ไม้ไผ่*0.08	2.5000	0.7016	0.1039	-0.2040	5.2030
	ไม้ไผ่*0.10	4.8350	0.7016	0.0001	2.1320	7.5390
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-3.9540	0.7016	0.0003	-6.6580	-1.2500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	0.2250	0.7016	1.0000	-2.4780	2.9290
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	4.6920	0.7016	0.0001	1.9880	7.3960
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	10.0190	0.7016	0.0001	7.3150	12.7220
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	14.7920	0.7016	0.0001	12.0880	17.4960
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	19.1360	0.7016	0.0001	16.4320	21.8390
	ไม้สัก*0.00	-3.9540	0.7016	0.0003	-6.6580	-1.2500
	ไม้สัก*0.02	-0.7780	0.7016	1.0000	-3.4820	1.9250
	ไม้สัก*0.04	2.3560	0.7016	0.1655	-0.3480	5.0600
	ไม้สัก*0.06	6.5970	0.7016	0.0001	3.8940	9.3010
	ไม้สัก*0.08	9.4950	0.7016	0.0001	6.7620	12.1690
	ไม้สัก*0.10	12.4560	0.7016	0.0001	9.7530	15.1600
ไม้ไผ่*0.08	ไม้ไผ่*0.10	2.3360	0.7016	0.1762	-0.3680	5.0390
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-6.4540	0.7016	0.0001	-9.1570	-3.7500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-2.2740	0.7016	0.2115	-4.9780	0.4290
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	2.1920	0.7016	0.2664	-0.5110	4.8960
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	7.5190	0.7016	0.0001	4.8150	10.2230
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	12.2920	0.7016	0.0001	9.5890	14.9960
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	16.6360	0.7016	0.0001	13.9320	19.3400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ค-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควินไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ไม้*0.08	ไม้สัก*0.00	-6.4540	0.7016	0.0001	-9.1570	-3.7500
	ไม้สัก*0.02	-3.2780	0.7016	0.0048	-5.9820	-0.5740
	ไม้สัก*0.04	-0.1440	0.7016	1.0000	-2.8470	2.5600
	ไม้สัก*0.06	4.0980	0.7016	0.0002	1.3940	6.8010
	ไม้สัก*0.08	6.9660	0.7016	0.0001	4.2620	9.6690
	ไม้สัก*0.010	9.9570	0.7016	0.0001	7.2530	12.6600
ไม้ไม้*0.10	ไม้ยูคาลิปตัส*0.00	-8.7890	0.7016	0.0001	-11.4900	-6.0860
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	-4.6100	0.7016	0.0001	-7.3100	-1.9060
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	-0.1430	0.7016	1.0000	-2.8500	2.5600
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	5.1830	0.7016	0.0001	2.4800	7.8870
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	9.9570	0.7016	0.0001	7.2500	12.6600
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	14.3000	0.7016	0.0001	11.6000	17.0040
	ไม้สัก*0.00	-8.7890	0.7016	0.0001	-11.4900	-6.0860
	ไม้สัก*0.02	-5.6140	0.7016	0.0001	-8.3200	-2.9100
	ไม้สัก*0.04	-2.4790	0.7016	0.1112	-5.1800	0.2240
	ไม้สัก*0.06	1.7620	0.7016	0.6627	-0.9400	4.4660
	ไม้สัก*0.08	4.6300	0.7016	0.0001	1.9300	7.3340
	ไม้สัก*0.10	7.6210	0.7016	0.0001	4.9200	10.3250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ยูคาลิปตัส* 0.00	ไม้ยูคาลิปตัส*0.02	4.1793	0.7016	0.0001	1.4760	6.8830
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	8.6460	0.7016	0.0001	5.9420	11.3500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	13.9727	0.7016	0.0001	11.2690	16.6760
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	18.7460	0.7016	0.0001	16.0420	21.4500
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	23.0897	0.7016	0.0001	20.3860	25.7930
	ไม้สัก*0.00	0.0000	0.7016	1.0000	-2.7040	2.7040
	ไม้สัก*0.02	3.1757	0.7016	0.0075	0.4720	5.8790
	ไม้สัก*0.04	6.3100	0.7016	0.0001	3.6060	9.0140
	ไม้สัก*0.06	10.5513	0.7016	0.0001	7.8480	13.2550
	ไม้สัก*0.08	13.4193	0.7016	0.0001	10.7160	16.1230
	ไม้สัก*0.10	16.4103	0.7016	0.0001	13.7070	19.1140
ไม้ยูคาลิปตัส* 0.02	ไม้ยูคาลิปตัส*0.04	4.4670	0.7016	0.0001	1.7630	7.1700
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	9.7930	0.7016	0.0001	7.0900	12.4970
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	14.5670	0.7016	0.0001	11.8630	17.2700
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	18.9100	0.7016	0.0001	16.2070	21.6140
	ไม้สัก*0.00	-4.1790	0.7016	0.0001	-6.8830	-14.7600
	ไม้สัก*0.02	-1.0040	0.7016	0.9985	-3.7070	1.7000
	ไม้สัก*0.04	2.1310	0.7016	0.3134	-0.5730	4.8340
	ไม้สัก*0.06	6.3720	0.7016	0.0001	3.6680	9.0760
	ไม้สัก*0.08	9.2400	0.7016	0.0001	6.5360	11.9440
	ไม้สัก*0.10	12.2310	0.7016	0.0001	9.5270	14.9350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม		Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ไม้ยูคาลิปตัส* 0.04	ไม้ยูคาลิปตัส*0.06	5.3270	0.7016	0.0001	2.6200	8.0300
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	10.1000	0.7016	0.0001	7.4000	12.8040
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	14.4440	0.7016	0.0001	11.7400	17.1470
	ไม้สัก*0.00	-8.6460	0.7016	0.0001	-11.3500	-5.9420
	ไม้สัก*0.02	-5.4700	0.7016	0.0001	-8.1700	-2.7670
	ไม้สัก*0.04	-2.3360	0.7016	0.1760	-5.0400	0.3680
	ไม้สัก*0.06	1.9050	0.7016	0.5195	-0.8000	4.6090
	ไม้สัก*0.08	4.7730	0.7016	0.0001	2.0700	7.4770
	ไม้สัก*0.10	7.7640	0.7016	0.0001	5.0600	10.4680
ไม้ยูคาลิปตัส* 0.06	ไม้ยูคาลิปตัส*0.08	4.7700	0.7016	0.0001	2.0700	7.4800
	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	9.1200	0.7016	0.0001	6.4100	11.8200
	ไม้สัก*0.00	-13.9700	0.7016	0.0001	-16.6800	-11.2700
	ไม้สัก*0.02	-10.8000	0.7016	0.0001	-13.5000	-8.0900
	ไม้สัก*0.04	-7.6600	0.7016	0.0001	-10.3700	-4.9600
	ไม้สัก*0.06	-3.4200	0.7016	0.0026	-6.1200	-0.7200
	ไม้สัก*0.08	-0.5500	0.7016	1.0000	-3.2600	2.1500
	ไม้สัก*0.10	2.4400	0.7016	0.1276	-0.2700	5.1400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้ยูคาลิปตัส* 0.08	ไม้ยูคาลิปตัส*0.10	4.3400	0.7016	0.0001	1.6400	7.0500
	ไม้สัก*0.00	-18.7500	0.7016	0.0001	-21.4500	-16.0400
	ไม้สัก*0.02	-15.5700	0.7016	0.0001	-18.2700	-12.8700
	ไม้สัก*0.04	-12.4400	0.7016	0.0001	-15.1400	-9.7300
	ไม้สัก*0.06	-8.1900	0.7016	0.0001	-10.9000	-5.4900
	ไม้สัก*0.08	-5.3300	0.7016	0.0001	-8.0300	-2.6200
	ไม้สัก*0.10	-2.3400	0.7016	0.1762	-5.0400	0.3700
ไม้ยูคาลิปตัส* 0.10	ไม้สัก*0.00	-23.0900	0.7016	0.0001	-25.7900	-20.3900
	ไม้สัก*0.02	-19.9100	0.7016	0.0001	-22.6200	-17.2100
	ไม้สัก*0.04	-16.7800	0.7016	0.0001	-19.4800	-14.0800
	ไม้สัก*0.06	-12.5400	0.7016	0.0001	-15.2400	-9.8300
	ไม้สัก*0.08	-9.6700	0.7016	0.0001	-12.3700	-6.9700
	ไม้สัก*0.10	-6.6800	0.7016	0.0001	-9.3800	-3.9800
ไม้สัก*0.00	ไม้สัก*0.02	3.1760	0.7016	0.0075	0.4721	5.8790
	ไม้สัก*0.04	6.3100	0.7016	0.0001	3.6064	9.0140
	ไม้สัก*0.06	10.5510	0.7016	0.0001	7.8477	13.2550
	ไม้สัก*0.08	13.4190	0.7016	0.0001	10.7157	16.1230
	ไม้สัก*0.10	16.4100	0.7016	0.0001	13.7067	19.1140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันในตัวอย่างสารสกัดน้ำส้มควันไม้ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Tukey

กลุ่ม	Difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval		
				Interval		
				Lower Bound	Upper Bound	
ไม้สัก*0.02	ไม้สัก*0.04	3.1340	0.7016	0.0089	0.4307	5.8380
	ไม้สัก*0.06	7.3760	0.7016	0.0001	4.6721	10.0790
	ไม้สัก*0.08	10.2440	0.7016	0.0001	7.5401	12.9470
	ไม้สัก*0.10	13.2350	0.7016	0.0001	10.5311	15.9380
ไม้สัก*0.04	ไม้สัก*0.06	4.2410	0.7016	0.0001	1.5380	6.9450
	ไม้สัก*0.08	7.1090	0.7016	0.0001	4.4060	9.8130
	ไม้สัก*0.10	10.1000	0.7016	0.0001	7.3970	12.8040
ไม้สัก*0.06	ไม้สัก*0.08	2.8680	0.7016	0.0266	0.1644	5.5720
	ไม้สัก*0.10	5.8590	0.7016	0.0001	3.1554	8.5630
ไม้สัก*0.08	ไม้สัก*0.10	2.9910	0.7016	0.0162	0.2874	5.6950

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์สมมติฐานด้วยการทดสอบ One - way ANOVA ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่างๆ

กลุ่มน้ำส้มควันไม้	df	SS	MS	F	p
เติมอากาศร่วม	6	0.053	0.009	59.670	0.000
กับถ่านกัมมันต์					
1 เดือน					
2 เดือน					
3 เดือน					
4 เดือน					
5 เดือน					
6 เดือน					
Error	14	0.002	0.000	-	-
Total	20	0.055	-	-	-

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวกที่ ก-8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยูคาลิปตัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey

น้ำส้มควันไม้	difference of means	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์	1 เดือน	0.148	0.010	0.114	0.181
	2 เดือน	0.146	0.010	0.112	0.180
	3 เดือน	0.148	0.010	0.144	0.181
	4 เดือน	0.121	0.010	0.087	0.155
	5 เดือน	0.144	0.010	0.110	0.178
	6 เดือน	0.099	0.010	0.065	0.1328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ค-8 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้มควันไม้ยุคาลิปดัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยทดสอบสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey

น้ำส้มควันไม้		difference	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
		of means			Lower Bound	Upper Bound
1 เดือน	2 เดือน	-0.002	0.010	1.000	-0.035	0.032
	3 เดือน	-0.000	0.010	1.000	-0.034	0.034
	4 เดือน	-0.027	0.010	0.162	-0.061	0.007
	5 เดือน	-0.004	0.010	0.999	-0.037	0.030
	6 เดือน	-0.049	0.010	0.003	-0.083	-0.015
2 เดือน	3 เดือน	0.002	0.010	1.000	-0.032	0.035
	4 เดือน	-0.025	0.010	0.211	-0.059	0.008
	5 เดือน	-0.002	0.010	1.000	-0.036	0.032
	6 เดือน	-0.047	0.010	0.004	-0.081	-0.014
3 เดือน	4 เดือน	-0.027	0.010	0.162	-0.061	0.007
	5 เดือน	-0.004	0.010	0.999	-0.037	0.030
	6 เดือน	-0.049	0.010	0.003	-0.083	-0.015
4 เดือน	5 เดือน	0.023	0.010	0.284	-0.010	0.057
	6 เดือน	-0.022	0.010	0.343	-0.056	0.012
5 เดือน	6 เดือน	-0.045	0.010	0.006	-0.079	-0.012

หมายเหตุ :  $p < 0.05$  คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน  
สำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้ดิบ

### 1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะน้ำส้มควันไม้ดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรม การเกษตร ปศุสัตว์ และครัวเรือน

### 2. บทนิยาม

น้ำส้มควันไม้ดิบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของเหลวใสสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ได้จากการควบแน่นของควันไฟที่เกิดจากการเผาถ่านในช่วงอุณหภูมิเผา 300 องศาเซลเซียสถึง 400 องศาเซลเซียส โดยใช้อุปกรณ์ควบแน่นที่ทำจากสแตนเลสหรือไม้ เพื่อป้องกันการละลายของแคลเซียม เหล็ก หรือสังกะสี นำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอย่างน้อย 45 วัน แล้วนำมากรอง นำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร ปศุสัตว์ อุตสาหกรรม และในครัวเรือน

### 3. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 3.1 ลักษณะทั่วไป ต้องเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้นตกตะกอนมีสิ่งแปลกปลอม หรือมีสารแขวนลอย
- 3.2 กลิ่น ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ
- 3.3 การเปลี่ยน สีต้องไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ
- 3.4 ความเป็นกรด-ด่าง ต้องอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.7
- 3.5 ความถ่วงจำเพาะ ต้องไม่น้อยกว่า 1.005 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- 3.6 การเจือจาง เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจางต้องไม่เป็น เส้นตรง

### 4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุน้ำส้มควันไม้ดิบในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ทึบแสง ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

4.2 ปริมาตรสุทธิของน้ำส้มควันไม้ดิบในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในฉลาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. เครื่องหมายและฉลาก

ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุน้ำส้มควนไม้ดิบทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้อย่างชัดเจน

- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์
- (2) ปริมาตรสุทธิ
- (3) เดือน ปีที่ทำ
- (4) ข้อเสนอแนะในการใช้และการเก็บรักษา
- (5) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน  
ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

## 6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง น้ำส้มควนไม้ดิบที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

6.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น การบรรจุ  
เครื่องหมาย และฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบ  
แล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 3.2 ข้อ 4 และข้อ 5 จึงจะถือว่าน้ำส้มควนไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตาม  
เกณฑ์ที่กำหนด

6.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ความถ่วง-  
จำเพาะ และการเจือจางให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อ  
ทำเป็นตัวอย่างรวม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.4 ถึงข้อ 3.6 จึงจะถือว่าน้ำส้มควนไม้ดิบ  
รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนสี ให้ชักตัวอย่างโดย  
วิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.3 จึง  
จะถือว่าน้ำส้มควนไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

### 6.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำส้มควนไม้ดิบต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 ข้อ 6.2.2 และข้อ 6.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่า  
ว่าน้ำส้มควนไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. การทดสอบ

7.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

7.2 การทดสอบการเปลี่ยนสี ปิดฝาตัวอย่างน้ำส้มคว้นไม้ดิบที่ไม่เคยเปิดฝามาก่อน ตั้งทิ้งไว้ให้

โดนแสงแดดและอากาศไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วตรวจพินิจ

7.3 การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

7.5 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ ให้ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

7.6 การทดสอบการเจือจาง ผลมตัวอย่างน้ำส้มคว้นไม้ดิบกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:100, 1:200, 1:300, 1:400 และ 1:500 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแต่ละอัตราการเจือจาง เขียนกราฟ

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจาง แล้วพิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

7.7 การทดสอบปริมาตรสุทธิ ให้ใช้เครื่องวัดปริมาตรที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพิสมัย รุ่งเรือง
วัน เดือน ปีเกิด	18 ตุลาคม พ.ศ.2526
ที่อยู่	33 หมู่ที่ 7 ตำบลโพนโก อำเภอสนม จังหวัดสุรินทร์ 32160
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ - พ.ศ. 2554 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
กิจกรรมระหว่างการศึกษา	
4 - 6 ตุลาคม 2553	นำเสนอผลงานเรื่อง Antioxidative Activity of Phenolic Compounds in Pyrolygneous Acid from Eucalyptus Wood The 8 <sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ พัทยา จังหวัดชลบุรี
15 -17 ตุลาคม 2552	นำเสนอผลงานเรื่อง Study on Phenolic Contents of Pyrolygneous Acid Produced from Wood Carbonization of Bamboo, Eucalyptus and Teak การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35 (วทท 35) ณ โรงแรมริเวอร์ไทด์ บางแสน จังหวัดชลบุรี
มิถุนายน-สิงหาคม 2549	การสำรวจคุณภาพสิ่งแวดล้อมและแหล่งกำเนิดมลพิษ ในโครงการ “นักรบสิ่งแวดล้อม”
24 - 25 กรกฎาคม 2549	การประชุมเชิงปฏิบัติการ “สถานการณ์และแนวทางการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์” ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้