

การนำน้ำส้มควันไม้จากการเผาถ่านไม้ให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธี
การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรนแบบนาโน

PURIFICATION OF WOOD VINEGAR FROM WOOD CARBONIZATION
USING AERATION-ACTIVATED CARBON COMBINED WITH
NANOFILTRATION MEMBRANE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2008-SC-M-016-116

**PURIFICATION OF WOOD VINEGAR FROM WOOD CARBONIZATION
USING AERATION-ACTIVATED CARBON COMBINED WITH
NANOFILTRATION MEMBRANE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

KMITL-2008-SC-M-016-116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำน้ำส้มควันไม้จากการเผาถ่านไม้ให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรนแบบนาโน

Purification of Wood Vinegar from Wood Carbonization Using Aeration-Activated Carbon Combined with Nanofiltration Membrane

ชื่อนักศึกษา นางสาวนิลุบล นุ่มสกุล

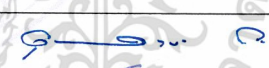




รหัสประจำตัว 48068102

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์	ถาวรชัยสิทธิ์	
ดร.สุวรรณี	จรรยาพูน	
ผศ.ดร.ชลอ	จารุสุทธิรักษ์	
ผศ.พิสมัย	ชัยรัตน์อุทัย	
ดร.เสาวภาค	สุภตระกูลเวศ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 เมษายน 2551 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ห้อง 603

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๘.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.๒๕๕๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำน้ำส้มควันไม้จากการเผาถ่านไม้ให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรนแบบนาโน
นักศึกษา	นางสาวนิลบล นุ่มสกุล
รหัสประจำตัว	48068102
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ไฟแดงให้บริสุทธิ์ โดยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน โดยใช้เมมเบรน ประเภท NF-90 ซึ่งเดินระบบแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ ได้แก่ 1) วิธีการเติมอากาศ 2) วิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และ 3) วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ตอนที่ 2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีในน้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ตอนที่ 3 ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยน้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ผลการทดลองพบว่า วิธีการเติมอากาศอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดน้ำมันดินได้ ในขณะที่วิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดน้ำมันดินได้ เช่นเดียวกับวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินคือ เติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และใช้ถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีที่ 2 และ 3 พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 3.33 ± 0.00 และ 3.22 ± 0.01 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.0059 ± 0.0005 และ 1.0053 ± 0.0002 และค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 2.362 ± 0.001 และ 2.228 ± 0.001 ตามลำดับ องค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้วิเคราะห์โดย GC-MS สารหลักที่พบได้แก่ กรดอะซิติก ฟีนอล 2-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy และกรดโพรพานอิกซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน จากผลการวิเคราะห์โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์สามารถลดปริมาณของเนฟทาลีนและอะซีแนฟริลีนได้ 73.78 เปอร์เซ็นต์ และ 69.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวิธีการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ส่วนน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชันสามารถลดปริมาณของอะซีแนฟทีนได้ 97.01 เปอร์เซ็นต์ และกำจัดแนฟทาลินได้ทั้งหมด จากผลการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม *Pytium* sp. พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้ จะเพิ่มความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม *Pytium* sp. ผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีที่ 2 และ 3 พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้เท่ากับ 55.05 ± 4.46 เปอร์เซ็นต์ และ 50.74 ± 3.46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.74 ± 3.72 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์, การเติมอากาศ, นาโนฟิลเทรชัน, PAHs, น้ำส้มควันไม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Purification of Wood Vinegar from Wood Carbonization using Aeration-Activated Carbon Combined with Nanofiltration Membrane
Student	Miss Nilubon Numsakul
Student ID.	48068102
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2008
Thesis Advisor	Dr. Suwannee Junyapoon
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Chalor Jarusutthirak

ABSTRACT

This research studied purification of wood vinegar produced from bamboo (*Dendrocalamus aspe*) carbonization using aeration-activated carbon combined with membrane filtration. NF-90 membrane was used in the filtration process which was operated in dead-end mode. The experiment was divided into 3 parts. Part I, a study of appropriate methods for wood vinegar purification, including 1) aeration 2) aeration plus activated carbon (air-AC) 3) aeration-activated carbon plus nanofiltration (air-AC plus NF). Part II, an analysis of physical characteristics and chemical compositions of wood vinegar after purification processes. Part III, an investigation fungus growth inhibition by wood vinegar after purification processes. The results showed that only aeration could not remove tar from wood vinegar, while air-AC could remove tar as same as air-AC plus NF. The optimum conditions in tar removal were adsorption on activated carbon 0.5 percent w/v and aeration at air flow rate of 1,000 mL/min for 15 minutes. Analyses of physical characteristics of wood vinegar after purification with air-AC and air-AC plus NF showed that wood vinegar employed pH of 3.33 ± 0.00 and 3.22 ± 0.01 , specific gravity of 1.0059 ± 0.0005 and 1.0053 ± 0.0002 and UV light absorbance of 2.326 ± 0.001 and 2.228 ± 0.001 , respectively. Analyses of chemical compositions using GC-MS indicated that acetic acid phenol and 2-cyclopenten-1-one,2-hydroxy and propanoic acid were main components in wood vinegar. These results were similar to that found in wood vinegar purified by standing for 6 months. It was found that naphthalene and acenaphthylene in wood vinegar purified by air-AC could be reduced about 73.78 and 69.84 percent, respectively, comparing with those purified by standing for 6 months. Whilst 97.01 percent of acenaphthylene and all of naphthalene were removed from wood vinegar purified with air-AC plus NF. Rising of wood vinegar concentration could increase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์หรือขั้นตอนการดำเนินการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

growth inhibition of *Pytium* sp. In the experiment, 1.0 percent by volume wood vinegar, purified by air-AC and air-AC plus NF, could inhibit fungus growth at the level of 55.05 ± 4.46 percent and 50.74 ± 3.46 percent, respectively, which were higher efficiency than that purified by standing for 6 months provided the growth inhibition of 44.74 ± 3.72 percent.

Keywords : activated carbon, aeration, nanofiltration, PAHs, wood vinegar



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2549

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวช อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหาของวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณกิตติ เดิศล้ำ ที่ได้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อเพื่อนำสัมนวนไม้เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ถนิมนันต์ เจนอักษร อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการ ศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อเชื้อราเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราข อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อเมมเบรนนาโนเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์

นางสาวนิลนุบล นุ่มสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูป.....	XVII
สัญลักษณ์และคำย่อ	XIX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำส้มควันไม้.....	4
2.1.1 คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้.....	5
2.1.2 ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้.....	7
2.1.3 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์.....	8
2.2 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	10
2.2.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs.....	11
2.2.1.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ.....	11
2.2.1.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์.....	11
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs.....	11
2.2.3 การรับ PAHs เข้าสู่ร่างกาย.....	12
2.2.4 ความคงตัวและการสลายตัวในสิ่งแวดล้อมของ PAHs.....	12
2.2.4.1 การสลายตัวโดยชีวภาพและการเปลี่ยนแปลงโดยชีวภาพ	12
2.2.4.2 การสลายตัวโดยแสง.....	14
2.2.4.3 การแตกสลายด้วยน้ำ.....	14
2.2.4.4 การดูดซับ.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4.5 การกลายเป็นไอ.....	15
2.2.4.6 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	15
2.2.5 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต.....	15
2.2.5.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม.....	15
2.2.5.2 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ.....	16
2.2.5.3 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนบก.....	16
2.3 กระบวนการกำจัดน้ำมันดิน และ PAHs.....	16
2.3.1 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์.....	16
2.3.1.1 กลไกการดูดซับ.....	20
2.3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	20
2.3.2 กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนนาโน.....	21
2.3.2.1 หลักการกรองผ่านเมมเบรน.....	21
2.3.2.2 ทิศทางการไหลของสารละลายในการเดินระบบเมมเบรน.....	23
2.3.2.3 ความสามารถในการกรองด้วยเมมเบรนนาโน.....	25
2.3.2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของเมมเบรนนาโน.....	25
2.3.2.5 การอุดตันเมมเบรนนาโน.....	25
2.3.3 การประยุกต์ใช้งานเมมเบรนนาโน.....	30
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	34
3.1.1 อุปกรณ์.....	34
3.1.2 สารเคมี.....	35
3.1.3 น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.1.4 เมมเบรนนาโนที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.1.4.1 คุณลักษณะของเมมเบรนนาโน.....	36
3.1.4.2 การเก็บรักษาเมมเบรนนาโน.....	37
3.1.4.3 การทำความสะอาดเมมเบรนนาโน.....	37
3.1.5 การติดตั้งระบบนาโนฟิลเตรชันแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.6 เชื้อรา.....	38
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	38
3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ก่อนทำให้บริสุทธิ์.....	38
3.2.2 ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์.....	39
3.2.2.1 การเติมอากาศ.....	39
3.2.2.2 การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....	39
3.2.2.3 การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน.....	40
3.2.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของน้ำส้มควันไม้ ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	40
3.2.3.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ.....	40
3.2.3.2 ศึกษาสัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้.....	41
3.2.3.3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี.....	42
3.2.3.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	46
3.2.4 ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา.....	47
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	50
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ก่อนทำให้บริสุทธิ์.....	50
4.2 ผลการศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์.....	50
4.2.1 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเติมอากาศ.....	50
4.2.2 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....	52
4.2.3 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วม กับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน.....	56
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบเคมีของน้ำส้มควันไม้ หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	57
4.3.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้ บริสุทธิ์.....	57
4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้.....	59
4.3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

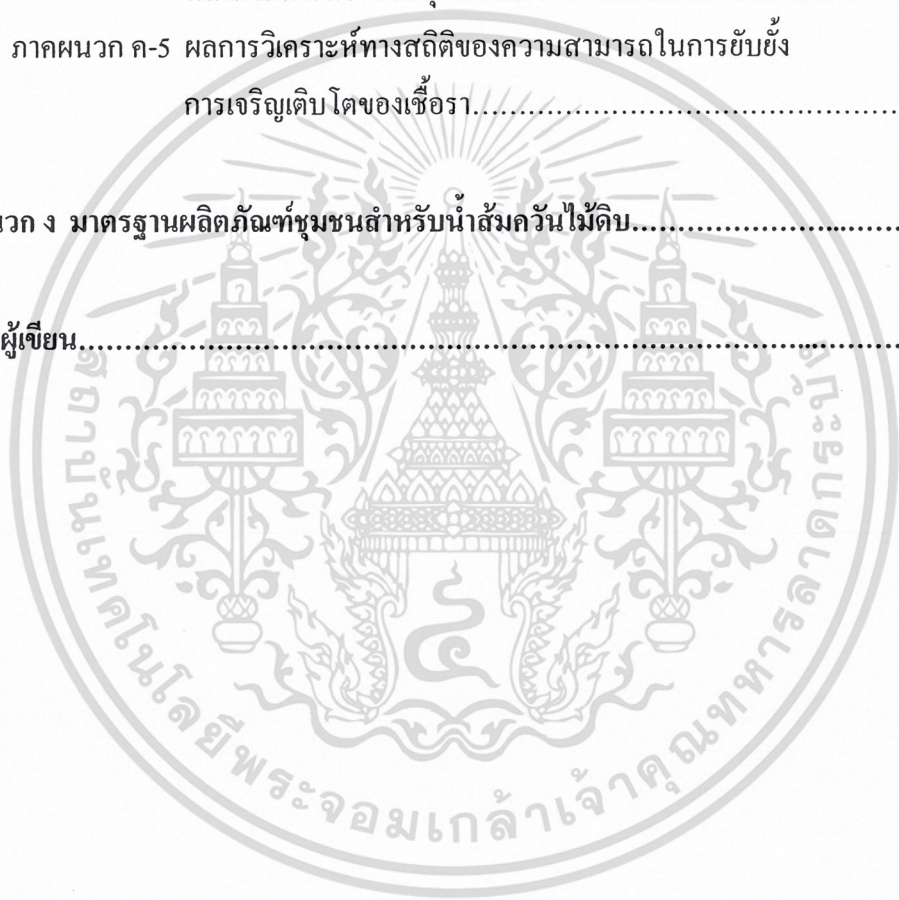
หน้า

4.3.4 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	67
4.4 ผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์....	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	82
ภาคผนวก ก-1 วิธีการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ.....	83
ภาคผนวก ก-2 การเตรียมอาหารแข็ง Potato Dextrose Agar.....	84
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์.....	85
ภาคผนวก ข-1 การหาปริมาณอากาศที่เหมาะสม.....	86
ภาคผนวก ข-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำส้มควันไม้.....	87
ภาคผนวก ข-3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ.....	96
ภาคผนวก ข-4 การวิเคราะห์สัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้.....	97
ภาคผนวก ข-5 คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	101
ภาคผนวก ข-6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้.....	106
ภาคผนวก ข-7 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs.....	112
ภาคผนวก ข-8 ผลการศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp.	116
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	123
ภาคผนวก ค-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณลักษณะทางกายภาพของ น้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	128
ภาคผนวก ค-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนขององค์ประกอบ ในน้ำส้มควันไม้.....	130
ภาคผนวก ค-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารหลักที่พบในน้ำส้มควันไม้ หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	132
ภาคผนวก ค-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการยับยั้ง การเจริญเติบโตของเชื้อรา.....	135
ภาคผนวก ง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ.....	138
ประวัติผู้เขียน.....	142



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ไผ่.....6
2.2	ชื่อเคมี และสูตรโครงสร้างของ PAHs.....10
2.3	คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs.....11
2.4	ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....13
2.5	สมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในท้องตลาด.....18
2.6	สมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของบริษัท Darco.....19
3.1	คุณลักษณะต่างๆ ของเมมเบรนนาโน NF-90 ที่ใช้ในงานวิจัย.....36
3.2	พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....39
3.3	พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....41
3.4	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่อง GC-FID...43
3.5	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่อง GC-MS....44
3.6	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ด้วยเครื่อง GC-FID.....46
4.1	คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่างๆ.....60
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน.....63
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการ เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....64
4.4	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการ เติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน.....65
4.5	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ โดยตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน, การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์, การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน และของสารฆ่าเชื้อราไตรอะดีมีฟอน.....73
ข-1.1	ผลการสอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเติมอากาศ.....86
ข-1.2	ค่า DO ของน้ำส้มควันไม้ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อมีการเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที.....86
ข-2.1	น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-2.2 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	90
ข-2.3 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	93
ข-3.1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	96
ข-3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	96
ข-3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	96
ข-4.1 สัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน.....	97
ข-4.2 สัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วม กับถ่านกัมมันต์.....	98
ข-4.3 สัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ- ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน.....	99
ข-5.1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	101
ข-5.2 ค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ดิบและน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	101
ข-5.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบ.....	102
ข-5.4 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน.....	103
ข-5.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....	104
ข-5.6 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน.....	105
ข-6.1 Relative quantity ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้ บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน.....	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-6.2 Relative quantity ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้ บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....	108
ข-6.3 Relative quantity ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้ บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน.....	110
ข-7.1 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานผสมของ PAHs 16 ชนิด.....	112
ข-7.2 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน.....	114
ข-7.3 ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน.....	114
ข-7.4 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....	114
ข-7.5 ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์.....	114
ข-7.6 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน.....	115
ข-7.7 ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วย การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน.....	115
ข-8.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA (ชุดควบคุม).....	116
ข-8.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	116
ข-8.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับ ถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	117
ข-8.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-8.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	118
ข-8.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	118
ข-8.7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับ ถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	119
ข-8.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	119
ข-8.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	120
ข-8.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	120
ข-8.11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับ ถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	121
ข-8.12 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	121
ข-8.13 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร...	122
ค-1.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 168 ชั่วโมง.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

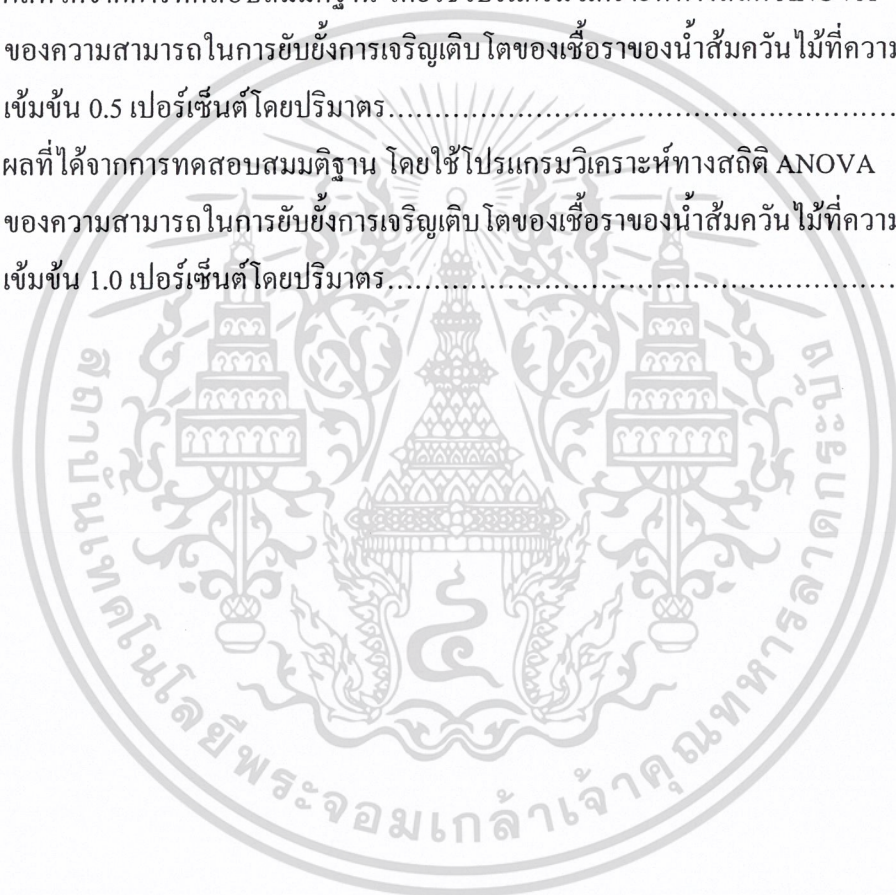
สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-1.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 192 ชั่วโมง.....	125
ค-1.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 216 ชั่วโมง.....	126
ค-1.4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 240 ชั่วโมง.....	127
ค-2.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	128
ค-2.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	129
ค-2.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	129
ค-3.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกลุ่มอะซิฟาดิกไฮโดรคาร์บอนในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	130
ค-3.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	130
ค-3.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	131
ค-4.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกรดอะซิติกในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	132
ค-4.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของฟีนอลในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	132
ค-4.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของ 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one ในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	133
ค-4.4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของ 2-methoxy-phenol (guaiacol) ในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-4.5 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกรดโพรพาโนอิกในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	134
ค-5.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	135
ค-5.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	136
ค-5.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	137



















สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วิธีการจัดเก็บน้ำส้มควันไม้.....5
2.2	ถังที่ใช้จัดเก็บน้ำส้มควันไม้.....9
2.3	ปฏิกิริยาการย่อยสลาย PAHs โดยแบคทีเรีย.....12
2.4	ปฏิกิริยาการย่อยสลาย PAHs โดยเชื้อรา.....14
2.5	กลไกการดูดซับในระยะต่าง ๆ.....20
2.6	กระบวนการออกสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ.....22
2.7	หลักการกรองบนเมมเบรน.....22
2.8	การเดินระบบเมมเบรนแบบไหลขวาง.....24
2.9	การเดินระบบเมมเบรนแบบไหลในทิศตั้งฉากกับเมมเบรน.....24
2.10	การเกิดคอนเซนเตรชัน โพลาริเซชัน.....26
2.11	การเกิดชั้นเจลบนเมมเบรน.....27
2.12	การดูดตันรูพรุนของเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ เทียบกับขนาดตัวถูกละลาย.....28
2.13	มุมสัมผัสระหว่างผิวหน้าของเมมเบรนกับเส้นสัมผัสหยดน้ำ.....29
3.1	การเก็บน้ำส้มควันไม้.....36
3.2	แผนผังการทำงานของระบบเมมเบรนนาโนที่เดินระบบแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน.....38
3.3	แผนผังสรุปของการศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ และคุณลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....45
3.4	แผนผังการศึกษาชนิดและปริมาณสาร PAHs.....47
3.5	แผนผังการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา.....49
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับเวลาในการเติมอากาศ.....51
4.2	น้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (ก) การตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) การเติมอากาศ และตั้งทิ้งไว้ 3 วัน.....51
4.3	ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (■) และการเติมอากาศ (■).....52
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตะกอนของน้ำมันดินที่เกิดที่เวลาต่าง ๆ ในการเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 %, 1.0 % และ 1.5 %.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	สีของน้ำส้มควันไม้หลังจากทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน และการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (ก) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 % (ค) เติมถ่านกัมมันต์ 1.0 % (ง) เติมถ่านกัมมันต์ 1.5 %.....54
4.6	ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ 0.5 % w/v (), 1.0 % w/v (), 1.5 % w/v () และน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ().....55
4.7	น้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (ก) การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (ข) การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับนาโนฟิลเทรชัน.....56
4.8	ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน () และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน ().....57
4.9	สัดส่วนของกลุ่มสารในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ.....59
4.10	โครมาโทแกรมขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่วิเคราะห์ด้วย GC-MS.....61
4.11	Relative quantity ของสารที่พบในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน () การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ () และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ().....66
4.12	โครมาโทแกรมของ PAHs ในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ที่วิเคราะห์ด้วย GC-FID.....67
4.13	ปริมาณเนฟทาลิน และอะซีแนฟลิทีนในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ 3 วิธีการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน () การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ () การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ().....68
4.14	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของเชื้อราบนอาหาร PDA ที่ผสมกับ น้ำส้มควันไม้ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....70
4.15	การเจริญเติบโตของเชื้อรา <i>Pythium</i> sp. ในอาหาร PDA ที่เวลา 48 ชั่วโมง.....72
4.16	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน () การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ () การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน () และสารฆ่าเชื้อราไตรอะดิมีฟอน ().....73
ข-7.1	กราฟมาตรฐานเนฟทาลิน.....113
ข-7.1	กราฟมาตรฐานอะซีแนฟลิทีน.....113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

PAHs	พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
MP	จุดหลอมเหลว
BP	จุดเดือด
SpGr	ความถ่วงจำเพาะ
VP	ความดันไอ
WS	การละลายน้ำ
$\log K_{ow}$	ค่า log ของ n-octanol-water partition coefficient
H	Henry's law constant
NA	ไม่มีข้อมูล
EC ₅₀	ความเข้มข้นของสารเคมีที่สามารถทำให้สิ่งมีชีวิตที่กำลังศึกษาจำนวนครึ่งหนึ่ง แสดงผลอย่างใดอย่างหนึ่งตามต้องการ
LC ₅₀	ความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (50 เปอร์เซ็นต์)
LD ₅₀	ปริมาณ (dose) ของสารเคมีที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (50 เปอร์เซ็นต์)
C_f	ความเข้มข้นของน้ำเข้าระบบ
C_p	ความเข้มข้นของน้ำเพอร์มิเอท
C_r	ความเข้มข้นของน้ำรีเทนเทท
J_v	อัตราการซึมของน้ำผ่านเมมเบรน หรือ Water Flux
L_p	สัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน
ΔP	ความแตกต่างระหว่างแรงดันของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน
$\Delta \pi$	ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกของน้ำที่อยู่คนละด้านกับเมมเบรน
P_f	แรงดันของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ
P_r	แรงดันของน้ำด้านรีเทนเทท
P_p	แรงดันของน้ำด้านเพอร์มิเอท
π_{mem}	แรงดันออสโมติกของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ
π_{perm}	แรงดันออสโมติกของเพอร์มิเอท
CP	Concentration Polarization
C_w	ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

C_b	ความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างจากผิวหน้าเมมเบรนออกไป
GC-MS	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
GC-FID	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์
DO	ปริมาณออกซิเจนละลาย
%w/v	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
%v/v	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร
<i>et al.</i>	และคณะ
ม.ป.ป.	ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์
ม.ป.ท.	ไม่ปรากฏสถานที่พิมพ์
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
mins	นาที
ml/min	มิลลิลิตรต่อนาที
m	เมตร
mm	มิลลิเมตร
μm	ไมโครเมตร
sec	วินาที
ชม.	เซนติเมตร
ชม.	ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำส้มควันไม้เป็นของเหลวสีน้ำตาลใสและมีกลิ่นควันไฟ ได้จากการควบแน่นของควันที่ เกิดจากการเผาถ่านในช่วงที่ไม่กำลังเปลี่ยนเป็นถ่าน (wood carbonization) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านไม้ ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ ฟีนอล แอลกอฮอล์ สารประกอบคาร์บอนิล และสารอื่น ๆ อีกมากกว่า 200 ชนิด ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในด้านการเกษตรและ ปศุสัตว์ เช่น เป็นสารช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช หรือเร่งการงอกของเมล็ดพืช อีกทั้งยังเป็น สารป้องกันรักษาเนื้อไม้ให้คงทนและป้องกันการทำลายจากมอด แมลง รวมถึงเชื้อราที่ก่อให้เกิด โรคพืช และใช้เป็นสารลดกลิ่นและแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ เป็นต้น การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน เช่น ใช้ฉีดพ่นถังขยะเพื่อป้องกันกลิ่นและแมลงวัน ใช้ดับกลิ่นในห้องน้ำ ห้องครัว และบริเวณชั้น และ เป็นต้น การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตอาหารรมควัน อุตสาหกรรม การย้อมผ้า อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เป็นต้น การผลิตน้ำส้มควันไม้ให้มีคุณภาพดี ประกอบด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัย คือ 1) กระบวนการเผาไหม้ไม้เพื่อให้ได้น้ำส้มควันไม้ และ 2) กระบวนการทำให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์ ในกระบวนการเผาไหม้ไม้ให้เป็นถ่าน ขณะที่อุณหภูมิ ในเตาอยู่ระหว่าง 300-400 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิปากปล่องอยู่ระหว่าง 80-150 องศาเซลเซียส สารประกอบต่าง ๆ ในไม้จะสลายตัวด้วยความร้อนภายใต้สภาวะไร้อากาศ (pyrolysis) เกิดเป็น สารประกอบใหม่มากมาย ได้แก่ กรดอะซิติก สารประกอบฟีนอล และแอลกอฮอล์ต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม น้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากเตาเผาถ่านโดยตรง ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นถ่านไม้ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตา ดังนั้น ควันที่ออกมาจากปล่องจึงมี สารประกอบผสมระหว่างสารประกอบที่สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำและสูง เมื่ออุณหภูมิภายในเตาสูงถึง 300 องศาเซลเซียส สารลิกนิน (lignin) ในไม้ จะเริ่มสลายเป็นน้ำมันดิน (tar) และสารระเหยง่าย (volatile compounds) ปนออกมา นอกจากนี้ น้ำมันดินจะสลายตัวเป็นสารโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ dibenzofuran, 3,4 benzopyrene และ benzo[a]pyrene เป็นต้น ถึงแม้ว่าสาร PAHs นี้สามารถกำจัดได้ง่ายโดยการกลั่นซ้ำที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส แต่การกลั่นซ้ำจะทำให้สูญเสียสารประกอบบางชนิดที่มีประโยชน์ โดยทั่วไป สารประกอบในน้ำส้มควันไม้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นน้ำมันดิน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำ น้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ กระบวนการทำให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์ที่นิยมใช้ โดยทั่วไป สามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ 1) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 2) การกรอง และ 3) การกลั่น (จิระพงษ์, 2550) อย่างไรก็ตาม การปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอนต้องใช้ระยะเวลา 6 เดือน เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องรอให้ปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่การกรองและการกลั่นจะต้องทำหลังจากปล่อยให้ตกตะกอนแล้วเท่านั้น โดยการกรองด้วยผงถ่านกัมมันต์ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้แตกต่างไปจากเดิม เพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้

การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ในปัจจุบัน นิยมใช้วิธีการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเพื่อกำจัดน้ำมันดิน ซึ่งวิธีนี้ต้องใช้เวลานานประมาณ 6 เดือน ดังนั้น การลดระยะเวลาในการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์และมีคุณภาพดี จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้ให้หลากหลายยิ่งขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรน เพื่อลดระยะเวลาในการเกิดน้ำมันดิน และสามารถกำจัดสารปนเปื้อนต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันดิน และ PAHs เพื่อเพิ่มคุณภาพของน้ำส้มควันไม้ ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตน้ำส้มควันไม้ เพื่อส่งเสริมให้มีการพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์
- 1.2.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ โดยการกำจัดน้ำมันดินและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ไผ่ตง (*Dendrocalamus aspe*) โดยใช้เตาอิฐขนาด 1.5 ลูกบาศก์เมตร รวมทั้งศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

1.3.1 วิธีการเติมอากาศ โดยเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที วัดค่าออกซิเจนละลาย (DO) ทุกๆ 15 นาที จนกระทั่งค่า DO มีค่าคงที่

1.3.2 วิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยใช้สภาวะเติมอากาศที่ได้จากข้อ 1.3.1 ร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์ที่ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

1.3.3 วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน โดยใช้สภาวะเติมอากาศที่ได้จากข้อ 1.3.1 และปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก ข้อ 1.3.2 ร่วมกับการกรองโดยใช้ระบบนาโนฟิลเทรชันที่ความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถลดระยะเวลาในการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์
- 1.4.2 สามารถลดและกำจัด PAHs ที่ปนเปื้อนในน้ำส้มควันไม้
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ไปสู่ระดับอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

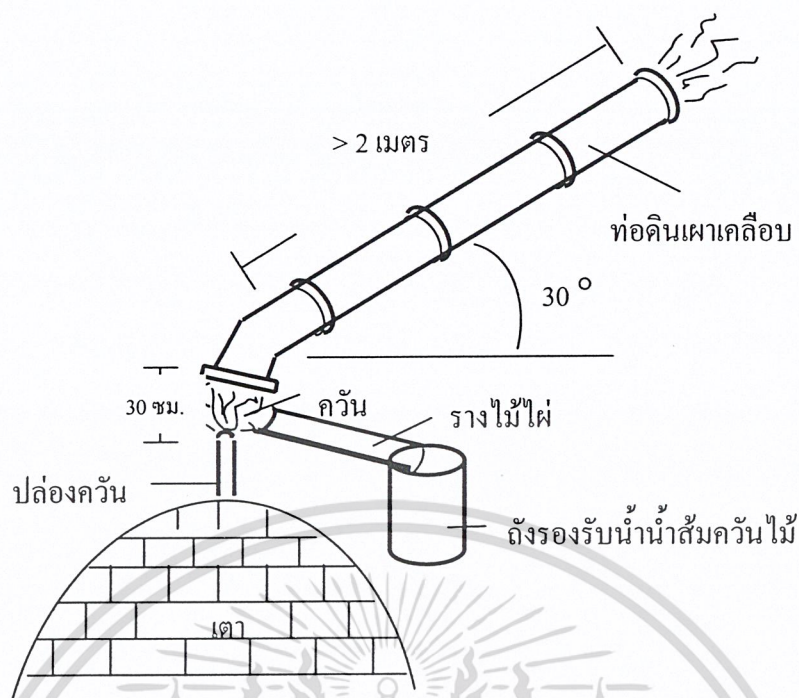
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำส้มควันไม้ (Pyrolysis liquid หรือ Wood vinegar)

น้ำส้มควันไม้เป็นของเหลวสีน้ำตาลใส มีกลิ่นควันไฟ ได้มาจากการควบแน่นควันที่เกิดจากการผลิตถ่านไม้ในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่าน (carbonization) อุณหภูมิในเตาอยู่ระหว่าง 300–400 องศาเซลเซียส (จูไรวัลย์, ม.ป.ป.) สารประกอบต่าง ๆ ในไม้พินจะถูกสลายตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ ถ้าเก็บควันในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) จะสลายตัวแล้ว และเซลลูโลส (cellulose) กำลังเริ่มสลายตัว แต่ก็จะมีสารประกอบที่มีประโยชน์น้อยมากไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าเก็บควันในช่วงอุณหภูมิเกิน 425 องศาเซลเซียส น้ำมันดินจะสลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ benzopyrene และ dibenzanthracene เป็นต้น แม้ว่าสารดังกล่าวสามารถกำจัดออกได้ง่ายเมื่อนำมากลั่นซ้ำที่อุณหภูมิ 60–70 องศาเซลเซียส แต่การกลั่นซ้ำจะทำให้สูญเสียสารประกอบบางอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร (จิระพงษ์, 2550 และ สือเกษตร, 2548)

สมาคมน้ำส้มควันไม้แห่งประเทศไทยซึ่งเป็นคนกลางในการซื้อขายน้ำส้มควันไม้ได้ตั้งเกณฑ์มาตรฐานของการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากเตาอิวาเตะ (iwate) โดยการวัดอุณหภูมิที่ปากปล่องควันระหว่าง 80–150 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ระหว่าง 300–400 องศาเซลเซียส น้ำส้มควันไม้สามารถเก็บได้โดยอาศัยเครื่องมือง่าย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิสูง สู่อากาศรอบปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความชื้นในควันก็จะควบแน่นเป็นหยดน้ำ นำมารวบรวม และทำให้บริสุทธิ์ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ดักน้ำส้มควันไม้ต้องทำจากวัสดุทนกรด เช่น เหล็กไร้สนิม (stainless steel) ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้น หากต้องการเก็บน้ำส้มควันไม้จากเตาผลิตถ่านที่มีปล่องควันหลายจุดก็ต้องลงทุนสูงกว่าเตาผลิตถ่านที่มีปล่องควันจุดเดียว เช่น เตาอิวาเตะ ผลผลิตของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเก็บโดยการระบายความร้อนด้วยอากาศ จะได้ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไม้พิน เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์จะเหลือผลผลิตเพียงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ หากต้องการเพิ่มผลผลิตของน้ำส้มควันไม้ สามารถทำได้โดยการนำท่อหล่อเย็นติดตั้งในปล่องดักควันจะทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อาจเพิ่มได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ (ชมรมสวนป่า, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ ยังได้รับความร้อนจากสารที่ใช้หล่อเย็นซึ่งอาจใช้น้ำหรืออากาศ ทำให้ได้น้ำร้อนหรืออากาศร้อนมาใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้



รูปที่ 2.1 วิธีการจัดเก็บน้ำส้มควันไม้ (ชมรมสวนป่า, ม.ป.ป.)

2.1.1 คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ มากกว่า 200 ชนิด ซึ่งได้จากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อนเกิดเป็นสารประกอบใหม่หลายชนิด เช่น กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ สารประกอบฟีนอล สารประกอบคาร์บอนิล สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และน้ำมันดิน (tar) เป็นต้น (Pimenta *et al.*, 1998) ซึ่งน้ำมันดินจะเกิดขึ้นภายหลังจากเก็บน้ำส้มควันไม้ในที่มืดเป็นระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารประกอบของน้ำส้มควันไม้ และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไลเซชัน (polymerization) เปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลยาวขึ้น

สัดส่วนขององค์ประกอบหลักในน้ำส้มควันไม้ ประกอบด้วย น้ำ ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ กรดอินทรีย์ ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดอินทรีย์หลักที่พบ ได้แก่ กรดอะซิติก (Jun *et al.*, 2004) นอกจากนี้ ยังมีสารอินทรีย์อื่น ๆ อีก ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด (pH) อยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.7 ความถ่วงจำเพาะ ต้องไม่น้อยกว่า 1.005 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำส้มควันไม้ของ Yasuhara และ Sugiura (1987) พบว่าในน้ำส้มควันไม้ประกอบด้วยสารอินทรีย์กลุ่มคาร์บอกซิลิก และสารประกอบฟีนอลถึง 69 ชนิด องค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ไม้ไผ่ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ไผ่ (Jun *et al.*, 2006)

สารประกอบ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)
1. Acetic acid	40.04
2. Propanoic acid	1.51
3. Butanoic acid	0.33
4. 3,5-Dimethoxy-4-hydroxyphenylacetic acid	0.54
Total (acidic components)	42.42
5. Phenol	4.10
6. 2-Methyl-phenol	1.03
7. 2-Methoxy-phenol (guaiacol)	5.02
8. 2-Ethyl-phenol	0.15
9. 2,5-Dimethyl-phenol	0.45
10. 4-Ethyl-phenol	2.06
11. 4-Methyl-2-methoxy-phenol	1.44
12. 1,2-Benzenediol	0.77
13. 3-Methoxy-1,2-benzenediol	1.08
14. 4-Ethyl-2-methoxy-phenol	0.85
15. 2,6-Dimethoxy-phenol	5.99
16. 4-Propyl-2-methoxy-phenol	0.28
Total (phenolic components)	23.22
17. 1-Hydroxy-2-butanone	0.24
18. Cyclopentanone	0.06
19. 2- Cyclopenten-1-one	0.05
20. Fural	1.66
21. 1-Hydroxy-3-methyl-2-butanone	0.10
22. Betyrolactone	0.05
23. 2-Methyl-2-cyclopenten-1-one	0.76
24. 3,4- Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	0.03
25. 2,3- Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	0.02
26. 5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	0.57
27. 1,2,4-Trimethoxybenzene	1.08
28. 5-Methyl-1,2,3-trimethoxybenzene	0.54
Total (neutral components)	5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้ (ชมรมสวนป่า, ม.ป.ป.)

น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ มากมาย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย

ดังนี้

- 1) ใช้ในอุตสาหกรรม
 - ใช้ผลิตสารดับกลิ่นตัว
 - ใช้ผลิตสารปรับผิวนุ่ม ทั้งใช้โดยตรงทางผิวหนัง หรือผสมน้ำอาบ
 - ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารรมควัน
 - ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมผ้า
 - ใช้ผลิตยารักษาโรคผิวหนัง
 - ใช้ผลิตสารช่วยย่อย (probiotics)
- 2) ใช้ในครัวเรือน
 - ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้รักษาแผลสด แผลถูกน้ำร้อนและไฟลวก รักษาโรค น้ำกัดเท้าและเชื้อราที่ผิวหนัง โดยในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้น้ำส้มควันไม้ในการ รักษาโรคหิด โรคผิวหนังอักเสบทั้งแบบฉับพลันและเรื้อรัง รวมถึงโรคผิวหนังอื่น ๆ อย่างกว้างขวาง (Kimura *et al.*, 2002) จากการศึกษาของยอดธง และคณะ (2549) พบว่าน้ำส้มควันไม้ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดเชื้อราบนยางแผ่นดิบได้
 - ผสมน้ำ 10 เท่า ราดทำลายปลวกและมด และใช้ในการป้องกันเนื้อไม้ไม่ให้ถูกทำลาย ด้วยปลวก จากการศึกษาของ Yatagai และคณะ (2002) พบว่า เมื่อเจือจางน้ำส้มควันไม้ 10 เท่า จะทำให้ปลวกตายได้ภายใน 3 วัน
 - ผสมน้ำ 50 เท่า ป้องกันสัตว์ต่าง ๆ เช่น ตะขาบ แมลงป่อง กิ้งกือ เป็นต้น
 - ผสมน้ำ 100 เท่า ราดโคนต้นไม้รักษาโรครา และโรคเน่า รวมทั้งป้องกันแมลงไม่ให้วางไข่ ฉีดพ่นถังขยะเพื่อป้องกันกลิ่นและแมลงวัน ใช้ดับกลิ่นในห้องน้ำ ครัว และบริเวณชั้นและ ใช้ดับกลิ่นกรงสัตว์เลี้ยง ใช้หมักขยะสดและเศษอาหาร เป็นปุ๋ย สำหรับไม้ประดับรอบบ้าน โดยต้องผสมน้ำอีก 5 เท่าหลังจากหมักแล้ว 1 เดือน
- 3) ใช้ในการเกษตร
 - ผสมน้ำ 20 เท่า พ่นลงบนดิน เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน เช่น โรคเน่าจากแบคทีเรีย โรคเน่าจากเชื้อรา เป็นต้น (Kartal *et al.*, 2004)
 - ผสมน้ำ 50 เท่า พ่นลงบนดิน เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เข้าทำลายพืชแล้ว หากใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ รากพืชอาจได้รับอันตรายได้
 - ผสมน้ำ 200 เท่า ฉีดพ่นที่ใบพืช รวมทั้งพื้นดินรอบต้นพืชทุก ๆ 7-15 วัน เพื่อไล่แมลง ป้องกันและกำจัดเชื้อรา และกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผสมน้ำ 500 เท่า ฉีดพ่นผลอ่อน เพื่อช่วยขยายให้ผลโตขึ้น หลังจากติดผลแล้ว 15 วัน และฉีดพ่นอีกครั้งหลังเก็บเกี่ยว 20 วัน เพื่อเพิ่มน้ำตาลในผลไม้ โดย Jun และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาผลของน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักจำพวกกะหล่ำปลี พบว่าน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ผสมน้ำ 500 เท่า ทำให้ผลผลิตกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้น 18.8–20.2 % และสามารถใช้เป็นสารช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชหรือเร่งการงอกของเมล็ดพืชได้ (Yoshimura *et al.*, 1995)
 - ผสมน้ำ 1,000 เท่า ใช้เป็นสารจับใบ ช่วยลดการใช้สารเคมี
- 4) ใช้ในปศุสัตว์
- ใช้ลดกลิ่นและแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ และยับยั้งการฟักไข่ของแมลงในมูลสัตว์
 - ใช้ผสมอาหารสัตว์ เพื่อช่วยการย่อยอาหาร ป้องกันโรคท้องเสีย ยับยั้งการเกิดก๊าซและดูดซึมโลหะหนักในกระเพาะอาหาร ช่วยปรับปรุงคุณภาพของไข่ และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนม เป็นต้น

2.1.3 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

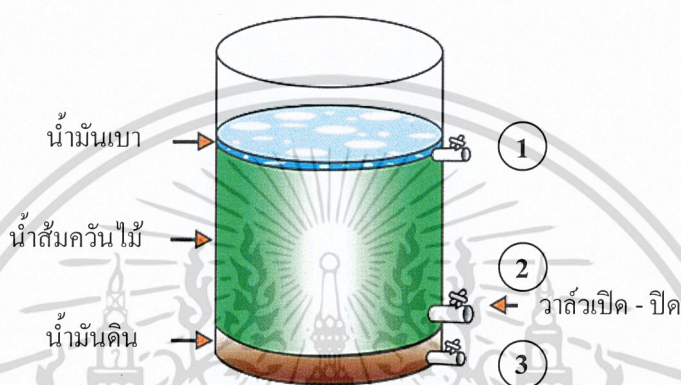
น้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากเตาผลิตถ่าน ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นถ่านไม้ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตา แต่จะเริ่มก่อนที่หน้าเตาด้านบน แล้วแผ่กระจายมายังหลังเตาด้านล่าง ดังนั้น ควันที่ออกมาจากปล่องควันจึงเป็นควันที่ผสมกันระหว่างควันอุณหภูมิต่ำและสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 310 องศาเซลเซียส ลิกนิน (lignin) จะเริ่มสลายตัว จะทำให้มีน้ำมันดิน (tar) และสารระเหยง่าย เช่น PAHs ปนออกมาด้วย (dos Santos Barbosa *et al.*, 2006) ซึ่งการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1) ปล่อยให้ตกตะกอน โดยนำน้ำส้มควันไม้มาเก็บในถังทรงสูงที่มีความสูงมากกว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า ปล่อยให้ตกตะกอนประมาณ 6 เดือน (Akakabe *et al.*, 2006) น้ำส้มควันไม้จะตกตะกอน แบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมันใส (light oil) ชั้นกลางเป็นชั้นของเหลวสีน้ำตาล เรียกว่า น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) และชั้นล่างสุดจะเป็นของเหลวข้นสีดำ เรียกว่า น้ำมันดิน หากนำผงด่านมาผสมประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผงด่านก็จะดูดซับทั้งน้ำมันใสและน้ำมันดินให้ตกตะกอนลงสู่ชั้นล่างสุดในเวลาเร็วขึ้น ใช้เวลาประมาณ 45 วันเท่านั้น (จิระพงษ์, 2550)

ระหว่างการปล่อยให้ตกตะกอน สารประกอบในน้ำส้มควันไม้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) เปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลยาวขึ้น เช่น พอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับฟีนอล เปลี่ยนเป็นน้ำมันดินแล้วตกตะกอนหรือจับตัวติดแน่นกับผนังของถังเก็บ ดังนั้น หากนำน้ำส้มควันไม้มากรองโดยไม่ตกตะกอนเสียก่อนก็จะเกิดน้ำมันดินใหม่ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงเก็บควรมีวาล์ว 3 ระดับ คือ (1) ระดับบน มีไว้สำหรับแยกน้ำมันใส (2) ระดับกลาง มีไว้สำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้ และ (3) ระดับล่าง สำหรับถ่ายน้ำมันดิน แต่ถ้าใช้ถ่านช่วยตกตะกอนมีเพียงระดับกลางก็พอ เมื่อแยกน้ำส้มควันไม้เสร็จแล้วต้องยกถังเพื่อเทผงถ่านผสมน้ำมันดินออก เพราะผงถ่านผสมน้ำมันดินไม่สามารถไหลผ่านวาล์วได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ผงถ่านผสมน้ำมันดินสามารถนำไปใช้โรยรอบอาคารเพื่อป้องกันสัตว์ต่าง ๆ เช่น ปลวก มด ตะขาบ เป็นต้น และจะสลายตัวได้เองภายในเวลาไม่นาน แต่ห้ามทิ้งลงในแหล่งน้ำ



รูปที่ 2.2 ถังที่ใช้จัดเก็บน้ำส้มควันไม้

หลังจากตกตะกอนจนครบกำหนดแล้ว นำน้ำส้มควันไม้มากรองซ้ำอีกครั้งด้วยผ้ากรองแล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ น้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ต้องมีน้ำมันดินไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่าย โดยดูความใส หากมีน้ำมันดินเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำส้มควันไม้จะขุ่นและมีสีดำ น้ำส้มควันไม้ที่ดีจะมีลักษณะใส สีชา หรือน้ำตาลแดง แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้

2) การกรอง ใช้ผ้ากรอง หรือถังกรองที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะได้คุณสมบัติแตกต่างกันไป เพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ และจะใช้วิธีนี้เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม

3) การกลั่น กลั่นได้ทั้งในความดันบรรยากาศ และกลั่นแบบลดความดัน รวมทั้งกลั่นแบบลำดับส่วน โดยใช้อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส (Watanabe และ Imamura, 2007) เพื่อแยกเฉพาะสารหนึ่งสารใดในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา

อย่างไรก็ตาม ทั้งการกรองและการกลั่น ต้องทำหลังจากตกตะกอนก่อนเท่านั้น เนื่องจากต้องรอให้ปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อน

2.2 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)

PAHs เป็นกลุ่มสารเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติก (aromatic rings) ตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกัน ลักษณะการเชื่อมต่อกันคือ วงอะโรมาติก 2 วงที่อยู่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ PAHs ประกอบด้วยสารที่มีสูตรโครงสร้างหลักแตกต่างกัน 35 ชนิด และแต่ละสูตรโครงสร้างหลักประกอบด้วยอนุพันธ์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชื่อเคมี และสูตรโครงสร้างของ PAHs (Lee *et al.*, 1981)

ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	สูตรโครงสร้าง	ลำดับ	ชื่อสารประกอบ	สูตรโครงสร้าง
1	Pentalene		19	Chrysene	
2	Indene		20	Naphthacene	
3	Naphthalene		21	Pleiadene	
4	Azulene		22	Picene	
5	Heptalene		23	Perylene	
6	Biphenylene		24	Pentaphene	
7	as-Indecene		25	Pentacene	
8	s-Indecane		26	Tetraphenylene	
9	Acenaphthylene		27	Hexaphene	
10	Fluorene		28	Hexacene	
11	Phenylene		29	Rubicene	
12	Phenanthrene		30	Coronene	
13	Anthracene		31	Trinaphthylene	
14	Fluoranthene		32	Heptaphene	
15	Acephenanthrylene		33	Heptacene	
16	Aceanthrylene		34	Pyranthrene	
17	Triphenylene		35	Ovalene	
18	Pyrene				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs สามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ

2.2.1.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน คาร์บอนจากภูเขาไฟ เป็นต้น

2.2.1.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ การกระทำของมนุษย์ที่ก่อให้เกิด PAHs ที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ชนิดไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล และชีวมวล (biomass) และการหุงต้มอาหาร เป็นต้น (Richter และ Howard, 2000)

น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านไม้สามารถพบ PAHs ได้ ถ้าเก็บควันในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้จะอยู่ชั้นล่างสุดที่เป็นของเหลวชั้นสีดำ ซึ่งเป็นชั้นของน้ำมันดินที่มีสาร PAHs ปนอยู่ (dos Santos Barbosa *et al.*, 2006) โดย PAHs ที่พบ ได้แก่ 3,4 benzopyrene, benz[a]anthracene เป็นต้น (Kimura *et al.*, 2002)

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

ชื่อสาร	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความดันไอ (มิลลิเมตร ปรอท)	การละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	log K _{ow}	Henry's law constant*
indene	-35	182	0.997	NA	NA	2.92	NA
naphthalene	80.2	217.9	NA	1	31.5	3.25	4.83x10 ⁻⁴
acenaphthylene	80-83	280	0.899	NA	3.93	4.07	1.14x10 ⁻⁴
acenaphthene	95	279	1.189	NA	3.93	3.2	1.46x10 ⁻⁴
fluorene	116	293	1.202	0.013	1.9	4.18	9.62x10 ⁻⁵
phenanthrene	100	340	1.179	6.8x10 ⁻⁴	1.49	4.63	4.83x10 ⁻⁴
anthracene	218	342	1.25	1.96x10 ⁻¹	0.073	4.63	7.56x10 ⁻⁴
fluoranthene	107	250	NA	6x10 ⁻⁶	0.240	5.22	NA
pyrene	156	404	1.271	6.85x10 ⁻⁷	0.175	5.22	NA
triphenylene	199	425	NA	NA	0.038	NA	NA
benz[a]anthracene	158	155-157	437	5x10 ⁻⁹	0.011	5.9	NA
chrysene	254	448	1.274	6.3x10 ⁻⁷	0.0015	5.91	NA
naphthacene	80-82	217.7	NA	0.03	0.0015	NA	NA
perylene	273 -274	503	1.35	NA	0.0004	5.3	NA
benzo[a]pyrene	179	495	NA	5x10 ⁻⁷	0.0038	6.5	3.35x10 ⁻⁷
dibenz[a,h]anthracene	266	524	NA	1x10 ⁻¹⁰	0.0005	6.50	NA
coronene	440	525	NA	NA	0.00014	5.4	NA

หมายเหตุ : logK_{ow} = ค่า log ของ n-octanol-water partition coefficient; NA = ไม่มีข้อมูล

*Henry's law constant (บรรยากาศ x ลูกบาศก์เมตรต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การรับ PAHs เข้าสู่ร่างกาย

การรับ PAHs เข้าสู่ร่างกายมี 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) โดยการหายใจ (Inhalation)
- 2) โดยการดูดซึมทางผิวหนัง (Absorption through skin)
- 3) โดยการกิน (Ingestion)

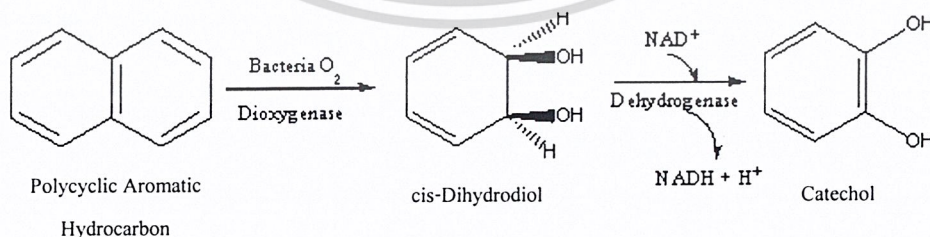
2.2.4 ความคงตัวและการสลายตัวในสิ่งแวดล้อมของ PAHs (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

PAHs มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดแตกต่างกัน และสามารถสลายตัวได้ในสิ่งแวดล้อม โดยการสลายตัวของ PAHs ในอากาศส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงกับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl) อัลคอกซิล (alkoxy) และเพอรอกซิล (peroxy) ยกเว้น anthracene, benz[a]anthracene และ fluoranthene จะเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำ (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543) ตัวอย่าง ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs จำนวน 13 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.4

2.2.4.1 การสลายตัวโดยชีวภาพและการเปลี่ยนรูปโดยชีวภาพ (Biodegradation and biotransformation)

ในสิ่งแวดล้อมทั้งแบคทีเรียและเชื้อราสามารถย่อยสลาย PAHs ได้ ดังนี้

1) ใช้แบคทีเรียย่อยสลาย ได้เป็น cis-dihydrodiol โดยเอนไซม์ dioxygenase แล้ว cis-dihydrodiol จึงถูกย่อยสลายต่อไปได้เป็น catechol โดยเอนไซม์ dehydrogenase ปฏิกิริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซิลทั้งสองให้กับ PAHs ถือเป็นปฏิกิริยาขั้นต้นของการเปิดวงอะโรมาติก ปฏิกิริยานี้ยังถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ การเปิดวงอะโรมาติก เกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ วิธี meta (meta pathway) และ วิธี ortho (ortho pathway) (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



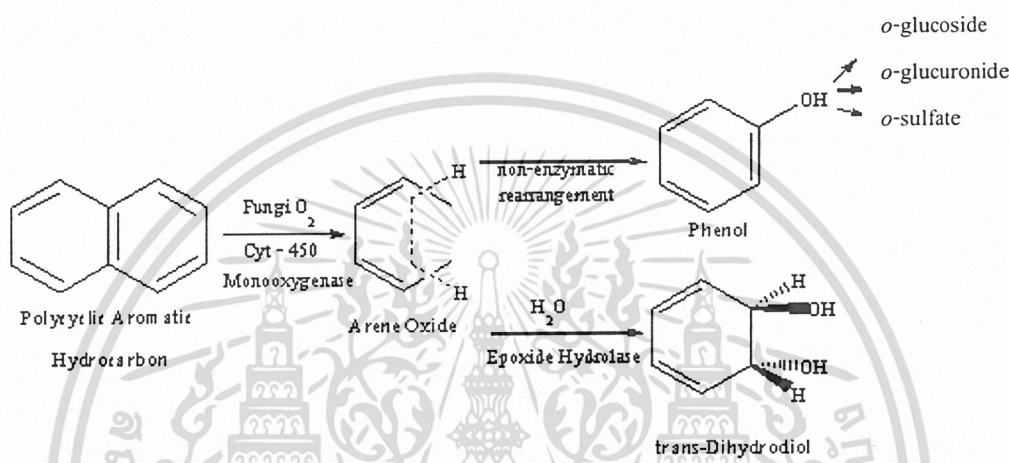
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการย่อยสลาย PAHs โดยแบคทีเรีย (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

ตารางที่ 2.4 ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

PAHs	ค่าครึ่งชีวิต (ชั่วโมง)			
	อากาศ	น้ำผิวดิน	น้ำใต้ดิน	ดิน
Acenaphthene	0.879 – 8.79	3 – 300 (12.5วัน)	590 – 4,896 (24.6 – 204 วัน)	295 – 2,448 (12.3 – 102 วัน)
Acenaphthylene	0.191 – 1.27	1.020 – 1,440 (42.5 – 60 วัน)	2,040 – 2,880 (85 – 120 วัน)	1.020 – 1,440 (42.5 – 60 วัน)
Anthracene	0.58 – 1.7	0.58 – 1.7	2,400 – 22,080 (100วัน–1.26 ปี)	1,200 – 11,040 (50 วัน–1.26ปี)
Benz[a]anthracene	1 – 3	1 – 3	4,896 – 32,640 (204 วัน–3.73ปี)	2,448 – 16,320 (102 วัน–1.8ปี)
Benzo[b]fluoranthene	1.43 – 14.3	8.7 – 720 (30)	17,280 – 29,280 (1.97 – 3.34 ปี)	8,640 – 14,640 (360วัน – 1.6ปี)
Benzo[k]fluoranthene	NA	3.8 – 499 (20.8 วัน)	42,680 – 102,720 (4.99 – 11.7 ปี)	21,840 – 51,360 (2.49 – 5.86 ปี)
Benzo[a]pyrene	0.37 – 1.1	0.37 – 1.1	2,736 – 25,440 (114วัน– 2.90ปี)	1,368 – 12,720 (57 วัน– 1.45ปี)
Chrysene	0.802 – 8.02	4.4 – 13	17,808 – 48,000 (2.04 – 5.48 ปี)	8,904 – 24,000 (1.02 – 2.72 ปี)
Dibenz[a,h]anthracene	0.428 – 4.28	6 – 782 (32.6)	17,328 – 45,120 (1.98 – 5.15 ปี)	8,664 – 22,560 (361วัน – 2.5ปี)
Fluoranthene	2.02 – 20.2	21 – 63 (2.6)	6,720 – 21,120 (280 วัน– 2.4ปี)	3,360 – 10,560 (140 – 440 วัน)
Fluorene	6.81 – 68.1	768 – 1,440 (32 – 60 วัน)	1,536 – 2,880 (64 – 120 วัน)	768 – 1,440 (32 – 60 วัน)
Naphthalene	2.96 – 29.6	12 – 480 (20 วัน)	24 – 6,192 (258 วัน)	398 – 1,152 (16.6 – 48 วัน)
Phenanthrene	2.01 – 20.1	3 – 25	768 – 9,600 (32 วัน – 1.10ปี)	384 – 4,800 (16 – 200 วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ใช้เชื้อราย่อยสลาย PAHs ถูกคะตะไลซ์ด้วยเอนไซม์ไซโตโครม พี-450 (cytochrome P-450) เปลี่ยนเป็นอีพ็อกไซด์ (epoxide) หรือ แอรินออกไซด์ (arene oxide) แล้วจึงถูกคะตะไลซ์ด้วยเอนไซม์ epoxide hydrolase ได้ trans-dihydrodiol ผลของปฏิกิริยานี้ตรงข้ามกับปฏิกิริยาที่ได้จากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียซึ่งได้ cis-dihydrodiol อีพ็อกไซด์ที่เกิดอาจจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์ ได้เป็นสารประกอบฟีนอลแล้วจึงกำจัดออกจากเซลล์ของเชื้อรา ในรูปของ *o*-glucoside, *o*-glucuronide หรือ *o*-sulfate (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการย่อยสลาย PAHs โดยเชื้อรา (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

2.2.4.2 การสลายตัวโดยแสง (Photo degradation)

ข้อมูลการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ในอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอย (fly ash) ผงถ่าน (carbon black) มีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้จะเป็น PAHs ชนิดเดียวกันก็ตามคือ มีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จนถึงประมาณ 1,000 ชั่วโมง

ค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลจะประกอบด้วยวงอะโรมาติกกี่วงก็ตามขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเถ้าลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นผิว และสี ซึ่งมีความสำคัญมาก เถ้าลอยยังมีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมาก นั่นคือสลายตัวได้ช้า เนื่องจากเถ้าลอยที่มีสีเข้มดูดกลืนแสงได้ดี ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้น้อย ในขณะที่เถ้าลอยที่มีสีจางจะมีค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ยิ่งน้อย นั่นคือสลายตัวได้เร็ว เนื่องจากเถ้าลอยที่มีสีจางดูดกลืนแสงได้น้อย ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้มาก

2.2.4.3 การแตกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis)

PAHs ไม่มีหมู่ฟังก์ชัน จึงไม่เกิดปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.4 การดูดซับ (Sorption)

PAHs เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สามารถรวมตัวกับดินได้เป็นอย่างดี ซึ่งแสดงได้โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับโดยดิน (soil adsorption coefficient; K_{oc}) naphthalene เป็น PAHs ที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างดีคือ ประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงสามารถรวมตัวกับดินได้น้อยกว่า PAHs อื่น ๆ คือ มีค่า K_{oc} เท่ากับ 400 สำหรับดินที่มีค่าสารอินทรีย์ของคาร์บอนร้อยละ 1.2 ในขณะที่ phenanthrene ซึ่งละลายน้ำได้ประมาณ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า K_{oc} เท่ากับ 5,800 สำหรับดินที่มีค่าอินทรีย์ของคาร์บอนร้อยละ 1.2 เท่ากัน โดยทั่วไป $\log K_{oc}$ ของ PAHs มีค่าอยู่ในช่วง 2.6-7.4 (Bjorseth และ Becher, 1986)

2.2.4.5 การกลายเป็นไอ (Evaporation)

PAHs เกือบทุกสารระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง ยกตัวอย่างเช่น benzo[g,h]perylene มีความดันไอเพียง 1×10^{-10} มิลลิเมตรปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส naphthalene มีความดันไอ 1 มิลลิเมตรปรอท ที่ 53 องศาเซลเซียส และระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง (Bjorseth และ Becher, 1986)

2.2.4.6 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ PAHs ในน้ำกับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเป็นปฏิกิริยาแบบ second-order คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นกับผลคูณของความเข้มข้นของ PAHs และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล อัตราเร็วของปฏิกิริยาของ PAHs มีค่าประมาณ 1×10^{10} โมลาร์⁻¹วินาที⁻¹ ซึ่งถือว่าสูงมาก หมายความว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและทันที ดังนั้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการสลายตัวของ PAHs

2.2.5 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

2.2.5.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammalian toxicity)

PAHs มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำในสัตว์ทดลอง การได้รับ PAHs ในระยะเวลาสั้นมักไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกายอย่างเด่นชัดหรือรุนแรง ความเป็นพิษของ PAHs ที่สำคัญมีดังนี้

Anthracene มีฤทธิ์ในการกระตุ้นร่างกายมนุษย์ให้มีความไวต่อแสงมากขึ้น โดยทำให้เกิดอาการผิดปกติของผิวหนัง ได้แก่ แสบร้อน คัน มีอาการระคายเคืองของเยื่อตาและหลอดลม

Naphthalene ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (haemolytic anemia) และต้อกระจก (cataract) ความผิดปกติทั้ง 2 ชนิดสามารถเกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเซลล์ตับ

Benz[a]anthracene เป็นสารก่อมะเร็งในร่างกายมนุษย์

2.2.5.2 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic toxicity)

PAHs บางสารมีความเป็นพิษสูงในสัตว์น้ำหลายสปีชีส์ ได้แก่ กุ้ง mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*) และหอยสองฝา (*Mulinia laterlis*) เป็นต้น โดยก่อให้เกิดความผิดปกติภายในเซลล์ ทำให้การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ผิดปกติ และทำให้สัตว์ตายได้ในที่สุด โดยความเป็นพิษจะสูงขึ้นเมื่อมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวกระตุ้น ได้แก่ fluoranthene, pyreneanthracene และ anthracene

2.2.5.3 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนบก (Terrestrial toxicity)

พืช Anthracene สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดแตงกวา และเมล็ดข้าวโอ๊ต มีค่า EC_{50} เท่ากับ 720 และ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเมล็ดพืช ตามลำดับ (Mitchell *et al.*, 1988)

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง Acenaphthene เป็น PAHs ที่มีความเป็นพิษมากต่อไส้เดือนดิน (earthworm, *Eisenia fetida*) โดยการศึกษาบนกระดวยกรอง มีค่า LC_{50} เท่ากับ 49 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร fluorene มีความเป็นพิษปานกลางต่อไส้เดือนดิน มีค่า LC_{50} 171 – 173 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่ fluoranthene และ naphthalene ถือได้ว่าไม่มีความเป็นพิษต่อไส้เดือนดิน มีค่า LC_{50} 2,160 และ 4,670 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (Neuhauser *et al.*, 1985)

สัตว์มีกระดูกสันหลัง Benzo[k]fluoranthene, Dibenz[a,h]anthracene และ Benz[a]anthracene เป็น PAHs ที่มีความเป็นพิษสูงมากต่อตัวอ่อนของไก่ที่ยังอยู่ในไข่ (chick embryo) มีค่า LD_{50} ที่ 72 ชั่วโมง เท่ากับ 79, 14 และ 39 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักไข่ ตามลำดับ ส่วน acenaphthene, anthracene, fluoranthene และ phenanthrene มีพิษต่อนกค้ำปีกแดง (red – winged blackbird) คือ มีค่า LD_{50} มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Schafer *et al.*, 1983)

2.3 กระบวนการกำจัดน้ำมันดิน และ PAHs

2.3.1 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (ราตรี, 2543)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นคาร์บอนอสัณฐานชนิดหนึ่ง ถ่านที่ผ่านกระบวนการทางเคมีหรือกายภาพเพื่อทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้าง วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตเป็นอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เช่น ไม้ ขี้เลื่อย ถ่านหิน กะลามะพร้าว กระจุก ชานอ้อย กากเมล็ดกาแฟ ถ่านกัมมันต์ต่างจากถ่านชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีความพรุนมากกว่า ทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น สามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมดา

ถ่านกัมมันต์ แบ่งตามลักษณะรูปร่าง ได้ 2 ชนิด คือ ชนิดผงละเอียด มีขนาดเล็กกว่า U.S. sieve เบอร์ 50 (297 ไมครอน) ซึ่งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชนิดเม็ดหรือเกล็ด มีขนาดใหญ่กว่า U.S. sieve เบอร์ 50 (297 ไมครอน) (Slejkoj, 1985) ซึ่งจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.5 และ 2.6 ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม ดังนี้

1. ชนิดที่เป็นผงละเอียด นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลวได้แก่

- อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น (Mudoga *et al.*, 2008)
- อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสีและทำให้มีรสชาติดีขึ้น
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสีและดูดกลิ่น
- อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้น
- อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา

2. ชนิดที่เป็นเม็ดหรือเกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น

- อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
- อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันโดยทั่วไปและในทางการแพทย์ เพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสารพิษ
- อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้ว และนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำ ๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น
- อุตสาหกรรมการผลิตบุหรีบบางยี่ห้อ เพื่อกรองก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และน้ำมันดิน (tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง

ตารางที่ 2.5 สมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในท้องตลาด (Cheremisinoff และ Morresi, 1987)

Properties	ICI America Hydrodacco	Calgon Filtrisorb 300 (8x30)	Westvaco Nucbar W-L (8x30)	Witco (12x30)
Physical Properties				
Surface Area (m ² /cm)	600-650	950-1050	1000	1050
Density (g/cc)	0.43	0.48	0.48	0.48
Density, Backwashed and Drained (ib/ft ³)	22	26	26	30
Real Density (g/cc)	2.0	2.1	2.1	2.1
Particle Density (g/cc)	1.4-1.5	1.3-1.4	1.4	0.92
Effective Size (mm)	0.8-0.9	0.8-0.9	0.85-1.05	0.87
Uniformity Coefficient	1.7	≤ 1.9	≤ 1.8	1.44
Pore Volume (cc/g)	0.95	0.85	0.85	0.50
Mean Particle Diameter (mm)	1.6	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2
Specifications				
Sieve Size (U.S. standard series)				
Larger than No. 8 (max.%)	8	8	8	b
Larger than No. 12 (max.%)	b	b	b	5
Smaller than No. 30 (max.%)	5	5	5	5
Smaller than No. 40 (max.%)	b	b	b	b
Iodine No.	650	900	950	100
Abrasion No. minimum	c	70	70	85
Ash (%)	c	8	7.5	0.5
Moisture as packed (max.%)	c	2	2	1

^aOther size of carbon are available on request from the manufacturers.

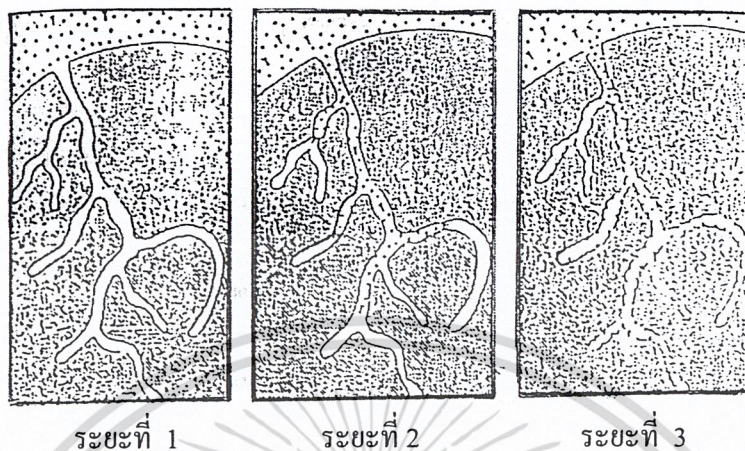
^bNot applicable to this size carbon.

^cNo available data from the manufacturer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการดูดซับในระยะต่างๆ (ราตรี, 2543)

ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 เกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวตัวดูดซับซึ่งอาจเกิดการดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี หรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน

2.3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Factors affecting adsorptions)

1. ธรรมชาติของตัวดูดซับ (Nature of the adsorbent)

1) พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน (Surface area and pore structure) พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง

2) ขนาดของตัวดูดซับ (Adsorbent size) ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

2. ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ (Nature of the adsorbate)

1) ความสามารถในการละลาย เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะติดผิวของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการถูกดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมักจะสามารถเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ดี อย่างไรก็ตาม ถ้ากล่าวข้างต้นไม่เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก

2) น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น สารอินทรีย์ถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เพราะการละลายน้ำลดลง

3) ความมีขั้วของโมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อการมีสภาพขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

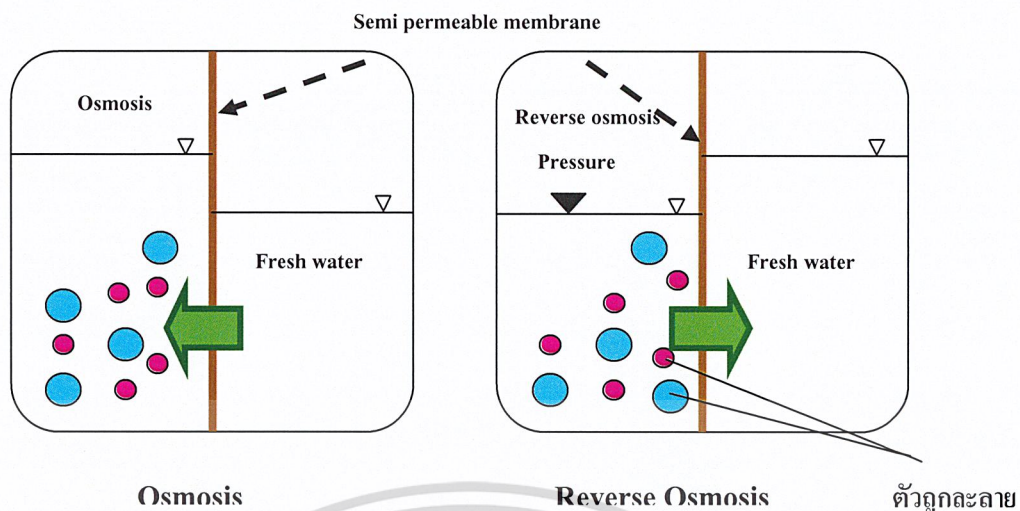
3. ผลของอุณหภูมิ (Effect of Temperature)

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

2.3.2 กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนนาโน (Nanofiltration Process)

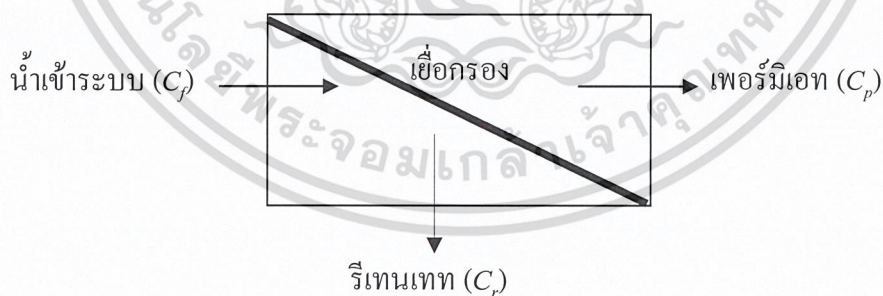
2.3.2.1 หลักการกรองผ่านเมมเบรน

โดยปกติตัวทำละลายด้านที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายน้อยกว่าจะแพร่ไปด้านที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายมากกว่า นั่นคือ น้ำด้านที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายน้อยจะแพร่ซึมผ่านเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) ไปอีกด้านที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายมากกว่าเพื่อทำให้เกิดความสมดุล เรียกว่า กระบวนการออสโมซิส (Osmosis) และเกิดแรงดันออสโมติกเกิดขึ้น เมื่อป้อนแรงดันที่เอาชนะแรงดันออสโมติก ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่สวนทางกันกับกระบวนการออสโมซิส และสามารถกักกันสารที่มีความเข้มข้นมากกว่าเพื่อแยกน้ำออกมา เรียกว่า กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) ซึ่งเป็นหลักการของการกรองผ่านเมมเบรน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการออสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ

ถ้านำเมมเบรนมาขวางทิศทางการไหล ทำให้เกิดการแพร่ซึมผ่านรูพรุนของเมมเบรน ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันตามชนิดของเมมเบรน ถ้าใช้เมมเบรนออสโมซิสผันกลับจะยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายผ่านได้เท่านั้น และสามารถกักกันโมเลกุลของเกลือ น้ำตาล สารอินทรีย์ โปรตีนของแข็งแขวนลอย และองค์ประกอบอื่น ๆ ได้ ซึ่งอนุภาคหรือมวลสารขนาดเล็กที่ผ่านเมมเบรนไม่ได้ จะถูกกักไว้บนผิวของเมมเบรนโดยการดูดซับ (Adsorption) ทำให้แรงดันในระบบสูงกว่าแรงดันออสโมติกพร้อมกับแรงดันที่เอาชนะแรงเสียดทานของการดูดซับ



รูปที่ 2.7 หลักการกรองบนเมมเบรน

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าน้ำที่เข้าระบบจะมีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูง (C_f) เมื่อผ่านเมมเบรนและออกจากระบบแล้ว จะมีค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายลดต่ำมาก หรือเรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพอร์มิเอท (C_p) ส่วนสุดท้ายคือส่วนที่อยู่บริเวณผิวหน้าเมมเบรนซึ่งมีความเข้มข้นสูงมาก เรียกว่า รีเทนเทท (C_r)

อัตราการซึมของน้ำผ่านเมมเบรนของ Londaie ศึกษาการทำงานของระบบออสโมซิส ผันกลับ อธิบายว่าตัวถูกละลายและตัวทำละลาย (น้ำ) ต่างก็ละลายเข้าไปในเมมเบรนและเกิดการแพร่โดยผลต่างของความดันคร่อมเมมเบรนเป็นแรงขับเคลื่อน (หรือเกิดจากอันตรกิริยาบางอย่าง เช่น การดูดซับ) และแพร่ผ่านเมมเบรนต่างกัน ทำให้เกิดการแยกของตัวถูกละลายและน้ำออกจากกัน การที่ตัวถูกละลายถูกกักกันโดยเมมเบรน แสดงว่าตัวถูกละลายสามารถละลายในเมมเบรนได้จำกัด สมการที่ใช้คำนวณค่าฟลักซ์ (รัตนนา, 2543) แสดงดังสมการที่ 2.1

$$J_v = L_p (\Delta P - \Delta \pi) \quad (2.1)$$

เมื่อ J_v คือ อัตราการซึมของน้ำผ่านเมมเบรน หรือ Water Flux ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)
 L_p คือ สัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot kPa^{-1}$)
 ΔP คือ ความแตกต่างระหว่างแรงดันน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน (kPa) (สมการ 2.2)
 $\Delta \pi$ คือ ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกของน้ำที่อยู่คนละด้านกับเมมเบรน (kPa) (สมการ 2.3)

$$\Delta P = \frac{(P_f - P_r)}{2} - P_p \quad (2.2)$$

เมื่อ P_f คือ แรงดันของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ (kPa)
 P_r คือ แรงดันของน้ำด้านรีเทนเทท (kPa)
 P_p คือ แรงดันของน้ำด้านเพอร์มิเอท (kPa)

$$\Delta \pi = \pi_{membrane} - \pi_{perm} \quad (2.3)$$

$\pi_{membrane}$ คือ แรงดันออสโมติกของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ (kPa)
 π_{perm} คือ แรงดันออสโมติกของเพอร์มิเอท (kPa)

2.3.2.2 ทิศทางการไหลของสารละลายในการเดินระบบเมมเบรน

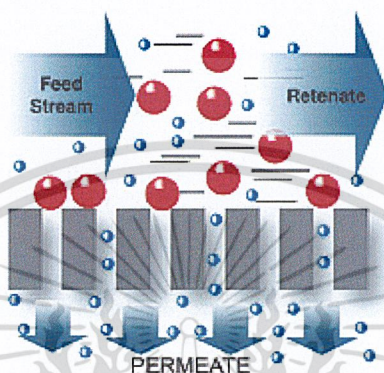
ในการเดินระบบเมมเบรน การป้อนสารละลายเข้าระบบเมมเบรนสามารถทำได้ 2 แบบ

คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การไหลขวาง (Cross flow / Tangential flow)

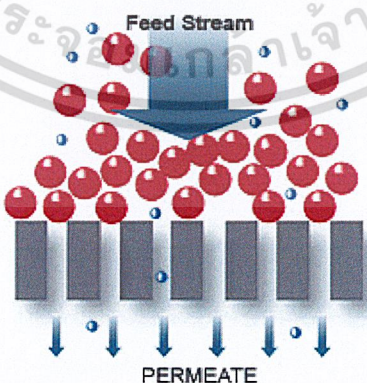
เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่สารป้อนขนานกับพื้นผิวของเมมเบรน ทำให้ทิศทางการไหลของเพอร์มิเอตและสารป้อนตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน เนื่องจากมีข้อดี คือ ช่วยลดการสะสมของโมเลกุลที่ผิวหน้าหรือลดการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน อย่างไรก็ตามการเดินระบบแบบไหลขวางต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูง



รูปที่ 2.8 การเดินระบบเมมเบรนแบบไหลขวาง (<http://www.spectrapor.com/filtration/Edge.html>)

2. การไหลในทิศตั้งฉากกับเมมเบรน (Dead-end flow)

เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่สารป้อนตั้งฉากกับพื้นผิวของเมมเบรน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 มีข้อดี คือ การเดินระบบทำได้ง่าย และได้ปริมาณเพอร์มิเอตมาก แต่รูปแบบนี้มีข้อเสีย คือ จะทำให้มีการสะสมของสารที่บริเวณพื้นผิวของเมมเบรนได้ง่าย ทำให้ฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ระบบนี้เหมาะสำหรับการกรองสารที่มีความเข้มข้นต่ำ



รูปที่ 2.9 การเดินระบบเมมเบรนแบบไหลในทิศตั้งฉากกับเมมเบรน

(<http://www.spectrapor.com/filtration/Edge.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 ความสามารถในการกรองด้วยเมมเบรนนาโน (ขันทอง, 2545)

กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนแบบนาโนเป็นกระบวนการแยกที่ใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการถ่ายโอนมวลสาร ซึ่งสารป้อนและเพอร์มิเอทที่ได้เป็นของเหลว ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 3-10 บาร์ หรือ 500-1,400 กิโลปาสกาล หรือ 50-200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Kilduff *et al.*, 2004) กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนแบบนาโนคล้ายกับกระบวนการออสโมซิสผกกลับ แต่แตกต่างกันที่ความสามารถในการแยกไอออนวาเลนซ์หนึ่ง (monovalent ions) เช่น คลอไรด์ เมมเบรนแบบนาโนมีความสามารถในการกักกันเพียง 50-90 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ในขณะที่ออสโมซิสผกกลับกักกันได้ถึง 98-99 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยเมมเบรนแบบนาโนจะยอมให้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 200 ดาลตันผ่านไปได้ จึงยอมให้สารจำพวกน้ำ ไอออนวาเลนซ์หนึ่ง และสารอินทรีย์โมเลกุลต่ำ เช่น เมทานอลผ่านได้ แต่กักกันสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 ดาลตันขึ้นไป เช่น แกลืออนินทรีย์บางตัวที่เป็นไอออนวาเลนซ์สอง (divalent ion) น้ำตาล กลูโคส ซูโครส กรดอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำทิ้ง (ขันทอง, 2545)

2.3.2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของเมมเบรนนาโน

1. กลไกการคัดแยกโดยใช้น้ำขนาด (Size Exclusion)

ระบบเมมเบรนนาโนสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้โดยใช้ความแตกต่างของขนาดโมเลกุล โดยโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรนนาโนจะถูกแยกออกจากน้ำ เนื่องจากไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนนาโนได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรนนาโนสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนนาโนออกไปได้ แต่โมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรนนาโนจะสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนนาโนได้เล็กน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของโมเลกุล

2. กลไกการคัดแยกโดยใช้น้ำความแตกต่างของประจุ (Charge Interaction)

เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของเมมเบรนนาโนจะมีประจุที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตแต่ละชนิด ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุที่บริเวณผิวหน้าของเมมเบรนกับไอออนในสารละลายที่มีประจุชนิดเดียวกัน ทำให้ไอออนนั้นไม่สามารถผ่านรูของเมมเบรนออกไปได้ โดยขนาดของแรงผลักรขึ้นอยู่กับวาเลนซ์ของไอออนนั้น ๆ โดยไอออนที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกผลักรออกไปได้ไกลกว่า ไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ๆ ทำให้ไอออนที่มีวาเลนซ์สูงผ่านรูของเมมเบรนออกไปได้น้อยกว่า ในขณะที่ไอออนของสารละลายที่มีประจุตรงข้ามกับประจุที่ผิวเมมเบรนจะสามารถผ่านรูพรุนของเมมเบรนออกไปได้

2.3.2.5 การอุดตันของเมมเบรนนาโน

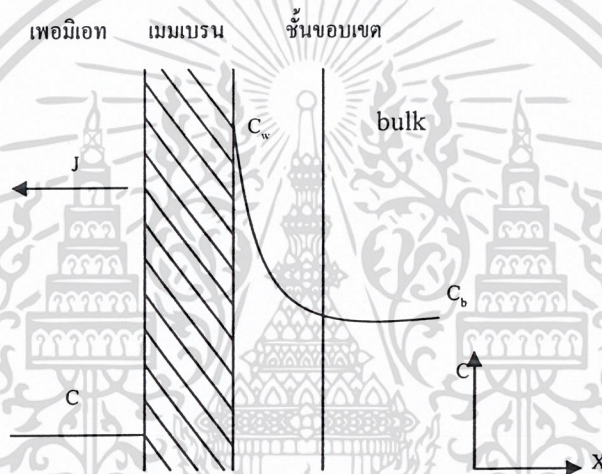
การอุดตันของเมมเบรนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกรองเป็นอย่างมาก จากการศึกษา ของ Kweon และ Lawler (2004) พบว่าการอุดตันที่เกิดขึ้นในระบบนาโนฟิลเตรชัน โดย

ส่วนใหญ่เกิดจากสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งหากเกิดการอุดตันแล้วจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกรองบนเมมเบรน จะทำให้ฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรนมีค่าลดลง (Flux decline)

1. ลักษณะการเกิดการอุดตันบนเมมเบรน (จันทอง, 2545)

1) ปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (Concentration Polarization, CP)

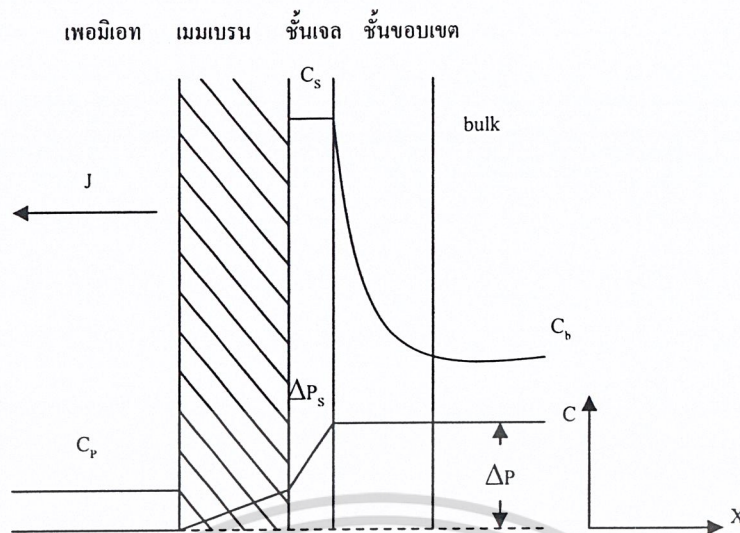
เป็นปรากฏการณ์ที่พบทั่วไปบนเมมเบรน คือ การสะสมอนุภาคและ/หรือโมเลกุลของตัวถูกละลายที่บริเวณผิวของเมมเบรนภายในชั้น Boundary Layer ซึ่งเป็นชั้นที่ใกล้ผิวหน้าของเมมเบรน โดย CP จะเกิดในสารละลายไปสิ้นสุดที่ผิวหน้าเมมเบรน ซึ่งในชั้นนี้จะเป็นอิสระและขาดจากการไหลผ่านเมมเบรน ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเมมเบรน (C_w) นี้จะมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไป (C_b) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (รัตนา, 2543)

2) การเกิดชั้นเจล (Gel layer)

เป็นชั้นของโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ที่สะสมอยู่ในบริเวณผิวหน้าของเมมเบรน พบมากในกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนอัลตรา เมื่อความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวหน้าเมมเบรนสูงขึ้น อาจถึงขีดจำกัดของการละลายที่สามารถละลายได้ (C_g = Gel concentration) ของสารตัวนั้น ๆ ซึ่งตัวถูกละลายอาจมีลักษณะคล้ายกับเจลที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ความต้านทานการไหลนั้นสูงขึ้นมากกว่าเดิม อัตราการไหลของสารละลายจะมีค่าลดลงจากค่าเดิม และยังทำให้ค่า Recovery ของเมมเบรนเปลี่ยนแปลงด้วย การเกิดชั้นเจลสามารถทำให้ค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นได้โดยการเปลี่ยนสถานะการทำงานหรือการล้างน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเกิดชั้นเจลบนเมมเบรน (รัตน, 2543)

3) การเกิดชั้นเค้ก (Cake formation)

เป็นกลไกที่มีความใกล้เคียงกันในการเกิดของชั้นเจล แต่มีความแตกต่างกันระหว่างชั้นเค้กและชั้นเจลอยู่ที่ชั้นเค้กเป็นการสะสมเป็นชั้นของอนุภาคของสารหรือสารแขวนลอย แต่ชั้นเจลเป็นการสะสมของสาร โมเลกุลใหญ่ ถ้าในสารละลายมีอนุภาคที่มีขนาดเล็กและใหญ่ปนกันอยู่ อนุภาคขนาดเล็กจะถูกสะสมในรูพรุนของเมมเบรนจนแน่น จากนั้นจะเกิดการสะสมตัวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ตามมา แล้วเกิดเป็นชั้นเค้กที่บริเวณผิวหน้าของเมมเบรน เมื่อวัดความหนาแล้วชั้นเจลจะมีความหนาในระดับไมครอน แต่ชั้นเค้กจะมีความหนาเป็นมิลลิเมตร

4) การอุดตันรูพรุน (Pore blockage)

การอุดตันรูพรุนของเมมเบรน จะแสดงลักษณะการเกิดการอุดตันของแผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับตัวถูกละลาย แสดงดังแสดงในรูปที่ 2.12

(1) ถ้าเมมเบรนมีขนาดของรูพรุนที่แน่นและมีขนาดเล็กกว่าตัวถูกละลาย ทำให้เกิดการอุดตันที่บริเวณผิวหน้าของเมมเบรน

(2) ถ้าเมมเบรนมีขนาดของรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลายเล็กน้อย ทำให้เกิดการอุดตันในรูพรุนก่อน ต่อจากนั้นจะเริ่มสะสมที่บริเวณผิวหน้าของเมมเบรน ส่วนมากจะมีการอุดตันบนผิวหน้าเมมเบรนเป็นส่วนใหญ่

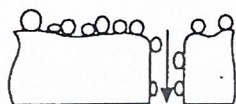
(3) ถ้าเมมเบรนมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลายมาก ๆ จะทำให้เกิดการอุดตันภายในรูพรุนก่อน จากนั้นจะเกิดการสะสมตัวบริเวณผิวหน้าเมมเบรน



(1) เมมเบรนมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าตัวถูกละลาย



(2) เมมเบรนมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลาย



(3) เมมเบรนมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลายมาก ๆ

รูปที่ 2.12 การอุดตันรูพรุนของเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ เทียบกับขนาดตัวถูกละลาย
(รัตนา, 2543)

2. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการอุดตันบนเมมเบรน

สิ่งที่มีผลก่อให้เกิดการอุดตันบนเมมเบรนและทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงมีหลายปัจจัย ซึ่งปัจจัยเริ่มต้นมาจากคุณภาพของสารละลายที่นำมาผ่านเมมเบรน ลักษณะของเมมเบรน ความดัน ความเข้มข้นของสารละลาย ความแรงของประจุ (ionic strength) ค่าพีเอชและอุณหภูมิของสารละลาย ขนาดน้ำหนักรวมของสาร ลักษณะการกรองผ่านเมมเบรน เป็นต้น (Cai, 1999)

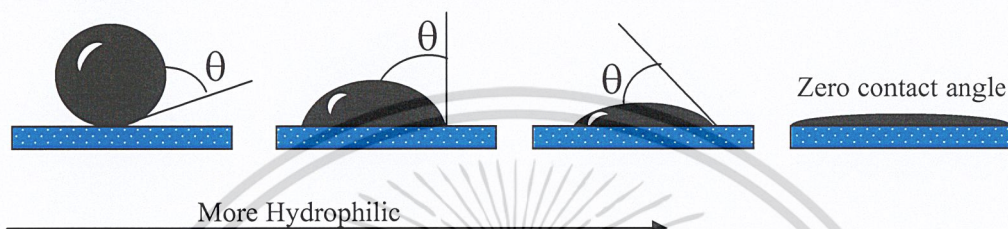
1) รูพรุน ขนาดของรูพรุน หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดความกว้างของรูพรุน ดังนั้น เมมเบรนแบบไมโครจัดว่ามีรูพรุนขนาดใหญ่ และสำหรับเมมเบรนแบบอัลตราเป็นรูพรุนขนาดกลาง ถ้าขนาดของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร นิยมเรียกว่า เมมเบรนแบบแน่น มากกว่าที่จะเรียกว่ามีรูพรุนขนาดเล็ก

2) ประจุหรือความมีขั้วของเมมเบรน จากการที่อัตราการใช้และค่า Recovery ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างเมมเบรนและตัวถูกละลาย ดังนั้น ต้องเลือกเมมเบรนให้เหมาะสมกับตัวถูกละลายที่ต้องการจะแยก เช่น เซลลูโลสอะซิเตดและพอลิเอไมด์จะแสดงความเป็นขั้วลบเล็กน้อย ในขณะที่พอลิเมอร์อื่น ๆ อาจจะมีคุณสมบัติที่เป็นกลาง สำหรับเมมเบรนแบบนาโนส่วนใหญ่จะเป็นเยื่อเชิงประกอบซึ่งบริเวณผิวหน้าผลิตมาจากพอลิเมอร์ได้หลายชนิด โดยส่วนใหญ่จะมีประจุที่บริเวณผิวหน้าเป็นลบ ดังนั้น จึงมีค่า Recovery สูง

3) ความดัน สารละลายที่ประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สามารถเกิดชั้นเจลได้ที่ความเข้มข้นสูง จะมีผลต่อความดันของฟลักซ์ คือ ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นตามความดันในช่วงแรกหรือก่อนเกิดเจล ในช่วงเกิดชั้นเจล แรงดันที่เพิ่มขึ้นทำให้ชั้นเจลอัดแน่น ฟลักซ์จึงไม่เพิ่มขึ้นแต่มิแนวโน้มคงที่ ส่วนของการกักกันจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นเจล ส่วนระบบที่ความเข้มข้นต่ำและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวถูกละลายไม่สามารถเกิดขึ้นเจลได้ การเพิ่มความดันทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มมักจะช้าลงในช่วงความดันสูงขึ้น เนื่องจากผลของ CP

4) ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ (Hydrophilicity and Hydrophobicity) เมมเบรนที่มีสมบัติชอบน้ำจะให้มุมสัมผัส (Contact angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของเมมเบรนกับเส้นสัมผัสหยดน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา โดยค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่า แสดงว่าสามารถทำให้เมมเบรนเปียกน้ำได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 มุมสัมผัสระหว่างผิวหน้าของเมมเบรนกับเส้นสัมผัสหยดน้ำ (Mallevalle *et al.*, 1996)

เมมเบรนที่ชอบน้ำมาก ๆ ทำให้โมเลกุลน้ำมารวมกันเกิดเป็นชั้นน้ำบริสุทธิ์ที่ผิวหน้าของเมมเบรน ขณะเดียวกันจะผลักโมเลกุลของสารอื่นให้ห่างออกไปจากผิวหน้าของเมมเบรน จึงเกิดการแพร่เฉพาะโมเลกุลน้ำผ่านเมมเบรนออกไปทางรูพรุน หรือในกรณีของเมมเบรนแบบเนื้อแน่น จะเกิดการดูดซับโมเลกุลน้ำเข้าไปในเนื้อเมมเบรนและแพร่ผ่านเมมเบรนออกไปอีกด้านหนึ่ง ส่วนอนุภาคที่แขวนลอยในน้ำ มักมีสมบัติไม่ชอบน้ำ มีแนวโน้มชอบจับตัวกันเป็นอนุภาคคอลลอยด์ และชอบที่จะจับติดกับผิวเมมเบรน ส่งผลให้สมบัติความชอบน้ำของเมมเบรนเสียไปทำให้เกิดการอุดตันของรูพรุนบนเมมเบรน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ความสกปรกของผิว” (Fouling) (จันทร์ทอง, 2545)

5) ความเข้มข้นของสารละลาย ความเข้มข้นมีผลต่อการอุดตันของเมมเบรน จากการเกิด Concentration polarization ชั้นของสารที่สัมผัสผิวหน้าเมมเบรนคือ ชั้น Boundary Layer หากสารละลายมีความเข้มข้นมาก การสะสมตัวของสารละลาย เช่น สารอินทรีย์จะไปตกอยู่ในชั้นนี้ ทำให้ผิวหน้าเมมเบรนมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงกว่าบริเวณที่ห่างจากผิวหน้าเมมเบรนออกไป หากไม่มีความปั่นป่วนบริเวณผิวหน้าเมมเบรน จะทำให้เกิด Concentration polarization ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการอุดตัน

6) ความแรงของประจุ (Ionic strength) ความแรงของประจุมีผลต่อค่าฟลักซ์ด้วยเช่นกัน จากการศึกษาผลของความแรงประจุที่มีต่อค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทโดยใช้เมมเบรนแบบนาโน โดยแปรค่าความแรงประจุเป็น 0.004, 0.01, 0.05 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 7 พบว่า เมื่อความแรงของประจุเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าฟลักซ์เพอร์มิเอทลดต่ำลง เพราะการเพิ่มความ

แรงประจุเป็นการทำให้โซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น จึงเกิดการสะสมตัวของโซเดียมคลอไรด์ที่บริเวณผิวหน้าเมมเบรนนาโน ซึ่งความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันออสโมติกมีค่าสูงขึ้น แต่จากการทดลองมีการควบคุมความดันให้คงที่ ทำให้ผลต่างแรงดันที่เอาชนะแรงดันออสโมติกลดลง ทำให้ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทมีค่าลดลงด้วย (ชอุพนธ์, 2548)

7) **พีเอชและอุณหภูมิของสารละลาย** การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแต่ละองศาในช่วง 15-30 องศาเซลเซียส ช่วยให้อัตราการซึมผ่านเมมเบรนมีค่ามากขึ้น ประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ เพราะอุณหภูมิมิผลต่อความหนืดของน้ำ ค่าพีเอชของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (pH ลดลง) มีผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง

8) **ค่าน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight cutoff)** คือ ค่าน้ำหนักโมเลกุลของสารที่ถูกเมมเบรนกักไม่ให้ผ่าน 90-95 เปอร์เซ็นต์ โดยเมมเบรนนาโนจะกักแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลช่วง 200-10,000 ซึ่งขนาดน้ำหนักโมเลกุลของสาร เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ศึกษาการอุดตันของเมมเบรน โดยสังเกตการลดลงของค่าฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรน หากสารที่นำมากรองผ่านเมมเบรนมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนมาก ๆ ทำให้เกิดการอุดตันได้

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานเมมเบรนนาโน (จันทอง, 2545)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เมมเบรนนาโน ได้แก่

1) **ทำน้ำอ่อน (Water softening)** เนื่องจากกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนนาโนสามารถกำจัดไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในการผลิตน้ำดื่มได้ (Mijatovic *et al.*, 2004)

2) **ทำน้ำตาลให้เข้มข้นขึ้นในอุตสาหกรรมน้ำตาล** โดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนนาโน สามารถทำให้สารละลายน้ำตาลเข้มข้นจาก 12 Brix เป็น 30 Brix

3) **หางนมในอุตสาหกรรมนมมีองค์ประกอบหลัก** คือ โปรตีน แล็กโทส และเกลือต่าง ๆ โดยแล็กโทสและเกลือที่ถูกแยกออกจากโปรตีนเป็นเพอร์มิเอทของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนอัลตรา เมื่อผ่านต่อไปยังกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนนาโน สามารถแยกแล็กโทสให้เข้มข้นขึ้นจากนั้นผ่านเพอร์มิเอทของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนนาโนที่ประกอบด้วยเกลือต่าง ๆ ไปยังกระบวนการออสโมซิสผันกลับเพื่อแยกเกลือออกจากน้ำ

4) **บำบัดน้ำเสียออกจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม**

5) **แยกสารอินทรีย์ที่มี Molecular weight cutoff ในช่วง 200-800** เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเทคโนโลยีชีวภาพ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยอดธง (2549) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากยูคาลิปตัสในการใช้เป็นสารช่วยให้ยางจับตัว ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลของยางแผ่น และศึกษาประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากยูคาลิปตัสในการใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดเชื้อราในการผลิตยางแผ่นเปรียบเทียบกับกรดพอร์มิกและกรดอะซิติก พบว่าค่าดัชนีความอ่อนตัว และคุณสมบัติเชิงกลของยางแผ่นดีขึ้นเมื่อนำน้ำส้มควันไม้จากยูคาลิปตัสเป็นสารช่วยให้ยางจับตัว คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีอื่น ๆ ของยางแผ่นมีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ พบว่าน้ำส้มควันไม้จากยูคาลิปตัสสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นได้

Pimenta *et al.* (1998) ศึกษาประสิทธิภาพในการสกัด PAHs ในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ยูคาลิปตัส โดยใช้เทคนิค supercritical fluid extraction พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ถึง 192 กรัมต่อโมล สามารถสกัดออกมาได้ดีที่ความดัน 100 บาร์ ในขณะที่ PAHs ที่มีมวลโมเลกุล 202 ถึง 278 กรัมต่อโมล สามารถสกัดออกมาได้ดีที่ความดัน 371 บาร์

Scholze *et al.* (2001) ศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำจากกระบวนการฟาสไพโรไลซิส (fast pyrolysis) ของชีวมวล โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ 1) เจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี (Gel permeation chromatography, GPC) 2) ศึกษาจากหมู่คาร์บอนิล (carbonyl groups) และ 3) เทคนิค $^{13}\text{C-NMR}$ spectroscopy ($^{13}\text{C-NMR}$) จากการศึกษาด้วยเทคนิค GPC พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำจากกระบวนการฟาสไพโรไลซิสของชีวมวล จะมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 650-1,300 กรัมต่อโมล การศึกษาจากหมู่คาร์บอนิล (carbonyl groups) พบว่าโครงสร้างโดยทั่วไปขององค์ประกอบจะอยู่ในกลุ่มฟีนิลอีเทน (phenyl ethane) และจากการศึกษาคด้วยเทคนิค $^{13}\text{C-NMR}$ แสดงให้เห็นองค์ประกอบที่มีโครงสร้างของอีเทอร์ และพันธะ C-C ในวงอะโรมาติก ซึ่งมาจากการสลายตัวของลิกนิน

Şensöz (2003) ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis) ของเปลือกไม้ของต้น *Pinus brutia* Ten และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยใช้เตาเผาแบบ fix-bed โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสต่อปริมาณและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง (char) และของเหลว (bio-oil) ทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 300-500 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 7 และ 40 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำการเก็บผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว (bio-oil) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส วิเคราะห์องค์ประกอบและค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งและของเหลวด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนในปริมาณต่ำ ในขณะที่พบสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นสารที่มีขี้วมมากกว่า และสามารถเขียนสูตรโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ได้เป็น $\text{CH}_{1.43}\text{O}_{0.332}\text{N}_{0.0013}$ โดยมีค่าความร้อน 31.03×10^6 จูลต่อกิโลกรัม

Kartal et al. (2004) ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นในการเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และปลวกของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากจากชีวมวล ได้แก่ ไม้ sugi (*Cryptomeria japonica*) และ ไม้ acacia (*Acacia mangium*) ทำการศึกษาโดยใช้เชื้อรา 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Fomitopsis palustris* และ *Trametes versicolor* และปลวกสายพันธุ์ *Coptotermes formosanus* จากการทดลองพบว่า เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการเผาไหม้ไม้ sugi ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ไม่ดีเท่ากับเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการเผาไหม้ไม้ acacia เนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลน้อยกว่า และพบว่าเชื้อเพลิงเหลวทั้ง 2 ชนิด สามารถยับยั้งการย่อยสลายเนื้อไม้ของปลวกได้เพียง 2.4-2.6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกรดวานิลินที่พบในเชื้อเพลิงเหลวจะเป็นแหล่งอาหารให้กับปลวก ทำให้การย่อยสลายเนื้อไม้ของปลวกยังคงเกิดขึ้นได้

Kilduff et al. (2004) ศึกษาเกี่ยวกับค่าฟลักซ์ที่ลดลงเนื่องจากการอุดตันที่เกิดจากสารอินทรีย์ทางธรรมชาติ โดยทำการทดลองที่ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 พบว่าเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง เนื่องจากที่ค่าพีเอช 4 มีปริมาณไฮโดรเจนไอออนสูงกว่าที่พีเอช 7 และ 10 ทำให้มีผลต่อความหนาของชั้น Double layer คือ ชั้นนี้จะบางลง เกลือที่ถูกกักกันจะเลื่อนเข้ามาเมมเบรนมาก ขึ้นทำให้น้ำผ่านได้มากขึ้นด้วย

Jun et al. (2006) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ไผ่ (*Phyllostactys pubescence*) และผลของน้ำส้มควันไม้เจือจางต่อการเจริญเติบโตของผักกะหล่ำ และแตงกวา โดยใช้อัตราส่วนในการเจือจาง 300, 500 และ 800 เท่า จากผลการทดลอง พบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ 28 ชนิด โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักที่พบมากที่สุด ได้แก่ กรดอินทรีย์ สารประกอบฟีนอล และสารประกอบที่ไม่มีขี้วม ตามลำดับ จากการศึกษาผลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตของผักกะหล่ำ และแตงกวา พบว่า เมื่อเจือจางน้ำส้มควันไม้ในอัตราส่วน 500 และ 800 เท่า จะทำให้ผักทั้ง 2 ชนิด เจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยสามารถให้ผลผลิตได้มากขึ้น 18.8-20.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Lin et al. (2006) ศึกษาการกำจัดผลิตภัณฑ์ร่วมจากการฆ่าเชื้อโรค (disinfection by products; DBPs) โดยใช้ระบบเมมเบรนนาโน ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำที่เข้าระบบ และค่าพีเอช พบว่าเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ระบบเมมเบรนนาโนสามารถกำจัดผลิตภัณฑ์ร่วมจากการฆ่าเชื้อโรคได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อน้ำมีค่าพีเอชสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ร่วมจากการฆ่าเชื้อโรคจะแตกตัวเป็นไอออนได้มากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุในสารละลายและประจุที่ผิวหน้าเมมเบรน ส่งผลให้ระบบเมมเบรนนาโนสามารถกำจัดผลิตภัณฑ์ร่วมจากการฆ่าเชื้อโรคได้มากขึ้น

Nakai et al. (2007) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางชีวภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ไม้และวัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบในสถานะไร้อากาศ วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ไม้เมอร์เรนดิและวัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบสามชนิด คือ ไม้อัด (plywood) แผ่นขึ้นไม้อัด (particle board) และแผ่นเส้นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (medium density fiberboard) ที่มี ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารยึดติด พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากวัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบทั้งสามชนิดแตกต่างจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากไม้เมอร์เรนดิ ส่วนการศึกษาคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ เชื้อราที่ก่อให้เกิดการย่อยสลายเนื้อไม้ของน้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากไม้เมอร์เรนดิ และวัสดุที่มีไม้เป็น องค์ประกอบทั้งสามชนิด ศึกษาโดยใช้เชื้อราสองสายพันธุ์ คือ *Trametes versicolor* และ *Tyromyces palustris* พบว่าน้ำส้มคว้นไม้ทั้งหมดยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Tyromyces palustris* ได้ดีกว่าเชื้อรา *Trametes versicolor* และน้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากวัสดุที่มีไม้เป็น องค์ประกอบทั้งสามชนิดมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้งสองสายพันธุ์ได้ ดีกว่าน้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากไม้เมอร์เรนดิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) รุ่น 215 บริษัท Denver Instrument ประเทศอังกฤษ
2. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) รุ่น 6830 N และแมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (MS) รุ่น 5973N บริษัท Agilent Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) รุ่น CP-3800 บริษัท Varian Analytical Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น Heios α บริษัท Thermo Electron ประเทศอังกฤษ
5. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Vacuum Evaporator) รุ่น N-N series บริษัท Eyelar ประเทศญี่ปุ่น
6. ชุดกรองนาโนฟิลเทรชัน ปริมาตร 200 มิลลิลิตร รุ่น Amicon 8200 บริษัท Millipore ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. ถังสแตนเลสทนความดันสำหรับเก็บน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 10 ลิตร เพื่อใช้เก็บน้ำตัวอย่างในกรณีทำการเดินระบบเมมเบรนแบบต่อเนื่อง
8. เครื่องวัดค่าการละลายของออกซิเจน (DO meter) รุ่น 9200 บริษัท Jenway ประเทศอังกฤษ
9. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส รุ่น 2020 บริษัท Sheldon Manufacturing Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. ตู้ถ่ายเชื้อ (Laminar air flow) รุ่น HT บริษัท Boss Scientific Associate L.P. ประเทศไทย
11. เครื่องอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave) รุ่น HV-50 บริษัท Hirayama Manufacturing Corporation ประเทศญี่ปุ่น
12. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น B-3100S บริษัท Sartorius ประเทศไทย
13. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น 2842 บริษัท Sartorius ประเทศไทย
14. พิกโนมิเตอร์ (Pycnometer) ขนาด 10 มิลลิลิตร
15. คอรัคบอเรียร์ (Corck borer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เมมเบรนนาโน ชนิด NF90 บริษัท Filmtec ประเทศนิวซีแลนด์
17. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 (ขนาดรูพรุน 2.5 ไมโครเมตร)
18. Hotplate stirrer
19. ปุ่มเติมอากาศ รุ่น ACO-208 บริษัท Hailea ประเทศจีน
20. เครื่องแก้วต่าง ๆ

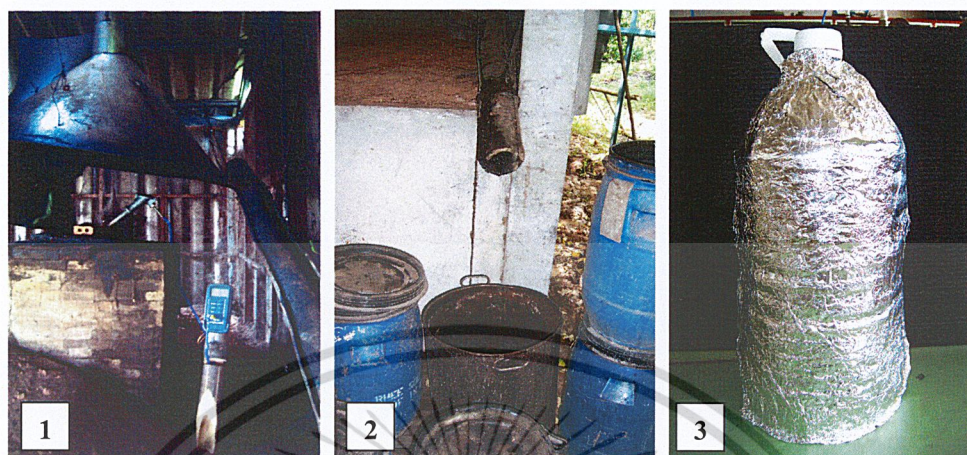
3.1.2 สารเคมี

1. เฮกเซน (C_6H_{14}), HPLC grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
2. โทลูอิน ($C_6H_5CH_3$), HPLC grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
3. ไดเอทิลอีเทอร์ ($C_4H_{10}O$), HPLC grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
4. ไคลอโรโรมีเทน (CH_2Cl_2), HPLC grade, บริษัท Fisher, ประเทศอังกฤษ
5. กรดซिटริกโมโนไฮไดรด์ ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$), AR grade, บริษัท Fluka Chemika, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
7. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_3$), AR grade, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
8. สารมาตรฐานผสม 16 PAHs (16 mixed PAHs Calibration Standard in CH_2Cl_2), บริษัท Restex, ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. ผงถ่านกัมมันต์ (Powder Activated carbon), บริษัท Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย
10. ก๊าซไนโตรเจนความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์, บริษัท Praxair, ประเทศไทย
11. ก๊าซฮีเลียมความบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์, บริษัท Praxair, ประเทศไทย
12. อาหารเลี้ยงเชื้อลำไส้รูป Potato Dextrose Agar (PDA), บริษัท Himedia, ประเทศอินเดีย
13. สารฆ่าเชื้อราไตรอะดีมีฟอน (Triadimefon), บริษัท ถัดดา จำกัด, ประเทศไทย

3.1.3 น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการทดลองได้จากการเผาถ่านไม้ไผ่ตง (*Dendrocalamus aspe*) ด้วยเตาอิฐขนาด 1.5 ลูกบาศก์เมตร ช่องว่างระหว่างปากปล่องควันและปลายปล่องสำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้ 20 เซนติเมตร ปล่องควันทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมยาว 7 เมตร รางไม้ไผ่สำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้ยาว 5 เมตร ใช้ไม้ไผ่ในการเผา 1.5 ตัน และได้น้ำส้มควันไม้ 60-70 ลิตร โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ในขณะที่ปากปล่องควันมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 80–150 องศาเซลเซียส ผ่านรางไม้ไผ่ใส่ถังที่บดแล้ว แล้วนำมาเก็บไว้ในขวดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทอร์พทาเลต (Poly

Ethylene Terephthalate, PET) ที่ใช้กระดาษพอลิเอทิลีนเพื่อป้องกันแสง ดังรูปที่ 3.1 โดยน้ำส้มควันไม้ที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากคุณกิตติ เลิศล้ำ อำเภอนาคี จังหวัดปราจีนบุรี



รูปที่ 3.1 การเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยหมายเลข 1 คือ ปากปล่องควันเก็บน้ำส้มควันไม้ หมายเลข 2 คือ ท่อและถังรองรับน้ำส้มควันไม้ และหมายเลข 3 คือ ขวดสำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้

3.1.4 เมมเบรนนาโนที่ใช้ในการทดลอง (Nanofiltration membrane)

3.1.4.1 คุณลักษณะของเมมเบรนนาโน

เมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเมมเบรนแบบนาโน NF-90 ของบริษัท Filmtec ประเทศนิวซีแลนด์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.สุพัฒนพงษ์ มัตราษ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยคุณลักษณะต่าง ๆ ของเมมเบรนนาโน แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะต่าง ๆ ของเมมเบรนนาโน NF-90 ที่ใช้ในงานวิจัย

คุณลักษณะ	รายละเอียด
ประเภทของเมมเบรน	Thin-film composite membrane
วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน	Polyamide
ความดันสูงสุดที่ทนได้	600 psi (41 bar)
ความดันของการดำเนินการ	70-300 psi (483-2,069 kPa)
อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้	113°F (45°C)
ช่วงพีเอชของการดำเนินการ	2-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.2 การเก็บรักษาเมมเบรนนาโน

นำเมมเบรนนาโนที่จะใช้ในงานวิจัยมาตัดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร เก็บรักษาในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันบนผิวเมมเบรนซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเมมเบรน เช่น เมื่อแผ่นเมมเบรนถูกออกซิไดซ์อาจทำให้เมมเบรนนั้นเสียหายหรือเกิดการอุดตันก่อนนำมาใช้งาน เป็นต้น จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

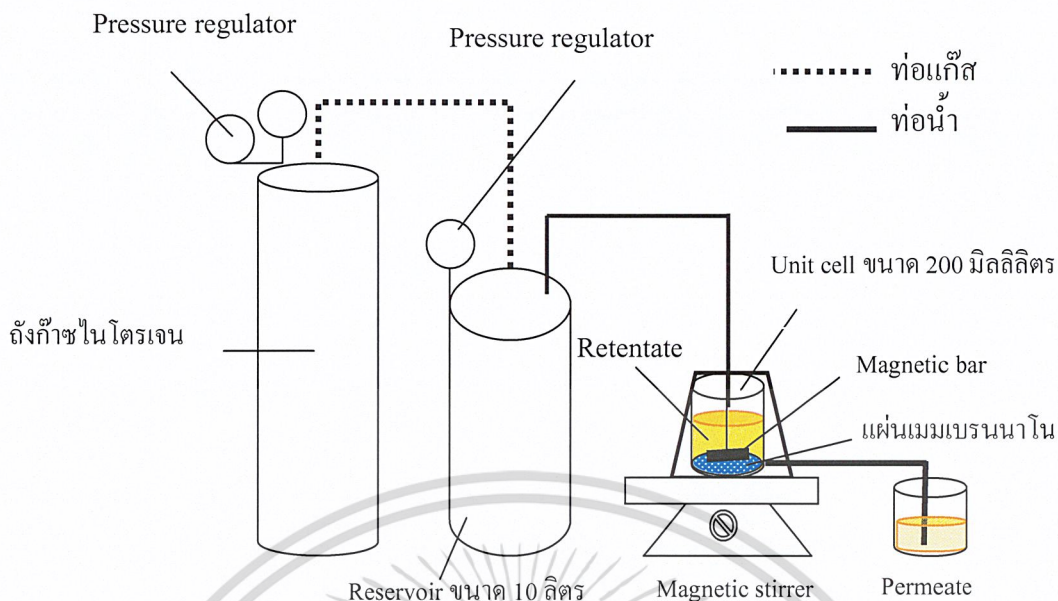
3.1.4.3 การทำความสะอาดเมมเบรนนาโน

ก่อนนำเมมเบรนนาโนมาใช้งานต้องทำความสะอาดก่อนตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ล้างเมมเบรนนาโนให้สะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 2) นำเมมเบรนที่ได้จากข้อ 1 มาล้างด้วยเบส โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที
- 3) ล้างเมมเบรนด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้ง จากนั้น แช่ในกรดซิตริก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที
- 4) ล้างเมมเบรนด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้ง จนได้เมมเบรนที่สะอาดพร้อมใช้งาน

3.1.5 การติดตั้งระบบนาโนฟิลเตรชันแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน

ระบบนาโนฟิลเตรชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการเดินระบบแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน (Dead-end filtration) เพื่อศึกษาความสามารถในการคัดกรองสารของเมมเบรน ซึ่งระบบแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรนสามารถเดินระบบได้ง่าย และได้ปริมาณของสารที่ผ่านการกรองในปริมาณมาก โดยระบบที่ใช้มี unit cell เป็นแบบ Dead-end stirred cell ขนาด 200 มิลลิลิตร สามารถทนแรงดันสูงสุด 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ภายในมีแกนแม่เหล็กสำหรับปั่นกวน ทำให้ระบบนาโนฟิลเตรชันมีทิศทางการไหลเป็นแบบการไหลขวาง (cross-flow filtration) เพื่อช่วยลดการอุดตันที่ผิวของเมมเบรน และมีบริเวณสำหรับติดตั้งแผ่นเมมเบรนที่ด้านล่างของ unit cell ทำการติดตั้งระบบนาโนฟิลเตรชัน โดยวาง unit cell ไว้บน Magnetic stirrer และต่อ unit cell เข้ากับถังสำหรับเก็บน้ำ (reservoir) ทำจากสแตนเลสสตีลขนาด 10 ลิตร ต่อเข้ากับถังก๊าซไนโตรเจน 99.99 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้สำหรับให้แรงดันแก่ระบบ โดยมีเกจวัดความดันสำหรับใช้ในการควบคุมความดันที่ให้แก่ระบบ ดังรูปที่ 3.2 ในการเดินระบบน้ำส้มคว้นไม้จะถูกอัดด้วยแรงดันในทิศทางตั้งฉากกับผิวเมมเบรนผ่านแผ่นเมมเบรนที่อยู่ด้านล่างของ unit cell น้ำส้มคว้นไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนจะไหลออกทางด้านล่างของเมมเบรน เรียกว่า permeate และน้ำส้มคว้นไม้ที่ไม่ผ่านเมมเบรน เรียกว่า retentate จะอยู่ใน unit cell เหนือแผ่นเมมเบรน



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบเมมเบรนนาโนที่เดินระบบแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน

3.1.6 เชื้อรา

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยน้ำส้มควันไม้ เป็นเชื้อรากลุ่ม *Pythium* sp. ที่ก่อให้เกิดโรคในไม้ผลยืนต้น ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ. ดร. ถนิมรัตน์ เจนอักษร ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยการกำจัดน้ำมันดินและ PAHs ในน้ำส้มควันไม้ 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการเติมอากาศ 2) วิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ 3) วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน โดยเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม คือ การตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ก่อนทำให้บริสุทธิ์

นำน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ โดยพารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	เครื่องมือวิเคราะห์/วิธีวิเคราะห์
พีเอช (pH)	เครื่องพีเอชมิเตอร์
ความถ่วงจำเพาะ	วิธีพิกโนมิเตอร์ (ASTM 891-95, 2004) (รายละเอียดการทดลองแสดงในภาคผนวก ก-1)

3.2.2 ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

3.2.2.1 การเติมอากาศ

1. เติมน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้ 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดทึบแสง
2. เติมอากาศด้วยปั๊ม ที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที และวัดปริมาณออกซิเจนละลาย (ค่า DO) ทุก ๆ 15 นาที จนค่า DO มีค่าคงที่ เพื่อหาระยะเวลาในการเติมอากาศที่เหมาะสม
3. เติมน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้ 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดทึบแสง และเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศที่เหมาะสมจากข้อ 2
4. นำน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น λ_{max} ของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน
5. ปิดฝาขวดให้สนิท นำไปตั้งในที่ทึบแสง และนำออกมาวัดค่าการดูดกลืนแสงทุก ๆ 1 วัน จนค่าการดูดกลืนแสงมีค่าคงที่
6. นำน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้วิธีการสแกนความยาวคลื่น λ_{max}
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 อีก 2 ชั่วโมง

3.2.2.2 การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

1. เติมน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้ 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดทึบแสง
2. เติมผงถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 เปอร์เซ็นต์, 1.0 เปอร์เซ็นต์ และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
3. เติมอากาศในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการเติมอากาศในข้อ 3.2.2.1
4. กรองน้ำส้มควันไม้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักก่อนกรอง)
5. นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองแล้วไปอบที่อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที

6. ชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำมันดินที่เกิดขึ้น (น้ำหนักหลังกรอง) โดยนำน้ำหนักหลังกรองไป ลบน้ำหนักก่อนกรอง

7. เทน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการกรองจากข้อ 4 ใส่ขวดทึบแสงขวดใหม่ ปิดฝาให้สนิทแล้ว นำไปตั้งไว้ในที่ทึบแสง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

8. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำน้ำส้มควันไม้ออกมาทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4-6

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่ตั้งไว้ในที่ทึบแสงเป็นเวลา 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง จากนั้น ทำการทดลองทุก ๆ 1 วัน จนไม่มีตะกอนน้ำมันดินเกิดขึ้น

10. นำน้ำส้มควันไม้ที่ไม่มีตะกอนน้ำมันดินไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น λ_{\max} ของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควัน ไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 6 เดือน

11. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-10 อีก 2 ซ้ำ

3.2.2.3 การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน

1. เทน้ำส้มควัน ไม้ที่เก็บได้ 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดทึบแสง

2. เติมอากาศในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2.1 และเติมผงถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.2.2.2

3. ปิดฝาขวดให้สนิท แล้วนำไปตั้งไว้ในที่ทึบแสงตามเวลาที่เหมาะสม ที่จากข้อ 3.2.2.2

4. นำน้ำส้มควัน ไม้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

5. ตวงน้ำส้มควัน ไม้ที่ผ่านการกรองแล้วมา 200 มิลลิลิตร นำไปกรองด้วยระบบนาโนฟิลเทรชันแบบไหลตั้งจากกับผิวเมมเบรน (Dead-end filtration) ที่ความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จนได้ปริมาตรของเพอมีเอทเท่ากับ 100 มิลลิลิตร

6. นำส่วนเพอมีเอทไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} ของน้ำส้มควัน ไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควัน ไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ

3.2.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควัน ไม้ ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

3.2.3.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

นำน้ำส้มควัน ไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เปรียบเทียบกับน้ำส้มควัน ไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ในที่ทึบแสงเป็นเวลา 6 เดือน โดยพารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้ม
ควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

พารามิเตอร์	เครื่องมือวิเคราะห์/วิธีวิเคราะห์
พีเอช (pH)	เครื่องพีเอชมิเตอร์
ความถ่วงจำเพาะ	วิธีพิกโนมิเตอร์ (ASTM 891-95, 2004) (รายละเอียดการทดลองแสดงในภาคผนวก ก-1)
ค่าการดูดกลืนแสง	เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

3.2.3.2 ศึกษาสัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้

นำน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน โทลูอีน และไดเอทิลอีเทอร์ เพื่อเป็นตัวแทนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และสารกลุ่มที่มีขั้วสูง ตามลำดับ (ประยุกต์จาก Özçimen และ Karaosmanoglu, 2004) ดังนี้

1. นำน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการกำจัดน้ำมันดินด้วยกระบวนการที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2 มา 50 มิลลิลิตร เติมนลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมหกเซน 50 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งให้แยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที

2. สกัดแยกเอาชั้นน้ำส้มควันไม้ (ชั้นล่าง) และชั้นเฮกเซน (ชั้นบน) ออกจากกัน โดยใช้ชั้นเฮกเซนลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์

3. นำชั้นเฮกเซนไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนแห้ง จากนั้นนำไปพ่นในโตรเจนที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที

4. ชั่งน้ำหนักสารที่สกัดได้

5. นำชั้นน้ำส้มควันไม้ไปสกัดตามวิธีข้างต้นอีกครั้ง โดยเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นโทลูอีนและไดเอทิลอีเทอร์ ตามลำดับ

6. นำชั้นโทลูอีนและไดเอทิลอีเทอร์ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนแห้ง จากนั้นนำไปพ่นในโตรเจนที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที

7. ชั่งน้ำหนักสารที่สกัดได้ในแต่ละส่วน

8. กำหนดหาสัดส่วนขององค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้ที่สกัดได้ทั้ง 3 ส่วน

9. นำน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ในที่ทึบแสงเป็นเวลา 6 เดือน มาทำการสกัดเช่นเดียว กับข้อ 1-8 แทนน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสม ที่ได้จากข้อ 3.2.2

10. ทำแบลงค์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-8 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

11. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-10 อีก 2 ซ้ำ

3.2.3.3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

1. นำสารที่สกัดได้โดยใช้ไดเอทิลอีเทอร์ ของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และผ่านการพ่นไนโตรเจนจนแห้งแล้ว ที่ได้จากข้อ 3.2.3.2 ไปละลายด้วยไดเอทิลอีเทอร์ และปรับให้ปริมาตรของสารละลายเป็น 1 มิลลิลิตร

2. นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ – เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) โดยสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-2 แต่ใช้สารที่สกัดได้โดยใช้ไดเอทิลอีเทอร์ที่ผ่านการพ่นไนโตรเจนจนแห้งของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ในที่ทึบแสงเป็นเวลา 6 เดือนแทน

4. ทำแบลงค์เช่นเดียวกับข้อ 1-2 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 อีก 2 ซ้ำ

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์หึ่งค้ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่อง GC-FID

พารามิเตอร์	สภาวะในการเดินระบบ
Gas Chromatograph	CP 3800 (Varian, USA)
Detector	Flame Ionization Detector (FID)
Column	Stabilwax [®] DA 30 m x 0.25 mm i.d. x 0.25 μ m (film thickness) capillary column (Restek, USA)
Temperature program	Injector temperature : 100 [°] C Oven temperature : 40 [°] C (initial temperature), holding at 40 [°] C for 5 mins, then increased from 40 [°] C to 200 [°] C at 20 [°] C/min, holding at 200 [°] C for 25 mins. Detector temperature : 230 [°] C
Helium carrier gas	Flow rate 5 ml/min

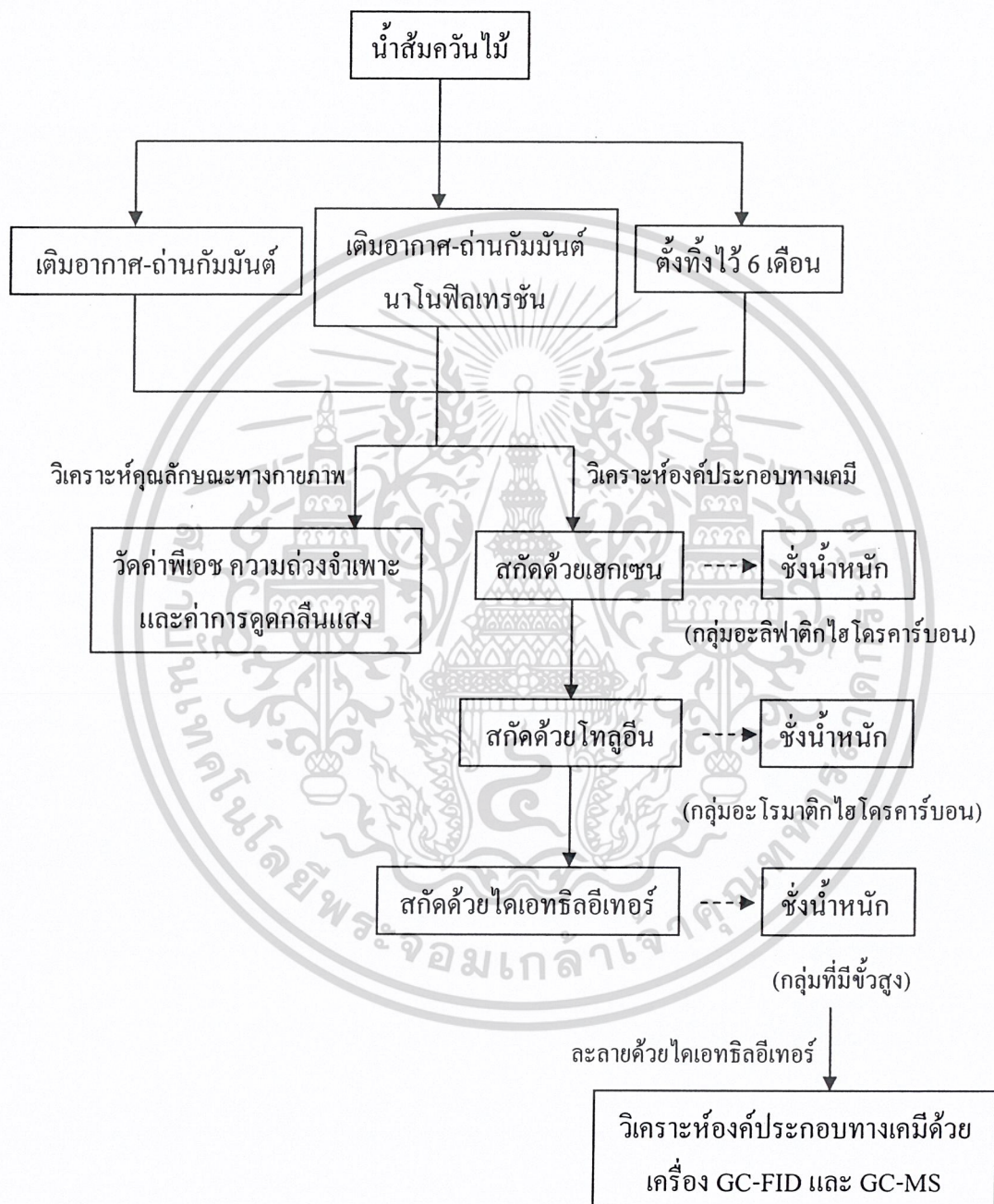
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค้ำประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่อง GC-MS

พารามิเตอร์	สภาวะในการเดินระบบ
<i>GC conditions</i>	
Gas Chromatograph	6890N (Agilent Technologies, USA)
Column	DB-FFAP 30 m x 0.25 mm i.d. x 0.50 μ m capillary column (J&W scientific, USA)
Temperature program	Injector temperature : 100 $^{\circ}$ C Oven temperature : 40 $^{\circ}$ C (initial temperature), holding at 40 $^{\circ}$ C for 5 mins, then increased from 40 $^{\circ}$ C to 200 $^{\circ}$ C at 20 $^{\circ}$ C/min, holding at 200 $^{\circ}$ C for 25 mins. Detector temperature : 230 $^{\circ}$ C
Injection mode	Split ratio 100 : 1
Helium carrier gas	Flow rate 10 ml/min
<i>Mass spectrometer conditions</i>	
Detector	Mass Spectrometer 5973N (Agilent Technologies, USA)
MS mode	EI mode
Mass range / scan speed	30 – 500 amu / sec.
Transfer line temperature	200 $^{\circ}$ C
Filament / multiplier delay	3 mins.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยสรุปของการศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ที่ได้จากข้อ 3.2.3.1 - 3.2.3.3 แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังสรุปของการศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ คุณลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

นำน้ำส้มควันไม้มาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs โดยการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน และวิเคราะห์โดย GC-FID มีวิธีในการสกัด ดังนี้

1. นำน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2 มา 50 มิลลิลิตร เติมลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมไดคลอโรมีเทน 50 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งให้แยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที
3. สกัดแยกเอาชั้นไดคลอโรมีเทน (ชั้นล่าง) โดยไหลลงในขวดกักกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
4. นำไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนแห้ง จากนั้น นำไปพ่นในโตรเจนที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที
5. นำส่วนไดคลอโรมีเทนที่ผ่านการพ่นในโตรเจนจนแห้งแล้ว ไปละลายด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนและปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตร
6. นำสารละลายที่ได้ 1 ไมโครลิตรไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID โดยสภาวะที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.6
7. คำนวณความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานผสมของ 16 PAHs

ตารางที่ 3.6 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ด้วยเครื่อง GC-FID

พารามิเตอร์	สภาวะในการเดินระบบ
Gas Chromatograph	CP 3800 (Varian, USA)
Detector	Flame Ionization Detector (FID)
Column	Rtx-5 30 m x 0.25 mm i.d. x 0.25 μ m film thickness capillary column (Restek, USA)
Temperature program	Injector temperature : 200 $^{\circ}$ C Oven temperature : 70 $^{\circ}$ C (initial temperature), holding at 70 $^{\circ}$ C for 5 mins, then increased from 70 $^{\circ}$ C to 120 $^{\circ}$ C at 5 $^{\circ}$ C/min, holding at 120 $^{\circ}$ C for 10 mins, then increased from 120 $^{\circ}$ C to 300 $^{\circ}$ C at 15 $^{\circ}$ C/min, holding at 300 $^{\circ}$ C for 10 mins. Detector temperature : 320 $^{\circ}$ C
Helium carrier gas	Flow rate 3 ml/min

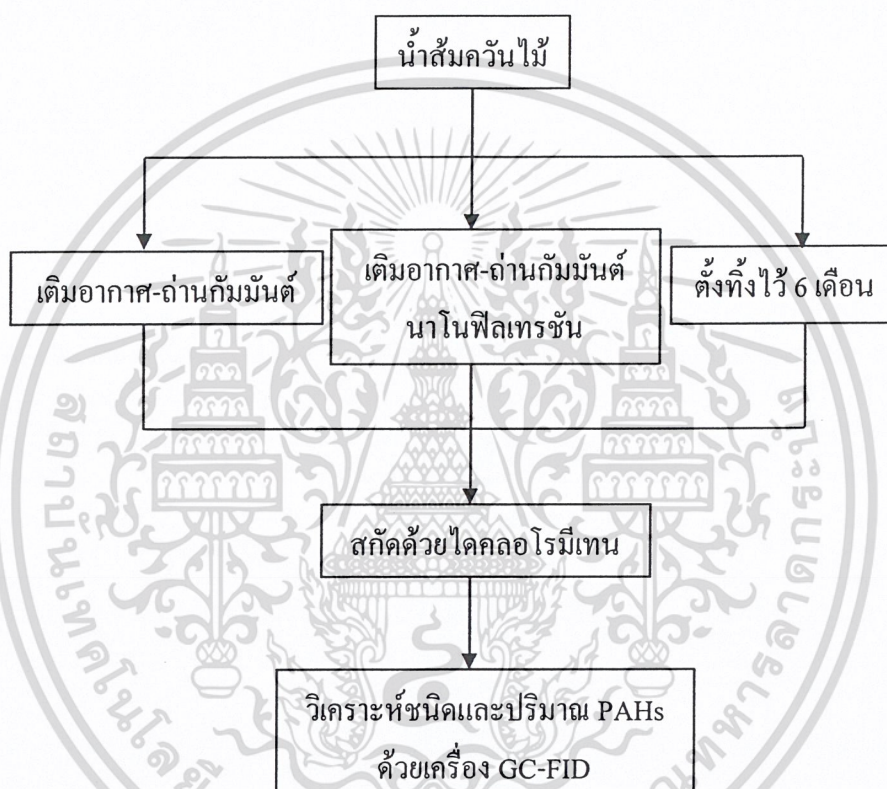
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่ใช้น้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ในที่ที่บแสงเป็นเวลา 6 เดือนแทน และปรับปริมาตรเป็น 4 มิลลิลิตร (เนื่องจากถ้าปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตร จะทำให้ความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐาน)

9. ทำแปลงค์เช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำส้มควันไม้

10. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-9 อีก 2 ซ้ำ

การทดลองโดยสรุปของการศึกษาชนิด และปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังการศึกษาชนิดและปริมาณสาร PAHs

3.2.4 ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

1. เพาะเชื้อ *Pythium* sp. บนอาหารแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA) (รายละเอียดการเตรียมอาหารแข็ง PDA แสดงในภาคผนวกที่ ก-2) โดยตัดชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเชื้อรากลุ่ม *Pythium* sp. ขนาด 1x1 ตารางเซนติเมตร มาวางบนอาหารแข็ง PDA นำไปบ่มที่ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน จนเชื้อโต และใช้เป็นหัวเชื้อในการทดลองต่อไป

2. นำน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ โดยวิธีที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2 และน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน มาเจือจางกับน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์, 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3. เทอาหารแข็ง PDA ลงในงานเพาะเชื้อพร้อมกับปิเปตน้ำส้มควันไม้ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในงานเพาะเชื้อ

4. เขย่างานเพาะเชื้อให้อาหารแข็ง PDA และน้ำส้มควันไม้ผสมกัน

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3-4 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้เป็น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่ใช้สารฆ่าเชื้อราไตรอะคีมีฟอนแทนน้ำส้มควันไม้

7. ตัดชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเชื้อราด้วยคอร์กบอเรียร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และนำมาวางบนอาหารแข็ง PDA ที่ผสมน้ำส้มควันไม้ และนำไปบ่มที่ 27 องศาเซลเซียส (Kartal *et al.*, 2004)

8. ทำชุดควบคุมเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่ใช้อาหารแข็ง PDA อย่างเดียว

9. วัดการเจริญเติบโตของเชื้อราด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี จนกระทั่งโคโลนีของเชื้อราในชุดควบคุมเจริญเติบโตเต็มงานเพาะเชื้อ

10. กำหนดหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ดังสมการที่ 3.1

$$I = [(C - T) / C] \times 100 \quad (3.1)$$

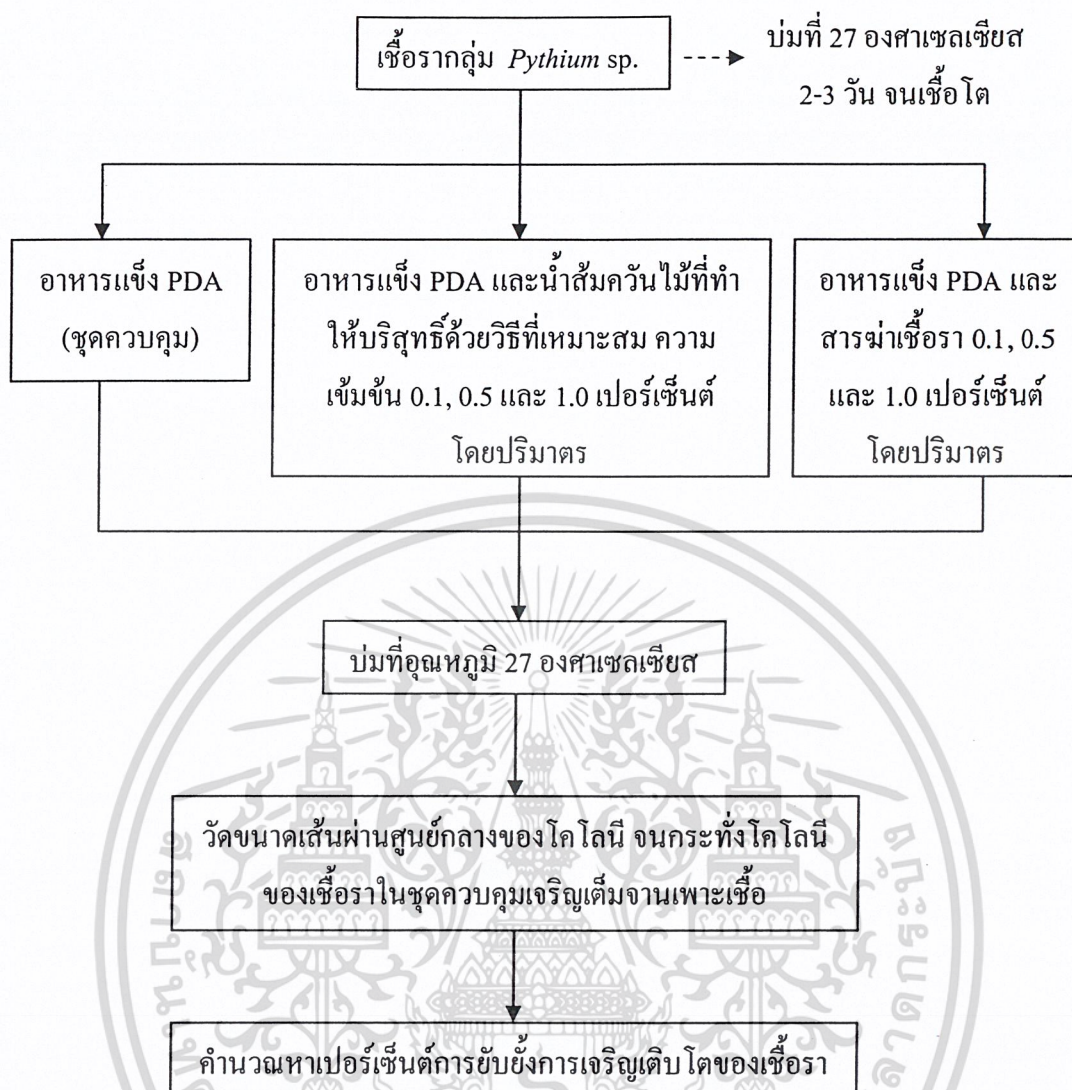
โดย I คือ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

C คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีในชุดควบคุมที่เจริญเติบโตเต็มงานเพาะเชื้อ

T คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีในชุดทดลองเมื่อโคโลนีในชุดควบคุมเจริญเติบโตเต็มงานเพาะเชื้อ

11. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-10 อีก 2 ชุด

การทดลองโดยสรุปของการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ก่อนทำให้บริสุทธิ์

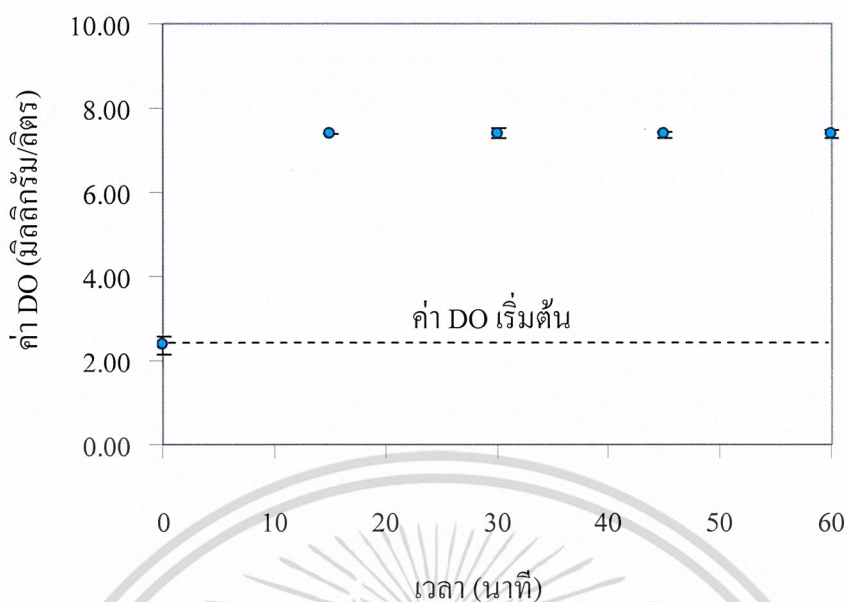
ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ก่อนการทำให้บริสุทธิ์ ได้แก่ พีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่าค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ดิบมีค่าเท่ากับ 3.32 ± 0.01 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.2 ภาคผนวก ข-5) และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.0090 ± 0.0001 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.3 ภาคผนวก ข-5)

4.2 ผลการศึกษาวิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

4.2.1 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเติมอากาศ

วิธีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยทั่วไป นิยมใช้วิธีตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน เพื่อกำจัดน้ำมันดินที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบในน้ำส้มควันไม้ (สื่อเกษตร, 2548) การทดลองนี้ ได้ใช้วิธีการเติมอากาศเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำส้มควันไม้ โดยศึกษาปริมาณอากาศ และระยะเวลาในการเติมอากาศ ด้วยวิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (DO) ในน้ำส้มควันไม้ ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการศึกษาปริมาณอากาศที่เหมาะสมที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ปั๊มเติมอากาศที่อัตราการไหลคงที่ที่ 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.1 ภาคผนวก ข-1) พบว่าน้ำส้มควันไม้มีค่า DO เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 2.37 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่า DO ในสภาวะที่ไม่ผ่านการเติมอากาศ) เป็น 7.40 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลา 15 นาที หลังจากนั้น DO จะมีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.2 ภาคผนวก ข-1) นั่นคือ ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำส้มควันไม้จะอิ่มตัวหลังจากเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับเวลาในการเติมอากาศ

หลังจากเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีน้ำมันดินเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2



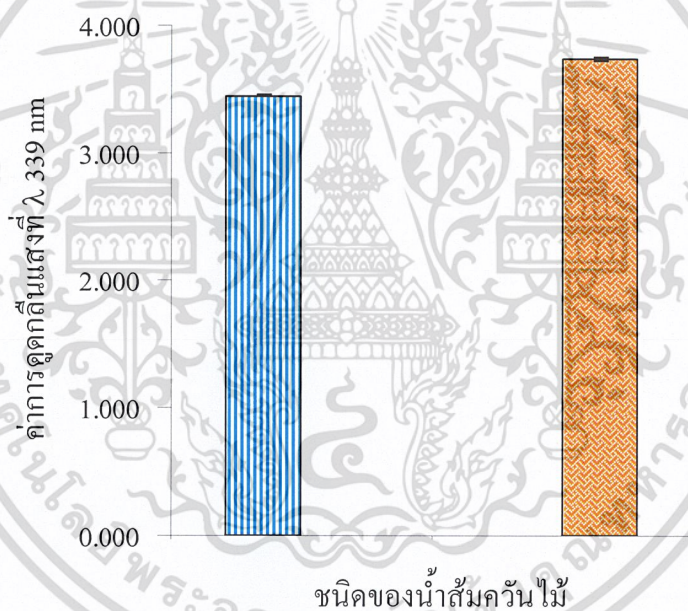
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.2 น้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (ก) การตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) การเติมอากาศ และตั้งทิ้งไว้ 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ ไม่สามารถกำจัดน้ำมันดินได้ เนื่องจากหลังจากตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน ยังคงมีตะกอนน้ำมันดินเกิดขึ้น นอกจากนี้ เมื่อทำการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน (168 ชั่วโมง) และนำไปกรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 42 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 339 นาโนเมตร ซึ่งเป็น λ_{\max} ของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 2.362 ± 0.001 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.1 ภาคผนวก ข-5) (การทดลองนี้ใช้ค่า λ_{\max} ของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ในการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดน้ำมันดินของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ อย่างไรก็ตาม λ_{\max} ของน้ำส้มควันไม้อาจเปลี่ยนแปลงไป ถ้าวัดค่าการดูดกลืนแสงในน้ำส้มควันไม้เปลี่ยนแปลง ดังนั้น ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงควรจะสแกน λ_{\max} ใหม่ทุกครั้ง)



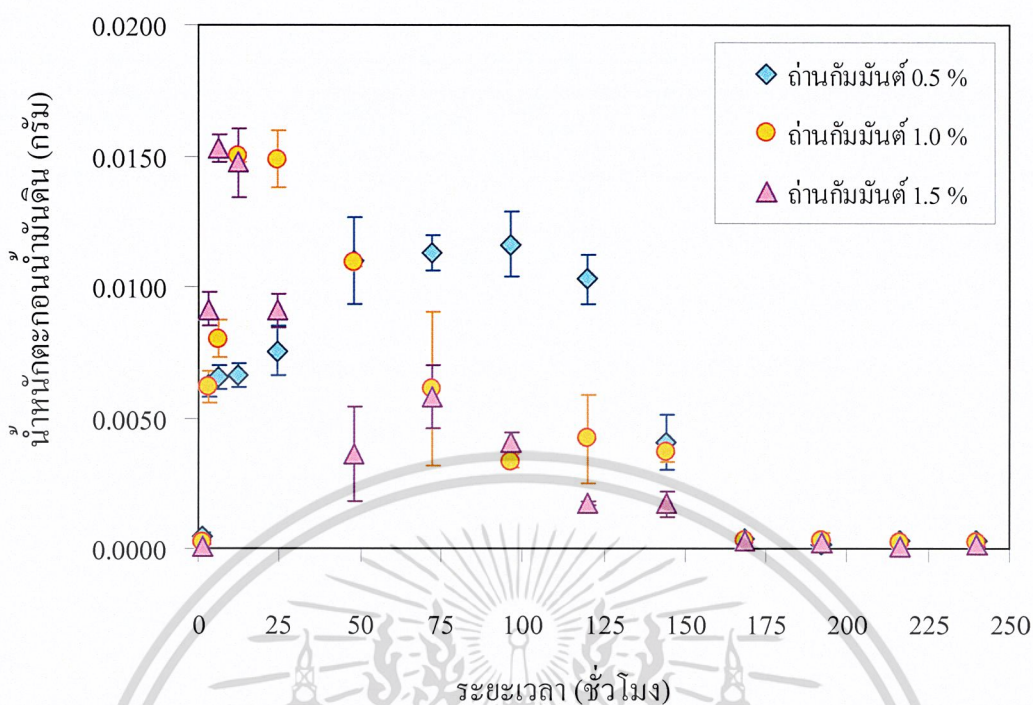
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (▤) และการเติมอากาศ (▨)

4.2.2 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

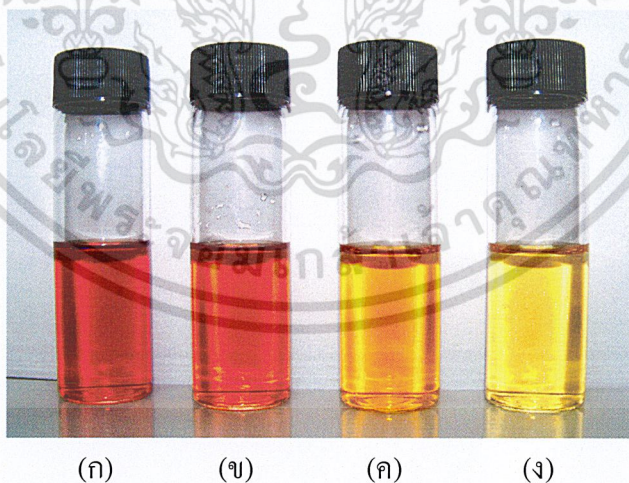
การทดลองนี้ได้ใช้วิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยเติมอากาศเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดน้ำมันดิน และเติมถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับน้ำมันดินที่เกิดขึ้น (จิระพงษ์, 2550) โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ และระยะเวลาในการดูดซับ โดยเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ซึ่งได้จากผลการทดลองข้อ 4.2.1 จากนั้น วิเคราะห์ปริมาณตะกอนน้ำมันดินในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำส้มควันไม้ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก และวัดความขุ่นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองปริมาณถ่านกัมมันต์ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดิน พบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์จะมีผลต่ออัตราการกำจัดน้ำมันดิน โดยการเติมผงถ่านกัมมันต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถกำจัดน้ำมันดินได้เร็วกว่าการเติมผงถ่านกัมมันต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมื่อทำการทดลองจนไม่มีน้ำหนักระกอนเกิดขึ้น พบว่าน้ำหนักระกอนรวมที่เกิดขึ้น เมื่อเติมถ่านกัมมันต์ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่า 0.0768, 0.0732 และ 0.0659 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 168 เป็นต้นไป การเติมผงถ่านกัมมันต์ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถกำจัดน้ำมันดินได้เกือบทั้งหมด โดยพบน้ำหนักระกอนน้ำมันดินเท่ากับ 0.0004 ± 0.0001 กรัม, 0.0003 ± 0.0001 กรัม และ 0.0003 ± 0.0001 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.1-2.3 ภาคผนวก ข-2) อย่างไรก็ตาม น้ำหนักระกอนน้ำมันดินที่ได้ วิเคราะห์จากน้ำหนักระกอนที่เกิดขึ้น หลังจากตั้งน้ำส้มควันไม้ทิ้งไว้ และกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 แล้วทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่กำหนด ที่ชั่วโมงที่ 168 ไม่เกิดตะกอนน้ำมันดิน อาจเป็นเพราะปริมาณ DO ในน้ำส้มควันไม้หมดไป จึงไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบในน้ำส้มควันไม้ ดังนั้น ควรวิเคราะห์ค่า DO ที่เหลือ สำหรับการทดลองในอนาคต นอกจากนี้ ยังพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีสีจางกว่าสีของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ส่วนน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีสีใกล้เคียงกับสีของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคุณสมบัติในการดูดซับและการฟอกจางสีของถ่านกัมมันต์ (ราตรี และคณะ, 2543) ดังนั้น จึงเลือกการเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในการกำจัดน้ำมันดิน

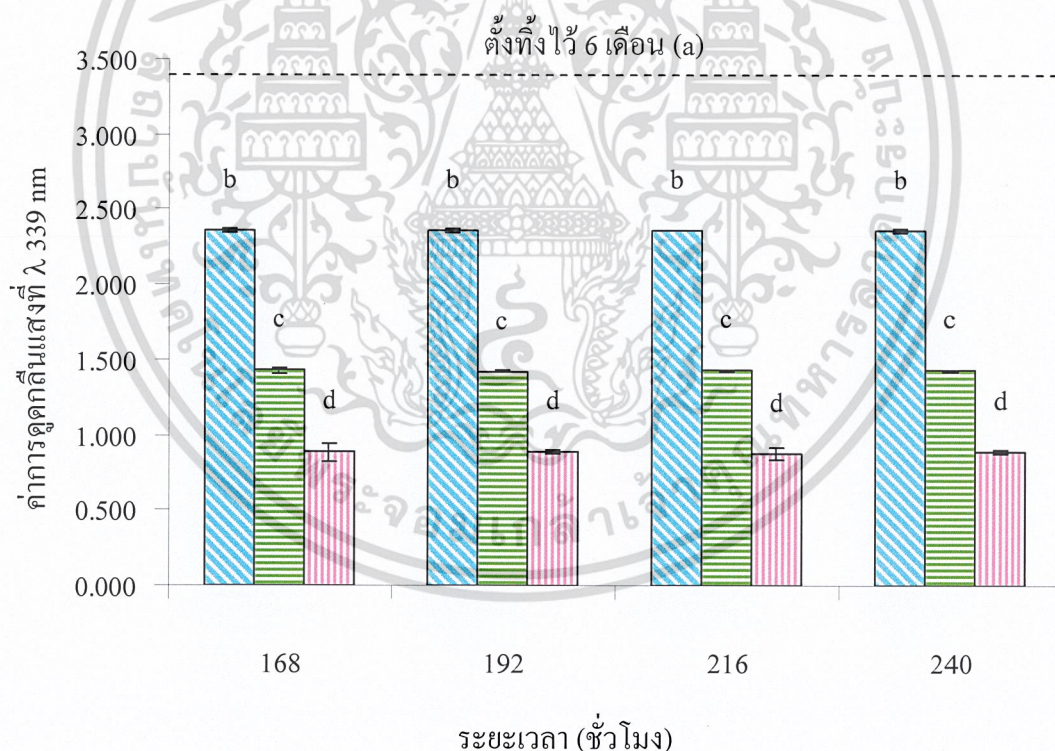


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตะกอนของน้ำมันดินที่เกิดในเวลาต่าง ๆ ในการเติมน้ำมัน 0.5 %, 1.0 % และ 1.5 %



รูปที่ 4.5 สีของน้ำส้มคว้นไม้หลังจากทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน และการเติมอากาศร่วมกับน้ำมัน (ก) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) เติมน้ำมัน 0.5 % (ค) เติมน้ำมัน 1.0 % (ง) เติมน้ำมัน 1.5 %

ผลการทดลองค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 339 นาโนเมตรของน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน และน้ำส้มควันไม้ที่เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 168, 192, 216 และ 240 ชั่วโมง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ที่ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรจะมีค่าคงที่ ตั้งแต่เวลา 168 ชั่วโมงเป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองน้ำหนักตะกอนของน้ำมันดินที่ถูกกำจัดได้เกือบทั้งหมดที่เวลาดังกล่าว พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือนมากที่สุด คือ 2.361 ± 0.016 และ 3.452 ± 0.012 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3.1-3.3 ภาคผนวก ข-3) อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่าแตกต่างกับค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1.1-1.4 ภาคผนวก ค-1) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ 0.5 % w/v (▨), 1.0 % w/v (▧), 1.5 % w/v (▩) (ตัวอักษร a, b, c และ d ที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนน้ำมันดินที่เกิดขึ้นและค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดิน คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 168 ชั่วโมง

4.2.3 การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน

การกรองโดยนาโนฟิลเทรชันเป็นเทคนิคการแยกสารให้บริสุทธิ์อีกวิธีหนึ่ง การทดลองนี้ใช้วิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน โดยเติมอากาศเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดน้ำมันดิน เติมถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับน้ำมันดินที่เกิดขึ้น และกรองด้วยเมมเบรน NF-90 เพื่อแยกสารปนเปื้อนออกจากน้ำส้มควันไม้ โดยเติมผงถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมอากาศที่อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จากข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 จากนั้นนำไปกรองด้วยระบบนาโนฟิลเทรชันแบบไหลตั้งฉากกับผิวเมมเบรน แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ในที่ที่บแสงเป็นเวลา 168 ชั่วโมง จึงนำไปกรองและวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลการทดลองดังนี้

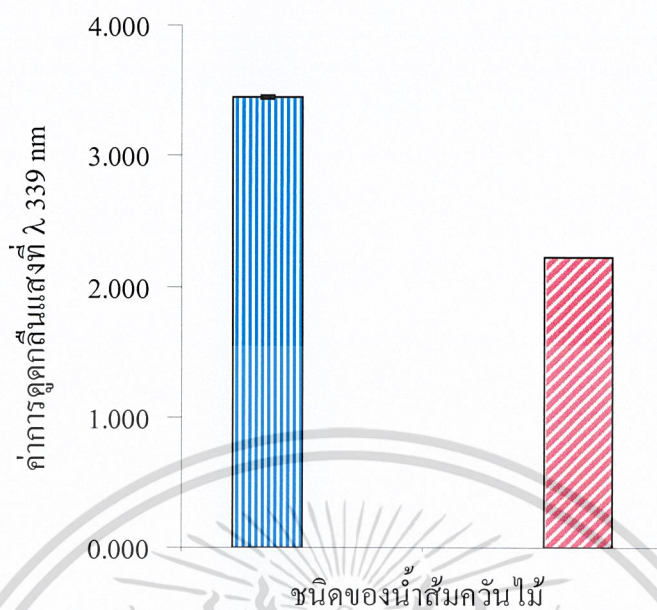
จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน หลังจากตั้งทิ้งไว้ในที่ที่บแสงเป็นเวลา 168 ชั่วโมง ไม่เกิดน้ำมันดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.1 ภาคผนวก ข-5) นอกจากนี้ ยังพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 2.228 ± 0.001 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.1 ภาคผนวก ข-5) ซึ่งมีค่าแตกต่างกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้นาน 6 เดือน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-2.1 ภาคผนวก ค-2) ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 น้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (ก) การตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) การ

เติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับนาโนฟิลเทรชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (■) และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองโดยนาโนฟิลเทรชัน (▨)

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบเคมีของน้ำส้มควันไม้ หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์

การทดลองนี้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และชนิดและปริมาณ PAHs ของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน เปรียบเทียบกับการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ได้ผลการทดลองดังนี้

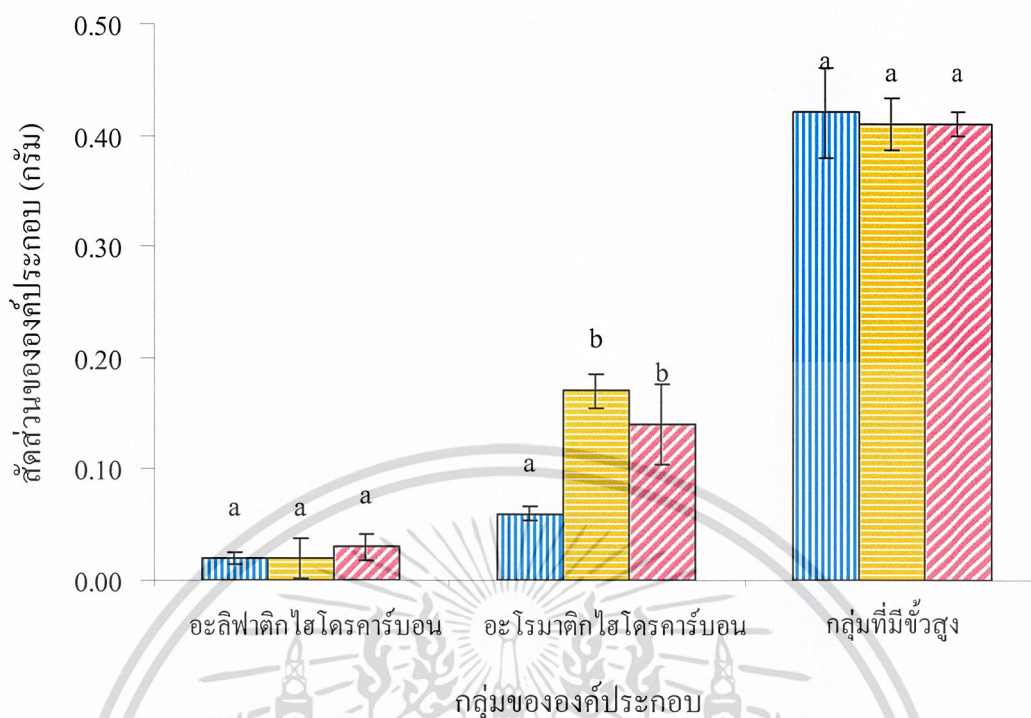
4.3.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

วิเคราะห์สัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มของสารที่มีขั้วสูง โดยนำน้ำส้มควันไม้มาสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน โทลูอิน และไดเอทิลอีเทอร์ น้ำหนักของสารประกอบที่สกัดด้วยเฮกเซนเป็นตัวแทนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน น้ำหนักของสารประกอบที่สกัดด้วยโทลูอินเป็นตัวแทนของสารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และน้ำหนักของสารประกอบที่สกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวแทนของสารกลุ่มที่มีขั้วสูง ได้ผลการทดลองดังนี้

จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน และการตั้งทิ้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลา 6 เดือน มีองค์ประกอบหลักเป็นสารกลุ่มที่มีขี้สูง รองลงมา คือ กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4.1-4.3 ภาคผนวกที่ ข-4) นั่นคือน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน มีสัดส่วนขององค์ประกอบกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนเท่ากับ 0.02 ± 0.01 กรัม กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 0.06 ± 0.01 กรัม และกลุ่มที่มีขี้สูงเท่ากับ 0.42 ± 0.04 กรัม น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน มีสัดส่วนขององค์ประกอบกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนเท่ากับ 0.02 ± 0.02 กรัม กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 0.17 ± 0.02 กรัม และกลุ่มที่มีขี้สูงเท่ากับ 0.41 ± 0.042 กรัม ในขณะที่น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน มีสัดส่วนขององค์ประกอบกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนเท่ากับ 0.03 ± 0.01 กรัม กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 0.14 ± 0.04 กรัม และกลุ่มที่มีขี้สูงเท่ากับ 0.41 ± 0.01 กรัม และพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชันมีสัดส่วนของสารกลุ่มที่มีขี้สูงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถ่านกัมมันต์ที่เติมลงไปใต้น้ำส้มควันไม้สามารถดูดซับสารกลุ่มที่มีขี้สูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเมมเบรนนาโนที่ใช้เป็นชนิดไม่มีขี้ ดังนั้น เมมเบรนจะกักสารกลุ่มที่ไม่มีขี้ไว้ และยอมให้สารกลุ่มที่มีขี้ผ่านเมมเบรนไปได้ จึงทำให้น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านระบบนาโนฟิลเทรชันแล้วยังคงพบสารกลุ่มที่มีขี้สูงอยู่ อย่างไรก็ตามพบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธี มีปริมาณสารของกลุ่มที่มีขี้สูงและกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสัดส่วนอยู่ในช่วง $0.41-0.42$ กรัม และ $0.02-0.03$ กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ ปริมาณสารของกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณสารของกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-3.1-3.3 ภาคผนวก ค-3) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนเป็นสารกลุ่มอะโรมาติกมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้มีองค์ประกอบของสารกลุ่มที่มีขี้สูงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Özçimen และ Karaosmanoglu (2004) ดังนั้น ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ในการทดลองนี้จึงศึกษาเฉพาะในส่วนของสารกลุ่มที่มีขี้สูง (ในชั้นตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์) เท่านั้น



รูปที่ 4.9 สัดส่วนของกลุ่มสารในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (■) การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (■) และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (■)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้

ผลการศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดกลืนแสง เปรียบเทียบกับน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการทำให้บริสุทธิ์	พารามิเตอร์		
	พีเอช	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25 °C)	ค่าการดูดกลืนแสง
การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน	3.72±0.01	1.0061±0.0003	3.452±0.012
การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์	3.33±0.00	1.0059±0.0005	2.362±0.001
การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน	3.22±0.01	1.0053±0.0002	2.228±0.001
ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ	2.8-3.7	>1.005 (ที่ 25 °C)	-

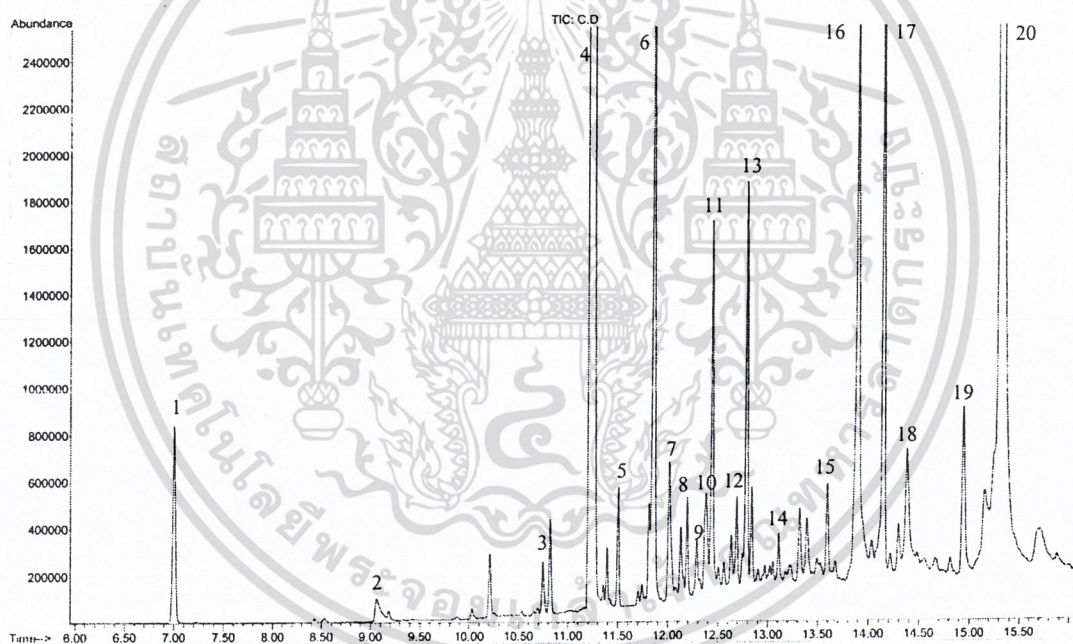
จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์, การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน และการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.33±0.00, 3.22±0.01 และ 3.72±0.01 ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.0059±0.0005, 1.0053±0.0002 และ 1.0061±0.0003 ตามลำดับ และค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 2.362±0.001, 2.228±0.001 และ 3.452±0.012 ตามลำดับ ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์, การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน มีค่าใกล้เคียงกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5.1-5.6 ภาคผนวก ข-5) โดยค่าพีเอชและค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธี มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547) (ดูรายละเอียดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบในภาคผนวก ง) อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน เนื่องจากในระหว่างการเติมอากาศทำให้สารบางชนิดระเหยไป และสารบางชนิดถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ และถูกกักไว้ด้วยเมมเบรน อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดกลืนแสง และค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ที่ทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธีนั้น มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-2.1-2.2 ภาคผนวก ค-2) ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธีนั้น มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-2.3 ภาคผนวก ค-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

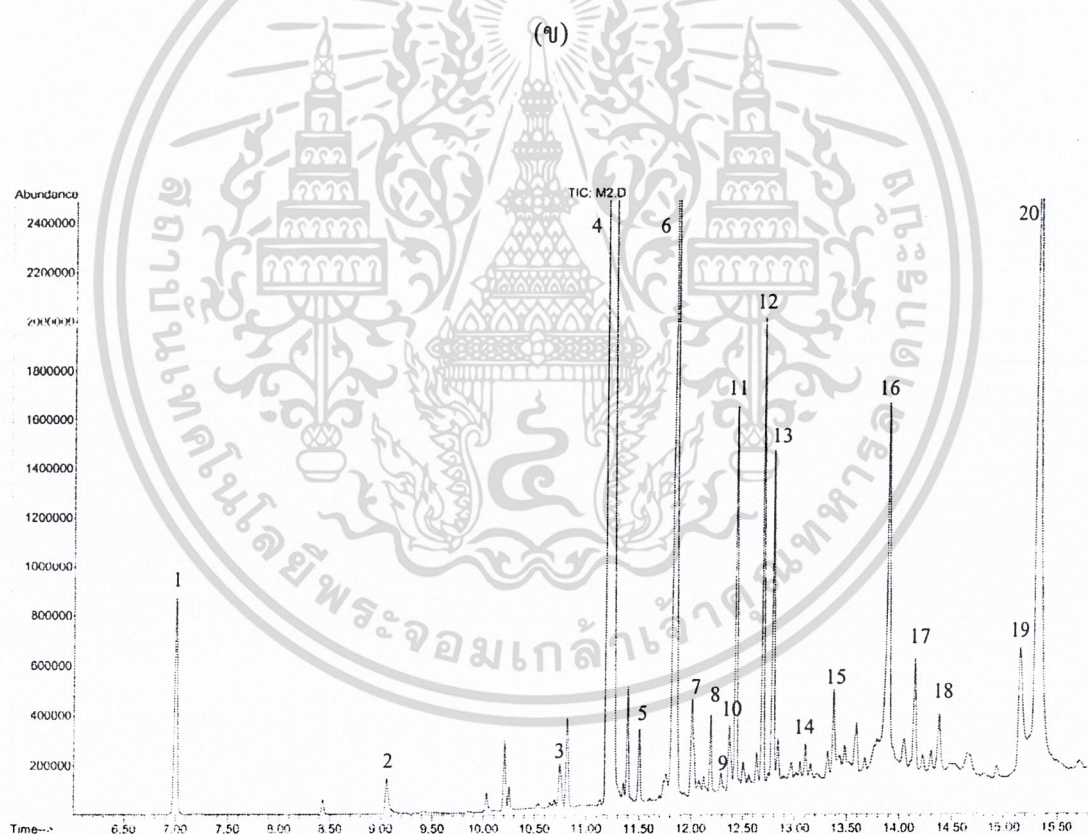
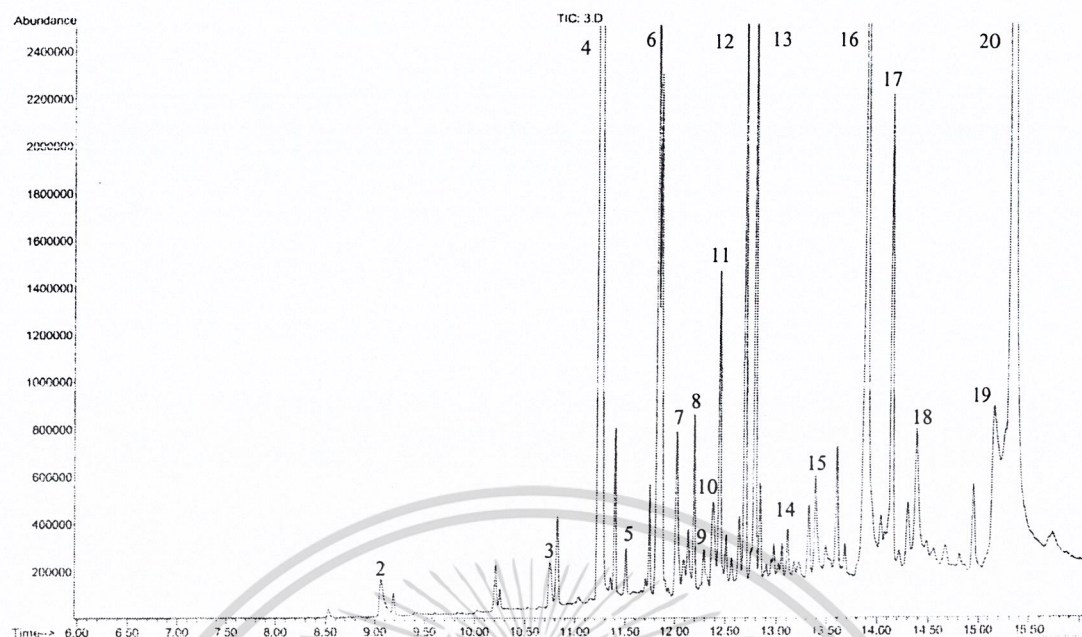
ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน โดยนำสารที่สกัดได้ในชั้นของไดเอทริลอีเทอร์ไปละลายด้วยไดเอทริลอีเทอร์ แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-MS ได้ผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.2-4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6.1-6.3 ภาคผนวก ข-6) พบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์, การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน และการทำให้บริสุทธิ์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน องค์ประกอบหลักที่พบ ได้แก่ กรดอะซิติก, ฟีนอล, 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one, guaiacol และกรดโพรพาโนอิก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jun และคณะ (2006) และ Yasuhara และ Sugiura (1987)



(ก)

รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่วิเคราะห์ด้วย GC-MS (ก) การทำให้บริสุทธิ์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (ข) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (ค) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน



(ค)

รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่วิเคราะห์ด้วย GC-MS
 (ก) การทำให้บริสุทธิ์โดยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (ข) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์
 โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (ค) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการ
 เติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	S.D.	Quality (เปอร์เซ็นต์)
1	Toluene	0.08	-	91
2	Pyridine	0.49	0.26	91
3	2-Cyclopenten-1-one	0.47	0.11	87
4	Acetic acid	35.90	3.84	91
5	2-Furancarboxaldehyde (furfural)	0.88	0.08	95
6	Propanoic acid	5.39	1.19	94
7	3-Methyl-2-cyclopentene-1-one	1.50	0.36	83
8	Methyl 3-acetylpropanoate	0.66	0.09	95
9	5-Methyl-2-Furancarboxaldehyde	0.46	0.11	94
10	3-Methoxy-pyridine	0.95	0.16	90
11	Butanoic acid	2.56	0.31	91
12	2-Furanmethanol	0.63	0.22	94
13	2(3H)-Furanone, dihydro	3.40	1.26	90
14	2-Butenoic acid	0.12	-	93
15	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	0.82	0.26	96
16	2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-one	8.21	3.65	96
17	2-Methoxyphenol (guaiacol)	5.48	0.90	97
18	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	1.45	0.18	95
19	Maltol	1.09	0.64	87
20	Phenol	18.09	3.59	94
Total		88.63		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	S.D.	Quality (เปอร์เซ็นต์)
1	Toluene	-	-	-
2	Pyridine	0.40	0.23	94
3	2-Cyclopenten-1-one	0.37	0.15	90
4	Acetic acid	37.13	14.56	91
5	2-Furancarboxaldehyde (furfural)	0.54	0.18	93
6	Propanoic acid	3.16	1.29	94
7	3-Methyl-2-cyclopentene-1-one	1.27	0.31	94
8	Methyl 3-acetylpropanoate	0.85	0.22	97
9	5-Methyl-2-Furancarboxaldehyde	0.39	0.07	85
10	3-Methoxy-pyridine	0.69	0.21	90
11	Butanoic acid	1.71	0.53	90
12	2-Furanmethanol	3.27	1.04	95
13	2(3H)-Furanone, dihydro	4.35	1.92	91
14	2-Butenoic acid	1.16	0.81	94
15	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	0.64	0.46	94
16	2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-one	6.97	4.23	96
17	2-Methoxyphenol (guaiacol)	3.62	0.64	97
18	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	0.96	0.59	94
19	Maltol	1.30	0.66	87
20	Phenol	20.54	3.17	94
Total		89.34		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

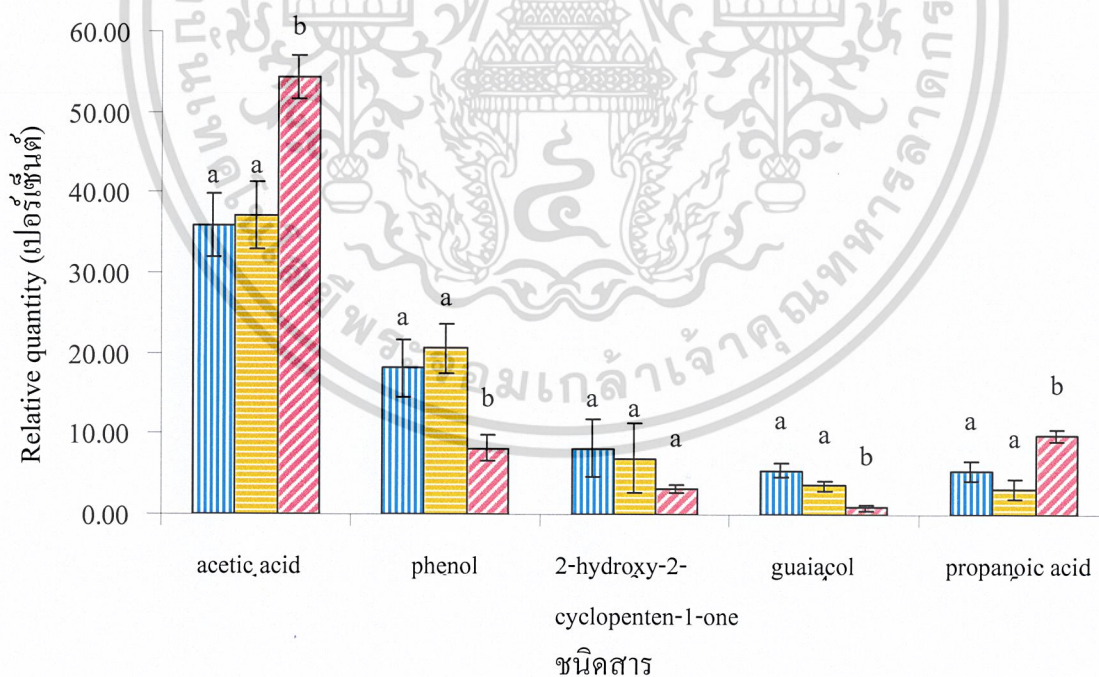
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-
ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	S.D.	Quality (เปอร์เซ็นต์)
1	Toluene	1.02	0.15	91
2	Pyridine	0.43	0.19	94
3	2-Cyclopenten-1-one	0.49	0.18	90
4	Acetic acid	54.32	2.64	91
5	2-Furancarboxaldehyde (furfural)	0.58	0.21	94
6	Propanoic acid	9.85	0.84	90
7	3-Methyl-2-cyclopentene-1-one	1.00	0.57	94
8	Methyl 3-acetylpropanoate	0.57	0.32	97
9	5-Methyl-2-Furancarboxaldehyde	0.24	0.20	86
10	3-Methoxy-pyridine	0.54	0.16	90
11	Butanoic acid	2.48	0.31	94
12	2-Furanmethanol	2.24	0.64	95
13	2(3H)-Furanone, dihydro	2.63	1.20	91
14	2-Butenoic acid	0.24	0.08	93
15	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	0.66	0.46	96
16	2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-one	3.14	0.51	96
17	2-Methoxyphenol (guaiacol)	0.94	0.35	94
18	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	0.44	0.13	94
19	Maltol	1.34	0.36	86
20	Phenol	8.22	1.53	94
Total		91.37		

รูปที่ 4.11 แสดงชนิดของสารหลักที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว ได้แก่ กรดอะซิติก, ฟีนอล, 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one, guaiacol และกรดโพรพาโนอิก โดยกรดอะซิติกและกรดโพรพาโนอิกเกิดจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส ในขณะที่ ฟีนอล, guaiacol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one เกิดจากการสลายตัวของลิกนิน (Kartal *et al.*, 2004 และ Eero, 1993) จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนกรดอะซิติก, ฟีนอล, guaiacol และกรดโพรพาโนอิก ในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน และการเติมอากาศ ร่วมกับถ่านกัมมันต์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ แต่มีค่าแตกต่างกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-4.1-4.5 ภาคผนวก ค-4) ในการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชันมีสัดส่วนฟีนอลน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฟีนอลระเหยไปในระหว่างการกรอง ในขณะที่สัดส่วนของกรดอะซิติก และกรดโพรพาโนอิกสูงกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากเมมเบรนนาโนที่ใช้เป็นชนิดไม่มีขั้ว ดังนั้นเมมเบรนจะกักสารกลุ่มที่ไม่มีขั้วไว้ และยอมให้สารกลุ่มที่มีขั้วผ่านเมมเบรนไปได้ จึงทำให้น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านระบบนาโนฟิลเทรชันแล้วพบกรดอะซิติกในปริมาณสูง ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิลเทรชัน ที่มีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 อย่างไรก็ตาม ควรทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารที่พบแต่ละชนิด โดยเทียบกับค่ามาตรฐานของสารนั้น ๆ เพิ่มเติมในอนาคต จะทำให้ทราบปริมาณของสารแต่ละชนิดที่พบได้ดีขึ้น

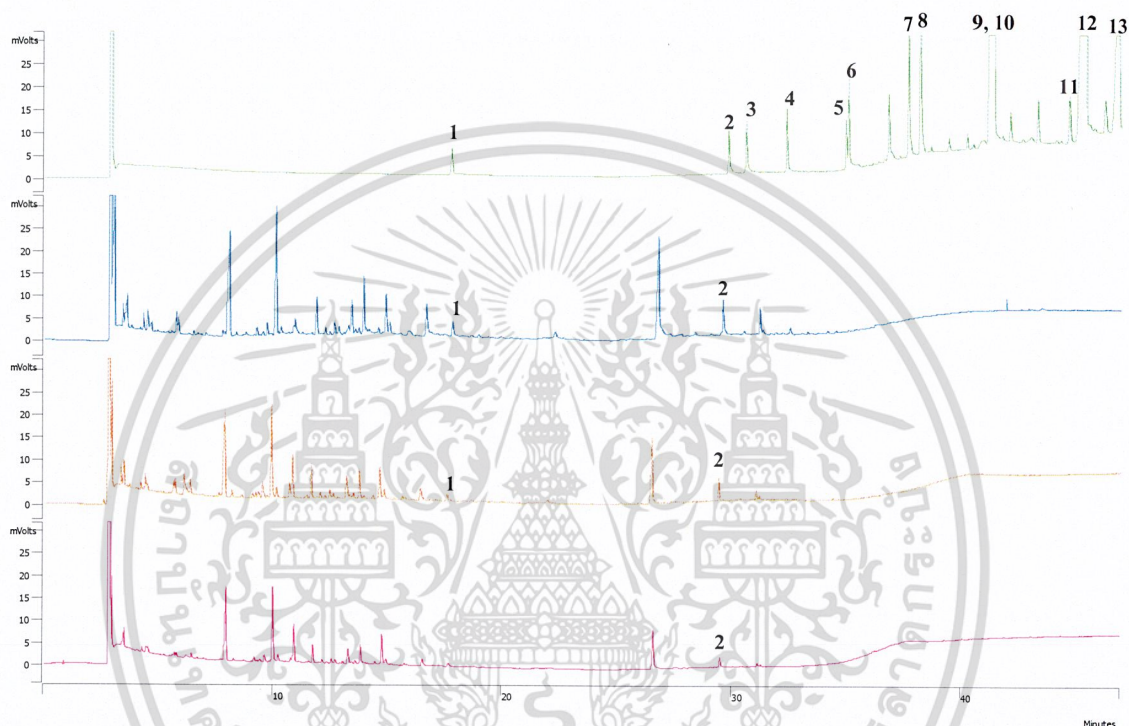


รูปที่ 4.11 Relative quantity ของสารที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (■) การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (■) และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (▨)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

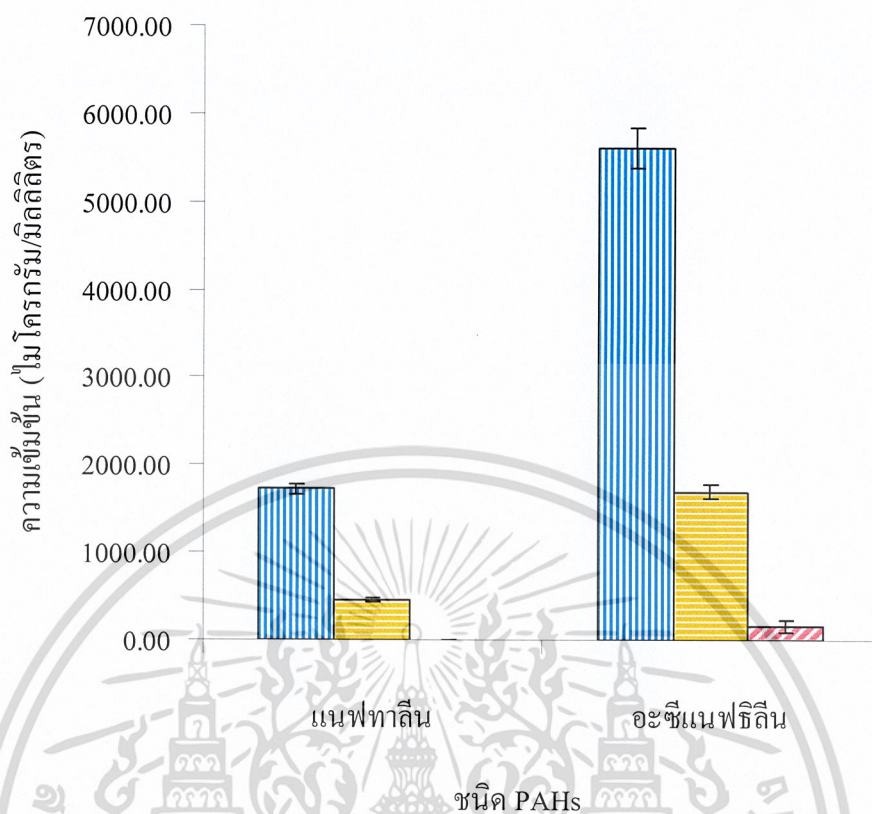
4.3.4 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน โดยการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID เปรียบเทียบกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.12-4.13



- | | | | | |
|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| 1. Naphthalene | 2. Acenaphthylene | 3. Acenaphthene | 4. Fluorene | 5. Phenanthrene |
| 6. Anthracene | 7. Fluoranthene | 8. Pyrene | 9. Benz(a)anthracene | 10. Benzo(a)pyrene |
| 11. Chrysene | 12. Benzo(b)fluoranthene | 13. Benzo(k)fluoranthene | | |

รูปที่ 4.12 โครมาโทแกรมของ PAHs ในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ที่วิเคราะห์ด้วย GC-FID โดย (—) สารมาตรฐาน PAHs (—) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 6 เดือน (—) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และ (—) น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน



รูปที่ 4.13 ปริมาณแนฟทาลีน และอะซีแนฟริลีนในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ 3 วิธีการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (■) การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (■) การเติมอากาศ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (▨)

จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน และการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ พบสาร PAHs 2 ชนิด ได้แก่ แนฟทาลีน และอะซีแนฟริลีน โดยแนฟทาลีนและอะซีแนฟริลีนในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน มีค่าเท่ากับ $1,727.71 \pm 59.13$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ $5,611.53 \pm 226.72$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และแนฟทาลีนและอะซีแนฟริลีนในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 452.97 ± 25.87 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ $1,692.46 \pm 75.95$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน พบอะซีแนฟริลีนเพียงชนิดเดียว มีค่าเท่ากับ 167.58 ± 67.72 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในภาคผนวก ข-7) จะเห็นได้ว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ สามารถลดปริมาณของแนฟทาลีนและอะซีแนฟริลีนได้ 73.78 เปอร์เซ็นต์ และ 69.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวิธีการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

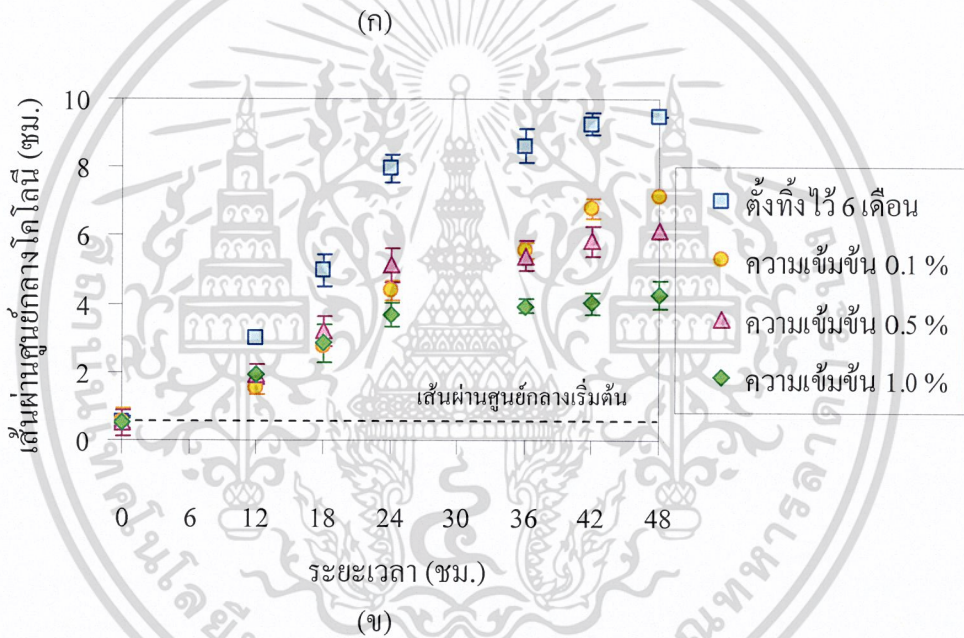
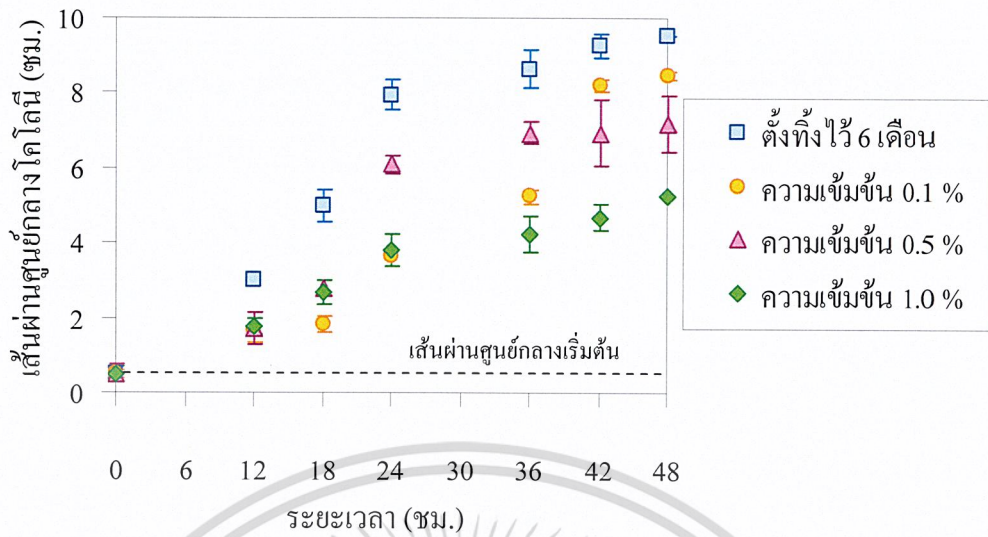
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเซอร์เอชเอ็นทีนการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้อาจเนื่องจากเนฟทาลินและอะซีแนฟทิลีนบางส่วนถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ ในขณะที่น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชันสามารถลดปริมาณของอะซีแนฟทิลีนได้ 97.01 เปอร์เซ็นต์ และกำจัดเนฟทาลินได้ทั้งหมด เมื่อเทียบกับวิธีการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ทั้งนี้เนื่องจากเนฟทาลินและอะซีแนฟทิลีนบางส่วนถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ และบางส่วนถูกกักไว้ในส่วนของรีเทนเททหรือติดค้างที่เมมเบรนนาโน โดยกลไกการคัดกรองสารด้วยการเกาะติด เนื่องจากพื้นผิวของเมมเบรนเป็นแบบไม่มีขั้ว จึงสามารถกักกันสาร PAHs ที่เป็นโมเลกุลไม่มีขั้วไว้ได้ นอกจากนี้การอุดตันเมมเบรนในระหว่างการเดินระบบอาจทำให้ PAHs ถูกกักกันไว้ด้วยเช่นกัน และจากคุณสมบัติของการละลายน้ำของเนฟทาลิน ที่มีค่าสูงกว่าของอะซีแนฟทิลีน (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543) ดังนั้น เมมเบรนจึงสามารถกำจัดเนฟทาลินได้มากกว่าอะซีแนฟทิลีน

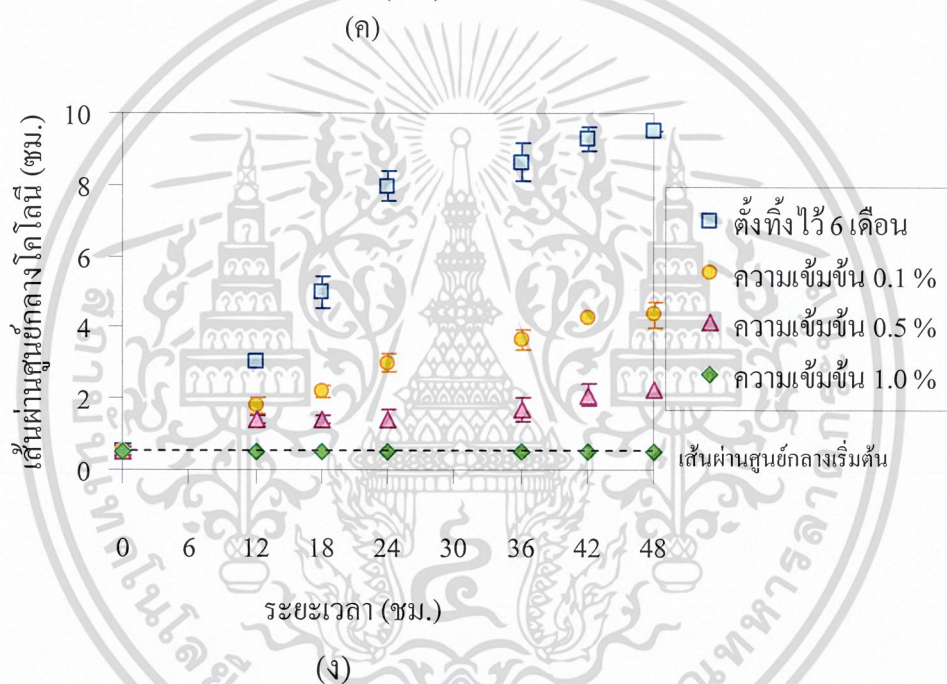
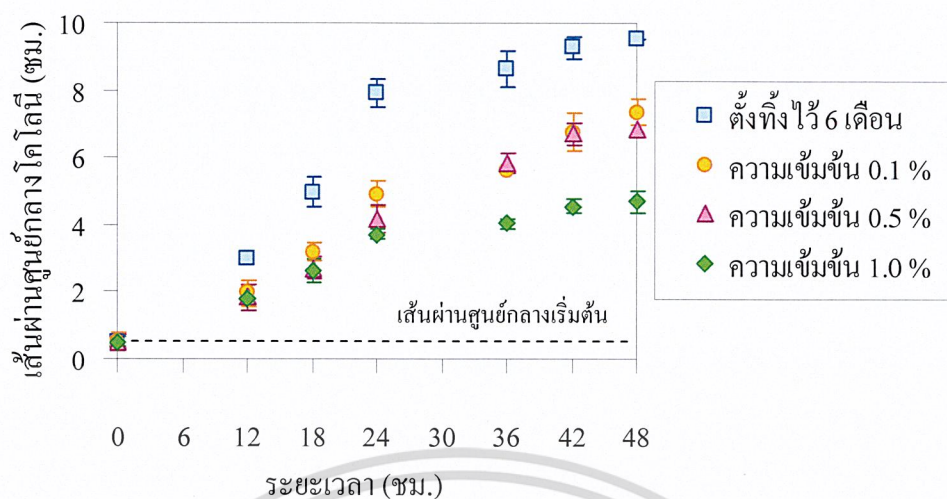
4.4 ผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

การทดลองนี้ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม *Pythium* sp. ที่ก่อโรคกับไม้ผลยืนต้น โดยใช้ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน เปรียบเทียบกับการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน และสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์, 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ชุดทดลอง) วัดการเจริญเติบโตของเชื้อรา ด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราในจานเพาะเชื้อ จนกระทั่งโคโลนีของเชื้อราในอาหาร PDA (ชุดควบคุม) เจริญเต็มจานเพาะเชื้อ

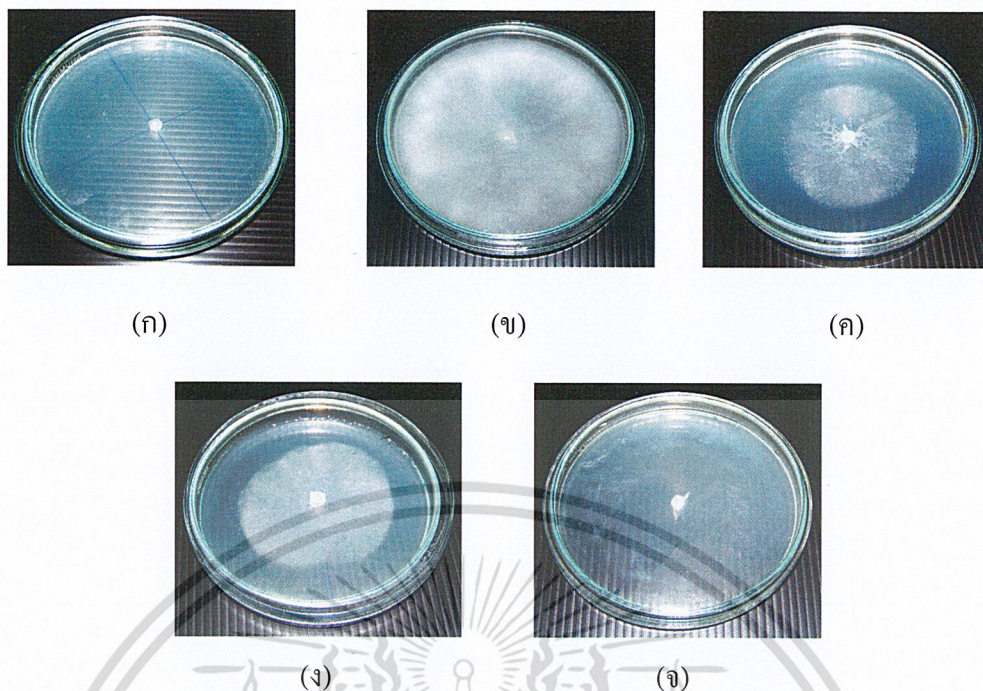
รูปที่ 4.14 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของเชื้อราที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ก) วิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (ข) และวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (ค) เปรียบเทียบกับอาหาร PDA ผสมสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน (ง) ในระยะเวลาต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า เชื้อราที่เลี้ยงในชุดควบคุมและชุดทดลองเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก จากนั้น เชื้อราจะเจริญเติบโตช้าลง อย่างไรก็ตาม เชื้อราในชุดควบคุมมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าชุดทดลอง และสามารถเจริญเต็มจานเพาะเชื้อที่เวลา 48 ชั่วโมง เนื่องจากเชื้อราในชุดควบคุมไม่ถูกยับยั้งโดยน้ำส้มควันไม้และสารฆ่าเชื้อรา นอกจากนี้ ยังพบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้และสารฆ่าเชื้อราเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยอดธง (2549) และ Yatagai และคณะ (2002)



รูปที่ 4.14 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของเชื้อราบนอาหาร PDA ที่ผสมกับน้ำส้มควั่นไม่ ที่ความชื้นต่าง ๆ (ก) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) การเติมอากาศร่วมกับถ่าน กัมมันต์ (ค) การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (ง) บน อาหาร PDA ที่ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะดีมีฟอน



รูปที่ 4.14 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของเชื้อราบนอาหาร PDA ที่ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ก) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน (ข) การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (ค) การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (ง) บนอาหาร PDA ที่ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน (ต่อ)



รูปที่ 4.15 การเจริญเติบโตของเชื้อรา *Pythium* sp. ในอาหาร PDA ที่เวลา 48 ชั่วโมง (ก) เชื้อราเริ่มต้น (ข) เชื้อราของชุดควบคุม (ค) เชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น 1.0 % v/v (ง) เชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเตอร์ชั้น ที่ความเข้มข้น 1.0 % v/v (จ) เชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมสารฆ่าเชื้อราไตรอะดิมิฟอนที่ความเข้มข้น 1.0 % v/v

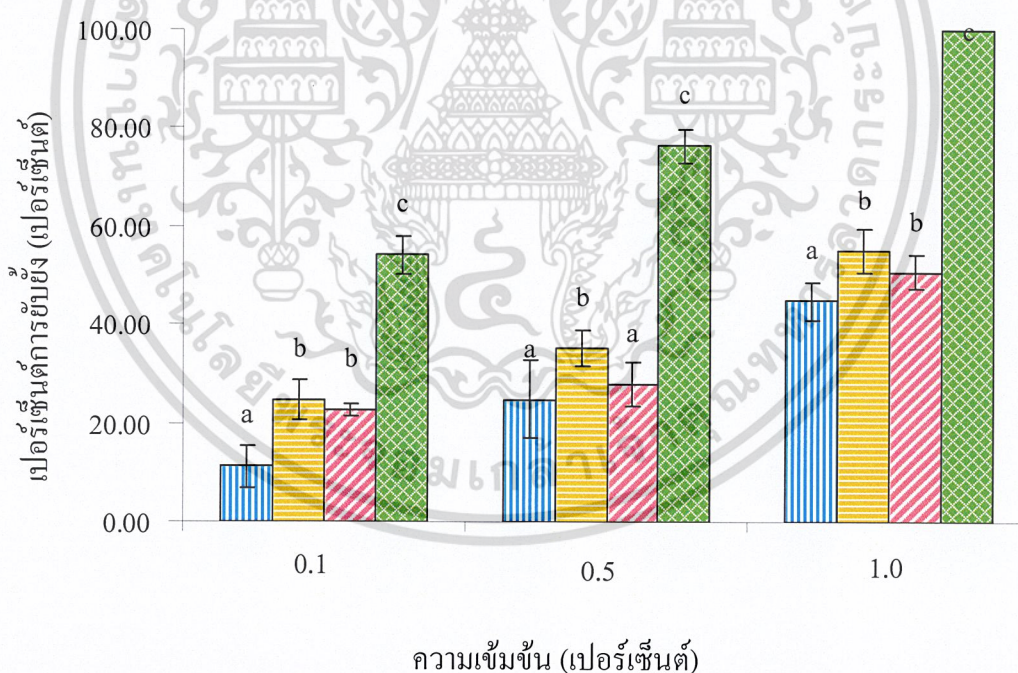
จากรูปที่ 4.15 แสดงการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม *Pythium* sp. ในจานเพาะเชื้อที่เวลา 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้และสารฆ่าเชื้อรา 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตรพบว่าโคโลนีของเชื้อราในชุดควบคุมจะเจริญเต็มจานเพาะเชื้อ (9.50 ± 0.00 เซนติเมตร) ส่วนโคโลนีของเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศร่วมถ่านกัมมันต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.27 ± 0.42 เซนติเมตร และโคโลนีของเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเตอร์ชั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.68 ± 0.33 เซนติเมตร ในขณะที่โคโลนีของเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมสารฆ่าเชื้อราไตรอะดิมิฟอนไม่มีการเจริญเติบโต

ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธี และสารฆ่าเชื้อราที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-8.1-8.13 ภาคผนวก ข-8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน, การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์, การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน และของสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน

วิธีการทำให้บริสุทธิ์	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ที่ความเข้มข้นต่างๆ		
	0.1 เปอร์เซ็นต์	0.5 เปอร์เซ็นต์	1.0 เปอร์เซ็นต์
ตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน	11.16±4.12	24.74±7.39	44.74±3.72
การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์	24.63±3.98	35.37±3.69	55.05±4.46
การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน	22.74±1.20	27.89±4.59	50.74±3.46
สารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน	54.21±3.87	76.36±3.30	100.00±0.00
ชุดควบคุม (ไม่ใส่น้ำส้มควันไม้)	0.00	0.00	0.00



รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (▨) การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (▩) การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (▧) และสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน (▦)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.16 พบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธี และสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม *Pythium* sp. โดยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้และสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอนเพิ่มขึ้น พบว่าที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม *Pythium* sp. ของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชันสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ 55.05 ± 4.46 เปอร์เซ็นต์ และ 50.74 ± 3.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-5.1-5.3 ภาคผนวก ค-5) โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.74 ± 3.72 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสูง ในขณะที่การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Pythium* sp. ของน้ำส้มควันไม้เกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ เช่น กรดอะซิติก และสารประกอบฟีนอลที่เกิดจากการสลายตัวของลิกนินในเนื้อไม้ ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Kartal *et al.*, 2004, Nakai *et al.*, 2007 และ Yatagai *et al.*, 2002) นอกจากนี้ การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีความเป็นกรดสูง โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.2-3.7 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชช่วง 5.0-8.5 (Park *et al.*, 2000)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน สามารถกำจัดน้ำมันดินในน้ำส้มควันไม้ได้ภายในเวลา 7 วัน ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือนมาก นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน สามารถกำจัดเนฟทาซีนได้ทั้งหมด และลดปริมาณของอะซีแนฟริลีน ได้ 97.01 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

2. จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ พบว่า ค่าพีเอช และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทั้งสองวิธีมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับน้ำส้มควันไม้ที่ตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน องค์ประกอบหลักของน้ำส้มควันไม้ที่พบ ได้แก่ กรดอะซิติก, ฟีนอล, 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one, guaiacol และกรดโพรพาโนอิก

3. น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ และวิธีการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในกลุ่ม *Pythium* sp. เท่ากับ 55.05 ± 4.46 เปอร์เซ็นต์ และ 50.74 ± 3.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.74 ± 3.72 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มการวิเคราะห์น้ำส้มควันไม้ที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ เป็นชุดควบคุมของการทดลอง
2. วิเคราะห์ค่า DO ก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยา ที่เวลาต่าง ๆ
3. การเดินระบบนาโนฟิลเทรชันที่ใช้ในงานวิจัยเป็นการเดินระบบแบบครั้ง และเป็นระบบขนาดเล็ก ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในระดับที่ใหญ่ขึ้นจึงต้องมีการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในการเดินระบบเพิ่มเติม
4. ควรมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการนำระบบนาโนฟิลเทรชันมาใช้ในการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์

5. การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นในระดับปฏิบัติการเท่านั้น มิได้ศึกษาในสภาวะจริงกับต้นไม้ที่เกิดโรค ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาในสภาวะจริงร่วมด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. 2543. พีเอเอส. กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ : บริษัท วัฒนาเพรส จำกัด.
- ขันทอง สุนทรภา. 2545. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. [ม.ป.ท.]
- จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2548. “น้ำส้มควันไม้ Wood Vinegar.” เกษตรกรรมธรรมชาติ. ฉบับที่ 6 : 19-53.
- จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2550. คู่มือการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ (CHARCOAL AND WOOD VINEGAR). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์.
- จูไรวัลย์ รัตนะพสิฐ, วรสร โพธิ์ทอง และ กวินธิดา อธิกิจไพบูลย์. [ม.ป.ป.]. “การศึกษาเบื้องต้นเพื่อ ประเมินคุณลักษณะน้ำส้มควันไม้จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา.” หน้า MT24-1-MT24-5. ใน การ ประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. สงขลา : คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชฤพนธ์ เจริญสุข. 2548. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดตันของเยื่อกรองแบบนาโนโดยสารอินทรีย์ทาง ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชมรมสวนป่า. ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้. [ม.ป.ป.]. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ : [ม.ป.ท.]
- ยอดธง ไบมา. 2549. การศึกษาน้ำส้มควันไม้ยุคดิจิทัลสำหรับใช้เป็นสารช่วยให้อย่างจับตัวและสาร ยับยั้งการเกิดเชื้อราในการผลิตยางแผ่น. รายงานฉบับสมบูรณ์. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัย มหาสารคาม
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไทยเส็ง.
- ราตรี ปิ่นทอง, ถักขมา ตันติจรรยารัตน์ และ สุราลีณี วงศ์ศรีวัฒนกุล. 2543. การดูดซับสารละลาย สีย้อมโดยใช้ต้นข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สื่อเกษตร. 2548. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. กรุงเทพฯ : [ม.ป.ท.]
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ ชุมชน น้ำส้มควันไม้ดิบ. [ออนไลน์].

Available : http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps659_47.pdf

- Akakabe, Y., Tamura, Y., Iwamoto, S., Takabayashi, M., and Nyuugaku, T. 2006. Volatile Organic Compounds with Characteristic Oder in Bamboo Vinegar. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 70 : 2797-2799.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2004. [Online].
Available : <http://www.astmpubs.com/>
- Bjorseth, A. and Becher, Georg. 1986. **PAHs in Work Atmospheres: Occurrence and Determination.** United States. CRC Press Inc.
- Cai, Y. 1999. Size Distribution Measurements of Dissolved Organic Carbon in Natural Waters using Ultrafiltration Technique. **Wat. Res.** 33 : 3056 – 3060.
- CA International Information Co.,Ltd. [Online].
Available : <http://mdit.pbru.ac.th/sme/Details/InvestmentExamples/I015.doc>
- Cheremisinoff, G. and Morresi, S. 1978. **Carbon Adsorption Handbook.** United States. Ann Arbor Science Publisher.
- Demirbas, A. 2002. Partly Chemical Analysis of Liquid Fraction of Flash Pyrolysis Products from Biomass in the Presence of Sodium Carbonate. **Energy Conv. Manag.** 43 : 1801-1809.
- Demirbas, A. 2007. The Influence of Temperature on the Yields of Compounds Existing in Bio-oils Obtained from Biomass Samples via Pyrolysis. **Fuel Proc. Technol.** 88 : 591-597.
- dos Santos Barbosa, J.M., Ré-Poppi, N., and Santiago-Silva, M. 2006. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Wood Pyrolysis in Charcoal Production Furnaces. **Environ. Res.** 101 : 304-311.
- Eero, S. 1993. **Wood Chemistry Fundamentals and Application.** United States. California Press, Inc.
- Forestry Department of Food and Agriculture Organization of The United Nations. [Online].
Available : <http://www.fao.org/docrep/x5328e/x5328e0d.htm#TopOfPage>
- Güllü, D. and Demirbas, A. 2001. Biomass to Methanol via Pyrolysis Process. **Energy Convers. Manag.** 42 : 1349-1356.
- Jun, M., Tohru, U., and Takeshi, F. 2003. Effect of Bamboo Vinegar on Regulation of Germination and Radicle Growth of Seed Plants. **J. Wood Sci.** 49 : 262-270.
- Jun, M., Tohru, U., and Takeshi, F. 2004. Effect of Bamboo Vinegar on Regulation of Germination and Radicle Growth of Seed Plants II: Composition of Moso Bamboo Vinegar at Different Collection Temperature and its Effect. **J. Wood Sci.** 50 : 470-476.

- 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.
- 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.
- Kilduff, J. E., Mattaraj, S., and Belfort, G. 2004. Flux Decline During Nanofiltration of Naturally-Occurring Dissolved Organic Matter : Effects of Osmotic Pressure, Membrane Permeability, and Cake Formation. **J. Membr. Sci.** 239 : 39-53.
- Kimura, Y., Suto, S., and Tatsuka, M. 2002. Evaluation of Carcinogenic/Co-carcinogenic Activity of Chikusaku-eki a Bamboo Charcoal By-product Used as a Folk Remedy, in BALB/c 3T3 Cells. **Biol. Pharm. Bull.** 25 : 1026-1029.
- Kweon, J. H. and Lawler, F.D. 2004. Fouling Mechanisms in the Integrated System with Softening and Ultrafiltration. 2004. **Wat. Res.** 38 : 4164 - 4172.
- Lee, M.L., Novotny, M.V., and Bartle, K.D. 1981. **Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds.** United States. Academic Press Inc.
- Lin, Y-L., Chiang, P-C., and Chang, E-E. 2006. Reduction of Disinfection By-products Precursors by Nanofiltration Process. **J. Hazar. Mate.** B137 : 324 – 331.
- Mallevalle, J., Odendaal, P.E., and Wiesner, M.R. 1996. **Water Treatment Membrane Processes.** South Africa. McGraw-Hill.
- Mijatovic, I., Matošić, M., Hajduk, Cerneha, B., and Bratulic, D. 2004. Removal of Natural Organic Matter by Ultrafiltration and Nanofiltration for Drinking Water Production. **Desalination.** 169 : 223-230.
- Mitchell, R.L., Burchett, M.D., Pulkownik, A., and McCluskey, L. 1988. Effects of Environmetally Hazardous Chemicals on the Emergence and Early Growth of Selected Australian Plants. **Plant Soil.** 112 : 195 – 199.
- Mudoga, H.L., Yucel, H., and Kincal, N.S. 2008. Decolorization of Sugar Syrups Using Commercial and Sugar Beet Pulp Based Activated Carbons. **Biores. Technol.** 99 : 3528-3533.
- Nakai, T., Kartal, N., Hata, T., and Imamura, Y. 2007. Chemical Characterization of Pyrolysis Liquids of Wood-based Composites and Evaluation of Their Bio-efficiency. **Build Environ.** 42 : 1236-1241.

- Neuhauser, E.F., Loeher, R.C., Malecki, M.R., Milligan, D.L., and Durkin, P.R. 1985. The Toxicity of Selected Organic Chemicals to the Earthworm *Eisenia fetida*. **J. Environ. Qual.** 14 : 383 – 388.
- Özçimen, D. and Karaosmanoglu, F. 2004. Production and Characterization of Bio-oil and Biochar from Rapeseed Cake. **Renew. Energy.** 29 : 779-787.
- Park, S.P., Sakaguchi, K., Kakinuma, M., and Amano, H. 2000. Comparison of the Morphological and Physiological Features of the Red Rot Disease Fungus *Phyhtium* sp. Isolated from *Porphyra yezoensis* from Korea and Japan. **Fisheries Sci.** 66 : 261-269.
- Pimenta, A.S., Vital, B.R., Bayona, J.M., and Alzaga, R. 1998. Characterisation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Liquid Products from Pyrolysis of *Eucalyptus grandis* by Supercritical Fluid Extraction and GC/MS Determination. **Fuel** 77 : 1133-1139.
- Richter, H. and Howard, J.B. 2000. Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Growth to Soot – a Review of Chemical Reaction Pathways. **Prog. Energy Combust. Sci.** 26 : 565 – 608.
- Schafer, E.W.Jr., Bowles, W. A. Jr., and Hurlbut, J. 1983. The Acute Oral Toxicity, Repellency, and Hazard Potential of 998 Chemical to One or More Species of Wild and Domestic Birds. **Arch. Environ. Contam Toxicol.** 12 : 355 – 381.
- Scholze, B., Hanser, C., and Meier, D. 2001. Characterization of the Waterinsoluble Fraction from Fast Pyrolysis Liquids (pyrolytic lignin)-PartII. GPC, Carbonyl Groups, and ¹³C-NMR. **J. Anal. Appl. Pyrolysis.** 58-59 : 387-400.
- Şensöz, S. 2003. Slow Pyrolysis of Wood Barks from *Pinus brutia* Ten. and Product Compositions. **Biores. Technol.** 89 : 307-311.
- Slejko, F.L. 1985. **Adsorption Technology**. United States. Marcel Dekker Inc.
- Spectrum Laboratories, Inc. [Online]. Available : <http://www.spectrapor.com/filtration/Edge.html>
- Watanabe, Y. and Imamura, E. “Anti-allergy Composition Comprising Wood Vinegar or Bamboo Vinegar distilled solution.” U.S. Patent no. 7214393, May 2007.
- Yasuhara, A. and Sugiura, G. 1987. Volatile Compounds in Pyrolytic Liquids from Karamatsu and Chishima-sasa. **Agric. Biol. Chem.** 51 : 3049-3060.
- Yatagai, M., Nishimoto, M., Hori, K., Ohira, T., and Shibata, A. 2002. Termiticidal Activity of Wood Vinegar, its Components and Their Homologues. **J. Wood Sci.** 48 : 338-342.

Yoshimura, H., Washio, H., Yoshi, S., Seino, T., Otaka, M., Matsubara, K., and Matsubara, M.
1995. Promoting Effect of Wood Vinegar Compounds on Fruit-body Formation of *Pleurotus
ostreatus*. *Mycoscience*. 36 : 173-177.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 และบันทึกอุณหภูมิของน้ำ (y)
- 4) คำนวณหาน้ำหนักของน้ำกลั่น (W) โดยนำน้ำหนักพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นมาลบด้วยน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า
- 5) ทำความสะอาดพิกโนมิเตอร์ นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 6) ชั่งน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า บันทึกผล
- 7) เติมน้ำส้มคว้น ไม้ลงในพิกโนมิเตอร์ที่ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าแล้ว เช็ดให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกผล และบันทึกอุณหภูมิของน้ำส้มคว้น ไม้ (x)
- 8) คำนวณหาน้ำหนักของน้ำส้มคว้น ไม้ (S) โดยนำน้ำหนักพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำส้มคว้น ไม้มาลบด้วยน้ำหนักพิกโนมิเตอร์เปล่า
- 9) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มคว้น ไม้ ดังสมการ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ } x/y \text{ องศาเซลเซียส} = \frac{S}{W}$$

เมื่อ x คือ อุณหภูมิของน้ำส้มคว้น ไม้

y คือ อุณหภูมิของน้ำกลั่น

S คือ ความหนาแน่นของน้ำส้มคว้น ไม้

W คือ ความหนาแน่นของน้ำกลั่น

ภาคผนวก ก-2 การเตรียมอาหารแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA)

- 1) ละลายอาหารสำเร็จ Potato Dextrose Agar (PDA) 39 กรัม ในน้ำกลั่น ประมาณ 500 มิลลิลิตร
- 2) นำไปเข้า Microwave เพื่อ PDA ละลาย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นประมาณ 950 มิลลิลิตร แล้วนำไปปรับพีเอช ด้วย 1 N NaOH หรือ 1 N HCl จนได้พีเอช ประมาณ 5.6 ± 0.02 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 3) นำอาหารไปฆ่าเชื้อในเครื่องอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
- 4) นำออกจากเครื่องอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ปล่อยให้อุ่นจนสามารถจับได้ แล้วเทใส่ในจานเพาะเชื้อ ทิ้งไว้จนเย็นเพื่อให้วุ้นแข็งตัวดี คำนวณอาหารเพาะเชื้อ ใส่ถุง ระบุชื่ออาหาร วันที่เตรียมอาหาร นำไปแช่ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บไว้ใช้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-1 การหาปริมาณอากาศที่เหมาะสม

ตารางที่ ข-1.1 ผลการสอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเติมอากาศ

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	เฉลี่ย	S.D.
1	11.79	11.99	0.23
2	11.93		
3	12.24		

หมายเหตุ : ทำการสอบเทียบต่อการแทนที่น้ำ 200 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{การคำนวณ} &= \frac{200 \text{ มิลลิลิตร}}{11.99 \text{ วินาที}} \times \frac{60 \text{ วินาที}}{1 \text{ นาที}} \\ &= 1,000.83 \text{ มิลลิลิตรต่อนาที} \end{aligned}$$

ตารางที่ ข-1.2 ค่า DO ของน้ำส้มควันไม้ที่เวลาต่างๆ เมื่อมีการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	อัตราการไหล (มิลลิลิตร/นาที)	DO (มิลลิกรัม/ลิตร)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
0	1,000	2.2	2.3	2.6	2.37	0.21
15	1,000	7.4	7.4	7.4	7.40	0.00
30	1,000	7.4	7.5	7.3	7.40	0.10
45	1,000	7.4	7.3	7.4	7.37	0.06
60	1,000	7.3	7.5	7.4	7.40	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำส้มควันไม้

ตารางที่ ข-2.1 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์
0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาช ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาช หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
1 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4597	0.4601	0.0004	0.0004	0.0002
ครั้งที่ 2	0.4497	0.4503	0.0006		
ครั้งที่ 3	0.4576	0.4579	0.0003		
3 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4505	0.4573	0.0068	0.0063	0.0005
ครั้งที่ 2	0.4524	0.4585	0.0061		
ครั้งที่ 3	0.4438	0.4497	0.0059		
6 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4473	0.4554	0.0081	0.0065	0.0004
ครั้งที่ 2	0.4548	0.4609	0.0061		
ครั้งที่ 3	0.4533	0.4587	0.0054		
12 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4533	0.4596	0.0063	0.0066	0.0004
ครั้งที่ 2	0.4594	0.4658	0.0064		
ครั้งที่ 3	0.4443	0.4514	0.0071		
24 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4625	0.4693	0.0068	0.0075	0.0009
ครั้งที่ 2	0.4688	0.4774	0.0086		
ครั้งที่ 3	0.4600	0.4672	0.0072		
48 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4563	0.4663	0.0100	0.0110	0.0016
ครั้งที่ 2	0.4570	0.4671	0.0101		
ครั้งที่ 3	0.4652	0.4781	0.0129		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.1 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์
0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
72 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4615	0.4733	0.0118	0.0113	0.0007
ครั้งที่ 2	0.4629	0.4744	0.0115		
ครั้งที่ 3	0.4593	0.4698	0.0105		
96 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4559	0.4661	0.0102	0.0116	0.0012
ครั้งที่ 2	0.4428	0.4554	0.0126		
ครั้งที่ 3	0.4496	0.4616	0.0120		
120 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4603	0.4716	0.0113	0.0103	0.0009
ครั้งที่ 2	0.4483	0.4578	0.0095		
ครั้งที่ 3	0.4496	0.4596	0.0100		
144 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4518	0.4552	0.0034	0.0034	-
ครั้งที่ 2	0.4542	0.4595	(0.0053)		
ครั้งที่ 3	0.4409	0.4444	0.0035		
168 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4487	0.4490	0.0003	0.0004	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4498	0.4503	0.0005		
ครั้งที่ 3	0.4561	0.4564	0.0003		
192 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4612	0.4615	0.0003	0.0002	0.0002
ครั้งที่ 2	0.4535	0.4535	0.0000		
ครั้งที่ 3	0.4552	0.4554	0.0002		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.1 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์
0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
216 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4593	0.4596	0.0003	0.0003	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4478	0.4481	0.0003		
ครั้งที่ 3	0.4306	0.4308	0.0002		
240 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4431	0.4433	0.0002	0.0003	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4527	0.4530	0.0003		
ครั้งที่ 3	0.4597	0.4601	0.0004		
น้ำหนักตะกอนรวม (กรัม)				0.0761	

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บ คือ ค่าที่ถูกตัดทิ้ง เนื่องจากมีค่าเกิน out liner

ตารางที่ ข-2.2 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์

1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
1 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4541	0.4543	0.0002	0.0002	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4528	0.4530	0.0002		
ครั้งที่ 3	0.4624	0.4627	0.0003		
3 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4631	0.4697	0.0066	0.0062	0.0006
ครั้งที่ 2	0.4450	0.4514	0.0064		
ครั้งที่ 3	0.4563	0.4618	0.0055		
6 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4597	0.4673	0.0076	0.0080	0.0007
ครั้งที่ 2	0.4623	0.4699	0.0076		
ครั้งที่ 3	0.4583	0.4671	0.0088		
12 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4536	0.4686	0.0150	0.0149	0.0002
ครั้งที่ 2	0.4473	0.4620	0.0147		
ครั้งที่ 3	0.4524	0.4675	0.0151		
24 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4521	0.4681	0.0160	0.0148	0.0011
ครั้งที่ 2	0.4652	0.4798	0.0146		
ครั้งที่ 3	0.4630	0.4769	0.0139		
48 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4587	0.4698	0.0111	0.0109	0.0002
ครั้งที่ 2	0.4562	0.4671	0.0109		
ครั้งที่ 3	0.4595	0.4703	0.0108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่างๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์
1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาช ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาช หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
72 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4509	0.4604	(0.0095)	0.0044	-
ครั้งที่ 2	0.4547	0.4592	0.0045		
ครั้งที่ 3	0.4584	0.4627	0.0043		
96 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4432	0.4463	0.0031	0.0033	0.0003
ครั้งที่ 2	0.4572	0.4608	0.0036		
ครั้งที่ 3	0.4573	0.4606	0.0033		
120 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4615	0.4670	0.0055	0.0042	0.0017
ครั้งที่ 2	0.4573	0.4596	0.0023		
ครั้งที่ 3	0.4617	0.4665	0.0048		
144 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4673	0.4713	0.0040	0.0037	0.004
ครั้งที่ 2	0.4474	0.4511	0.0037		
ครั้งที่ 3	0.4521	0.4554	0.0033		
168 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4613	0.4617	0.0004	0.0003	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4546	0.4549	0.0003		
ครั้งที่ 3	0.4592	0.4595	0.0003		
192 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4469	0.4471	0.0002	0.0003	0.0003
ครั้งที่ 2	0.4543	0.4544	0.0001		
ครั้งที่ 3	0.4558	0.4564	0.0006		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์

1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
216 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4617	0.4618	0.0001	0.0002	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4628	0.4631	0.0003		
ครั้งที่ 3	0.4491	0.4494	0.0003		
240 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4437	0.4439	0.0002	0.0002	0.0002
ครั้งที่ 2	0.4591	0.4591	0.0000		
ครั้งที่ 3	0.4486	0.4490	0.0004		
น้ำหนักตะกอนรวม (กรัม)				0.0716	

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บ คือ ค่าที่ถูกตัดทิ้ง เนื่องจากมีค่าเกิน out liner

ตารางที่ ข-2.3 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์
1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
1 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4668	0.4668	0.0000	0.0001	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4665	0.4666	0.0001		
ครั้งที่ 3	0.4511	0.4512	0.0001		
3 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4611	0.4708	0.0097	0.0091	0.0007
ครั้งที่ 2	0.4513	0.4597	0.0084		
ครั้งที่ 3	0.4595	0.4688	0.0093		
6 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4577	0.4735	0.0158	0.0153	0.0005
ครั้งที่ 2	0.4590	0.4738	0.0148		
ครั้งที่ 3	0.4600	0.4752	0.0152		
12 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4565	0.4697	0.0132	0.0147	0.0013
ครั้งที่ 2	0.4630	0.4781	0.0151		
ครั้งที่ 3	0.4585	0.4743	0.0158		
24 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4628	0.4719	0.0091	0.0091	0.0007
ครั้งที่ 2	0.4637	0.4734	0.0097		
ครั้งที่ 3	0.4644	0.4728	0.0084		
48 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4649	0.4706	0.0057	0.0036	0.0018
ครั้งที่ 2	0.4629	0.4656	0.0027		
ครั้งที่ 3	0.4544	0.4568	0.0024		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์

1.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
72 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4538	0.4582	0.0044	0.0058	0.0012
ครั้งที่ 2	0.4609	0.4676	0.0067		
ครั้งที่ 3	0.4493	0.4556	0.0063		
96 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4506	0.4551	0.0045	0.0041	0.0004
ครั้งที่ 2	0.4555	0.4594	0.0039		
ครั้งที่ 3	0.4597	0.4635	0.0038		
120 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4615	0.4632	0.0017	0.0017	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4631	0.4649	0.0018		
ครั้งที่ 3	0.4572	0.4589	0.0017		
144 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4546	0.4563	0.0017	0.0017	0.0005
ครั้งที่ 2	0.4639	0.4651	0.0012		
ครั้งที่ 3	0.4506	0.4528	0.0022		
168 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4538	0.4541	0.0003	0.0003	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4568	0.4571	0.0003		
ครั้งที่ 3	0.4592	0.4594	0.0002		
192 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4676	0.4677	0.0001	0.0002	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4556	0.4559	0.0003		
ครั้งที่ 3	0.4627	0.4629	0.0002		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลาต่างๆ ของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์
1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักกระดาษ ก่อนกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังกรอง (กรัม)	น้ำหนักตะกอน (กรัม)	น้ำหนักตะกอน เฉลี่ย (กรัม)	S.D.
216 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4555	0.4557	0.0002	0.0001	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4647	0.4647	0.0000		
ครั้งที่ 3	0.4681	0.4682	0.0001		
240 ชั่วโมง					
ครั้งที่ 1	0.4623	0.4625	0.0002	0.0001	0.0001
ครั้งที่ 2	0.4466	0.4467	0.0001		
ครั้งที่ 3	0.4492	0.4493	0.0001		
น้ำหนักตะกอนรวม (กรัม)				0.0659	

การคำนวณน้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้น

น้ำหนักตะกอน (กรัม)

$$= \text{น้ำหนักกระดาษกรองหลังกรอง (กรัม)} - \text{น้ำหนักกระดาษกรองก่อนกรอง (กรัม)}$$

ภาคผนวก ข-3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ ข-3.1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ $\lambda = 339 \text{ nm}$

ระยะเวลา (ชม.)	ค่าการดูดกลืนแสง				
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.
168	2.350	2.379	2.353	2.361	0.016
192	2.352	2.355	2.371	2.359	0.010
216	2.364	2.360	2.357	2.360	0.003
240	2.368	2.352	2.358	2.359	0.008

ตารางที่ ข-3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ $\lambda = 339 \text{ nm}$

ระยะเวลา (ชม.)	ค่าการดูดกลืนแสง				
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.
168	1.442	1.429	1.406	1.426	0.018
192	1.427	1.433	1.415	1.425	0.009
216	1.421	1.419	1.439	1.426	0.011
240	1.439	1.422	1.421	1.427	0.010

ตารางที่ ข-3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ $\lambda = 339 \text{ nm}$

ระยะเวลา (ชม.)	ค่าการดูดกลืนแสง				
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.
168	0.937	0.899	0.818	0.885	0.061
192	0.875	0.883	0.898	0.885	0.012
216	0.832	0.914	0.877	0.874	0.041
240	0.891	0.876	0.903	0.890	0.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-4 การวิเคราะห์สัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้

ตารางที่ ข-4.1 สัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีซัลเฟอร์ในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

กลุ่มสาร	น้ำหนักขวด (กรัม)	น้ำหนักขวดและสาร (กรัม)	น้ำหนักสาร (กรัม)	น้ำหนักสารเฉลี่ย (กรัม)	S.D.
กลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน					
ครั้งที่ 1	96.05	96.07	0.02	0.02	0.01
ครั้งที่ 2	100.72	100.75	0.03		
ครั้งที่ 3	99.74	99.76	0.02		
กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน					
ครั้งที่ 1	105.78	105.85	0.07	0.06	0.01
ครั้งที่ 2	93.73	93.79	0.06		
ครั้งที่ 3	104.87	104.93	0.06		
กลุ่มที่มีซัลเฟอร์					
ครั้งที่ 1	95.15	95.61	0.46	0.42	0.04
ครั้งที่ 2	95.38	95.81	0.43		
ครั้งที่ 3	105.79	106.17	0.38		
น้ำหนักทั้งหมด				0.51	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.2 สัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีขั้วสูงในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ ร่วมกับถ่านกัมมันต์

กลุ่มสาร	น้ำหนักขวด (กรัม)	น้ำหนักขวดและสาร (กรัม)	น้ำหนักสาร (กรัม)	น้ำหนักสารเฉลี่ย (กรัม)	S.D.
กลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน					
ครั้งที่ 1	99.22	99.23	0.01	0.02	0.02
ครั้งที่ 2	88.41	88.45	0.04		
ครั้งที่ 3	104.88	104.89	0.01		
กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน					
ครั้งที่ 1	96.60	96.77	0.17	0.17	0.02
ครั้งที่ 2	100.82	101.01	0.19		
ครั้งที่ 3	99.91	100.07	0.16		
กลุ่มที่มีขั้วสูง					
ครั้งที่ 1	104.38	104.80	0.42	0.41	0.02
ครั้งที่ 2	94.99	95.37	0.38		
ครั้งที่ 3	100.81	101.23	0.42		
น้ำหนักทั้งหมด				0.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.3 สัดส่วนของสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีซัลเฟอร์ในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ- ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

กลุ่มสาร	น้ำหนักขวด (กรัม)	น้ำหนักขวดและสาร (กรัม)	น้ำหนักสาร (กรัม)	น้ำหนักสารเฉลี่ย (กรัม)	S.D.
กลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน					
ครั้งที่ 1	100.23	100.27	0.04	0.03	0.01
ครั้งที่ 2	99.19	99.21	0.02		
ครั้งที่ 3	96.05	96.07	0.02		
กลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน					
ครั้งที่ 1	88.42	88.57	0.15	0.14	0.04
ครั้งที่ 2	110.03	110.13	0.10		
ครั้งที่ 3	96.01	96.18	0.17		
กลุ่มที่มีซัลเฟอร์					
ครั้งที่ 1	99.16	99.58	0.42	0.41	0.01
ครั้งที่ 2	93.01	93.41	0.40		
ครั้งที่ 3	93.70	94.12	0.42		
น้ำหนักทั้งหมด				0.58	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้

สัดส่วนของกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{น้ำหนักสารกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

สัดส่วนของกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{น้ำหนักสารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

สัดส่วนของกลุ่มที่มีขี้ผึ้ง (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{น้ำหนักสารกลุ่มที่มีขี้ผึ้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-5 คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ ข-5.1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กระบวนการกำจัดน้ำมันดิน	ค่าการดูดกลืนแสง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน	3.448	3.442	3.465	3.452	0.012
การเติมอากาศ	3.748	3.725	3.731	3.735	0.012
การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์	2.361	2.363	2.361	2.362	0.001
การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิวเทรชัน	2.227	2.228	2.228	2.228	0.001

ตารางที่ ข-5.2 ค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้ดิบ และน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กระบวนการกำจัดน้ำมันดิน	พีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
น้ำส้มควันไม้ดิบ	3.33	3.32	3.32	3.32	0.01
การตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน	3.72	3.72	3.71	3.72	0.01
การเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์	3.33	3.33	3.33	3.33	0.00
การเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบนาโนฟิวเทรชัน	3.23	3.22	3.22	3.22	0.01

ตารางที่ ข-5.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบ

ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำ (กรัม/มิลลิลิตร)		
ครั้งที่ 1	15.7251	25.9611	10.2360	10	1.0236		
ครั้งที่ 2	15.7250	25.9614	10.2364	10	1.0236		
ครั้งที่ 3	15.7254	25.9618	10.2364	10	1.0236		
ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำส้ม ควันไม้ (กรัม)	น้ำหนักน้ำส้มควันไม้ (กรัม)	ปริมาตรน้ำส้มควันไม้ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำส้ม ควันไม้ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความถ่วง จำเพาะ	S.D.
ครั้งที่ 1	15.7253	26.0537	10.3284	10	1.0328	1.0090	
ครั้งที่ 2	15.7253	26.0542	10.3289	10	1.0329	1.0091	
ครั้งที่ 3	15.7252	26.0539	10.3287	10	1.0329	1.0091	
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย						1.0090	0.0001

ตารางที่ ข-5.4 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำ (กรัม/มิลลิลิตร)		
ครั้งที่ 1	15.7256	25.9631	10.2375	10	1.0237		
ครั้งที่ 2	15.7250	25.9607	10.2357	10	1.0235		
ครั้งที่ 3	15.7250	25.9613	10.2363	10	1.0236		
ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำส้ม ควันไม้ (กรัม)	น้ำหนักน้ำส้มควันไม้ (กรัม)	ปริมาตรน้ำส้มควันไม้ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำส้ม ควันไม้ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความถ่วง จำเพาะ	S.D.
ครั้งที่ 1	15.7256	26.0220	10.2964	10	1.0296	1.0058	
ครั้งที่ 2	15.7251	26.0256	10.3005	10	1.0300	1.0064	
ครั้งที่ 3	15.7252	26.0236	10.2984	10	1.0298	1.0061	
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย						1.0061	0.0003

ตารางที่ ข-5.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำ (กรัม/มิลลิลิตร)		
ครั้งที่ 1	15.7250	25.9612	10.2362	10	1.0236		
ครั้งที่ 2	15.7255	25.9614	10.2359	10	1.0236		
ครั้งที่ 3	15.7255	25.9622	10.2367	10	1.0237		
ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำส้ม ควันไม้ (กรัม)	น้ำหนักน้ำส้มควันไม้ (กรัม)	ปริมาตรน้ำส้มควันไม้ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำส้ม ควันไม้ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความถ่วง จำเพาะ	S.D.
ครั้งที่ 1	15.7253	26.0252	10.2999	10	1.0299	1.0062	
ครั้งที่ 2	15.7250	26.0249	10.2999	10	1.0299	1.0063	
ครั้งที่ 3	15.7252	26.0161	10.2909	10	1.0291	1.0053	
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย						1.0059	0.0005

ตารางที่ ข-5.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำ (กรัม/มิลลิลิตร)		
ครั้งที่ 1	15.7250	25.9612	10.2362	10	1.0236		
ครั้งที่ 2	15.7255	25.9614	10.2359	10	1.0236		
ครั้งที่ 3	15.7255	25.9622	10.2367	10	1.0237		
ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดใส่น้ำส้ม ควันไม้ (กรัม)	น้ำหนักน้ำส้มควันไม้ (กรัม)	ปริมาตรน้ำส้มควันไม้ (มิลลิลิตร)	ความหนาแน่นน้ำส้ม ควันไม้ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความถ่วง จำเพาะ	S.D.
ครั้งที่ 1	15.7253	26.0252	10.2999	10	1.0299	1.0062	
ครั้งที่ 2	15.7250	26.0249	10.2999	10	1.0299	1.0063	
ครั้งที่ 3	15.7252	26.0161	10.2909	10	1.0291	1.0053	
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย						1.0059	0.0005

ภาคผนวก ข-6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

ตารางที่ ข-6.1 Relative quantity ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)					Quality (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
1	Toluene	0.07	0.09	(1.54)	0.08	-	91
2	Pyridine	0.40	0.29	0.78	0.49	0.26	91
3	2-Cyclopenten-1-one	0.43	0.38	0.59	0.47	0.11	87
4	Acetic acid	34.91	40.14	32.66	35.90	3.84	91
5	2-Furancarboxaldehyde (furfural)	0.80	0.89	0.96	0.88	0.08	95
6	Propanoic acid	5.27	6.64	4.27	5.39	1.19	94
7	3-Methyl-2-cyclopentene-1-one	1.34	1.25	1.92	1.50	0.36	83
8	Methyl 3-acetylpropanoate	0.56	0.69	0.72	0.66	0.09	95
9	5-Methyl-2-Furancarboxaldehyde	0.33	0.53	0.52	0.46	0.11	94
10	3-Methoxy-pyridine	0.90	0.82	1.13	0.95	0.16	90
11	Butanoic acid	2.31	2.47	2.91	2.56	0.31	91
12	2-Furanmethanol	0.57	0.44	0.87	0.63	0.22	94

ตารางที่ ข-6.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)					Quality (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
13	2(3H)-Furanone, dihydro	3.11	2.30	4.78	3.40	1.26	90
14	2-Butenoic acid	0.12	(0.50)	0.12	0.12	-	93
15	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	0.72	0.62	1.12	0.82	0.26	96
16	2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-one	7.23	5.16	12.25	8.21	3.65	96
17	2-Methoxy-phenol (guaiacol)	6.03	4.44	5.98	5.48	0.90	97
18	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	1.42	1.29	1.64	1.45	0.18	95
19	Maltol	0.62	1.82	0.82	1.09	0.64	87
20	Phenol	22.21	16.42	15.64	18.09	3.59	94
Total					88.63		

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บ คือ ค่าที่ถูกตัดทิ้ง เนื่องจากมีค่าเกิน out liner

ตารางที่ ข-6.2 Relative quantity ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)					Quality (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
1	Toluene	-	-	-	-	-	-
2	Pyridine	0.29	0.25	0.66	0.40	0.23	94
3	2-Cyclopenten-1-one	0.39	0.22	0.51	0.37	0.15	90
4	Acetic acid	52.01	36.47	22.91	37.13	14.56	91
5	2-Furancarboxaldehyde (furfural)	0.72	0.55	0.36	0.54	0.18	93
6	Propanoic acid	4.44	3.17	1.86	3.16	1.29	94
7	3-Methyl-2-cyclopentene-1-one	0.99	1.21	1.61	1.27	0.31	94
8	Methyl 3-acetylpropanoate	0.69	0.77	1.10	0.85	0.22	97
9	5-Methyl-2-Furancarboxaldehyde	0.46	0.33	0.38	0.39	0.07	85
10	3-Methoxy-pyridine	0.52	0.63	0.92	0.69	0.21	90
11	Butanoic acid	1.70	1.19	2.24	1.71	0.53	90
12	2-Furanmethanol	2.19	3.36	4.27	3.27	1.04	95
13	2(3H)-Furanone, dihydro	2.17	5.78	5.09	4.35	1.92	91
14	2-Butenoic acid	0.40	2.01	1.08	1.16	0.81	94

ตารางที่ ข-6.2 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)					Quality (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
15	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	0.41	0.34	1.17	0.64	0.46	94
16	2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-One	2.62	7.23	11.07	6.97	4.23	96
17	2-Methoxy-phenol (guaiacol)	3.80	2.91	4.16	3.62	0.64	97
18	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-One	0.56	0.67	1.64	0.96	0.59	94
19	Maltol	0.56	1.53	1.82	1.30	0.66	87
20	Phenol	17.11	21.14	23.37	20.54	3.17	94
Total					89.34		

ตารางที่ ข-6.3 Relative quantity ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)					Quality (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
1	Toluene	0.99	1.18	0.88	1.02	0.15	91
2	Pyridine	0.64	0.39	0.27	0.43	0.19	94
3	2-Cyclopenten-1-one	0.69	0.44	0.35	0.49	0.18	90
4	Acetic acid	51.70	54.27	56.98	54.32	2.64	91
5	2-Furancarboxaldehyde (furfural)	0.81	0.51	0.41	0.58	0.21	94
6	Propanoic acid	10.69	9.85	9.01	9.85	0.84	90
7	3-Methyl-2-cyclopentene-1-one	1.56	1.01	0.43	1.00	0.57	94
8	Methyl 3-acetylpropanoate	0.94	0.45	0.33	0.57	0.32	97
9	5-Methyl-2-Furancarboxaldehyde	0.47	0.14	0.12	0.24	0.20	86
10	3-Methoxy-pyridine	0.70	0.54	0.38	0.54	0.16	90
11	Butanoic acid	2.80	2.45	2.19	2.48	0.31	94
12	2-Furanmethanol	1.62	2.89	2.22	2.24	0.64	95
13	2(3H)-Furanone, dihydro	3.97	2.25	1.67	2.63	1.20	91

ตารางที่ ข-6.3 (ต่อ)

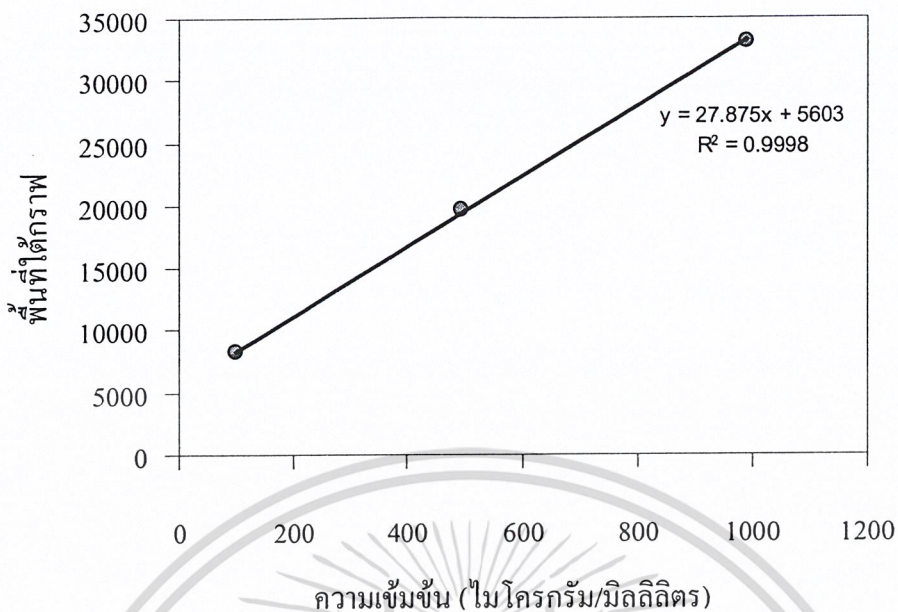
ลำดับ	ชื่อ	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)					Quality (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.	
14	2-Butenoic acid	0.29	0.15	0.27	0.24	0.08	93
15	3,5-Dimethyl cyclopentenolone	1.19	0.46	0.33	0.66	0.46	96
16	2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-One	2.86	3.73	2.84	3.14	0.51	96
17	2-Methoxy-phenol (guaiacol)	1.31	0.90	0.62	0.94	0.35	94
18	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-One	0.35	0.58	0.38	0.44	0.13	94
19	Maltol	0.96	1.68	1.37	1.34	0.36	86
20	Phenol	7.62	9.96	7.07	8.22	1.53	94
Total					91.37		

ภาคผนวก ข-7 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs

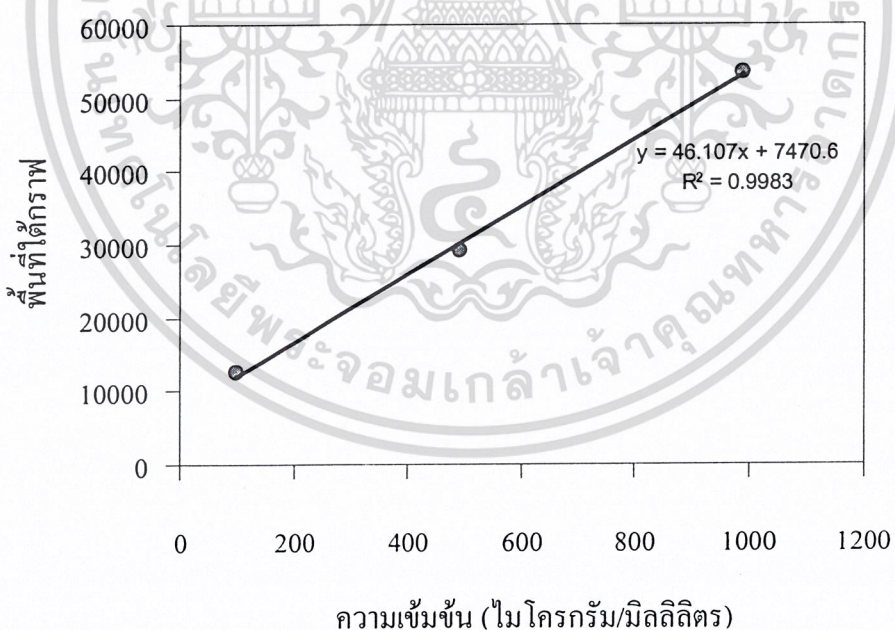
ตารางที่ ข-7.1 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานผสมของ PAHs 16 ชนิด

ลำดับ	ชื่อ	เปอร์เซ็นต์ ความบริสุทธิ์ (เปอร์เซ็นต์)	พื้นที่ใต้กราฟที่ความเข้มข้นต่างๆ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)				
			50	100	250	500	1,000
1	Naphthalene	99%	-	8,246	-	19,611	31,006
2	Acenaphthylene	99%	-	12,586	-	29,302	53,557
3	Acenaphthene	99%	-	14,323	-	30,544	76,673
4	Fluorene	98%	-	15,943	-	27,520	71,137
5	Phenanthrene	99%	12,543	-	16,237	19,012	-
6	Anthracene	99%	-	20,309	-	31,408	91,316
7	Fluoranthene	98%	115,098	-	80,613	167,040	-
8	Pyrene	99%	138,735	-	59,298	205,573	-
9	Benz(a)anthracene	99%	66,412	-	79,958	496,059	-
10	Chrysene	98%	74,567	-	96,466	608,633	-
11	Benzo(b)fluoranthene	99%	24,681	-	8,858	51,711	-
12	Benzo(k)fluoranthene	99%	136,175	-	236,261	1,127,490	-
13	Benzo(a)pyrene	98%	53,984	-	99,006	453,366	-
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	99%	-	-	-	-	-
15	Dibenz(a,h)anthracene	99%	-	-	-	-	-
16	Benzo(g,h,i)perylene	99%	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-7.1 กราฟมาตรฐานเนฟทาติน



รูปที่ ข-7.2 กราฟมาตรฐานอะซีเนฟริติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7.2 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน (ปริมาตรรวมของสาร 4 มิลลิลิตร)

ลำดับที่	ชื่อ	พื้นที่ใต้กราฟ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	แนฟทาลีน	17,924	17,170	17,835
2	อะซีแนฟทาลีน	43,753	43,840	46,532

ตารางที่ ข-7.3 ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน

ลำดับที่	ชื่อ	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
1	แนฟทาลีน	1,768.04	1,659.84	1,755.26	1,727.71	59.13
2	อะซีแนฟทาลีน	5,474.44	5,486.92	5,873.22	5,611.53	226.72

ตารางที่ ข-7.4 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ (ปริมาตรรวมของสาร 4 มิลลิลิตร)

ลำดับที่	ชื่อ	พื้นที่ใต้กราฟ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	แนฟทาลีน	8,917	8,563	8,799
2	อะซีแนฟทาลีน	16,787	17,730	17,675

ตารางที่ ข-7.5 ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

ลำดับที่	ชื่อ	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
1	แนฟทาลีน	475.55	424.75	458.62	452.97	25.87
2	อะซีแนฟทาลีน	1,604.88	1,740.20	1,732.30	1,692.46	75.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7.6 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน (ปริมาตรรวมของสาร 1 มิลลิลิตร)

ลำดับที่	ชื่อ	พื้นที่ใต้กราฟ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	แนฟทาลีน	-	-	-
2	อะซีแนฟริลีน	12,865	18,744	13,982

ตารางที่ ข-7.7 ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ลำดับที่	ชื่อ	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
1	แนฟทาลีน	-	-	-	-	-
2	อะซีแนฟริลีน	117.00	244.51	141.22	167.58	67.72

การคำนวณความเข้มข้นของสาร PAHs ในน้ำส้มควันไม้

การหาความเข้มข้นของแนฟทาลีน (ปริมาตรรวมของสาร 1 มิลลิลิตร)

$$\text{ความเข้มข้นของแนฟทาลีน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ} - 5,603}{27.875}$$

การหาความเข้มข้นของอะซีแนฟริลีน (ปริมาตรรวมของสาร 1 มิลลิลิตร)

$$\text{ความเข้มข้นของอะซีแนฟริลีน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ} - 7,470.6}{46.107}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-8 ผลการศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Pythium* sp.

ตารางที่ ข-8.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA (ชุดควบคุม)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	3.05	2.90	3.00	2.70	3.30	2.99	0.22
18	5.70	4.50	4.95	4.80	4.90	4.97	0.18
24	8.00	7.90	8.60	7.70	7.50	7.94	0.14
36	8.15	8.60	9.50	8.40	8.45	8.62	0.29
42	9.50	8.80	9.50	9.00	9.50	9.26	0.29
48	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	0.00

ตารางที่ ข-8.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.80	1.65	1.10	1.45	2.20	1.64	0.41
18	2.05	1.90	1.75	1.70	1.70	1.82	0.15
24	3.80	3.60	3.15	3.70	3.95	3.64	0.30
36	5.60	5.10	5.10	5.30	5.00	5.22	0.24
42	7.80	8.00	8.40	8.50	8.20	8.18	0.29
48	7.80	8.40	8.80	8.70	8.50	8.44	0.39

ตารางที่ ข-8.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.40	1.40	1.80	1.70	1.20	1.50	0.24
18	2.60	2.70	3.40	2.35	2.60	2.73	0.40
24	4.35	4.20	4.15	4.40	4.80	4.38	0.26
36	5.90	5.20	5.20	5.50	6.00	5.56	0.38
42	7.60	6.50	6.40	6.30	7.20	6.80	0.57
48	7.70	6.80	6.80	7.20	7.30	7.16	0.38

ตารางที่ ข-8.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	2.00	1.90	2.10	1.90	1.85	1.95	0.1
18	3.55	3.30	2.80	2.90	3.35	3.18	0.32
24	5.00	5.10	4.80	4.60	5.00	4.90	0.20
36	5.50	5.80	5.75	5.30	5.50	5.57	0.20
42	6.50	6.90	6.80	6.70	6.80	6.74	0.15
48	7.20	7.40	7.30	7.30	7.50	7.34	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะโคมีฟอน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.95	1.70	1.60	1.80	2.00	1.81	0.17
18	2.30	2.18	1.80	2.20	2.40	2.18	0.23
24	2.95	3.25	2.80	2.90	3.00	2.98	0.17
36	3.80	4.00	3.60	3.30	3.50	3.64	0.27
42	4.00	4.50	4.00	4.10	4.60	4.24	0.29
48	4.00	4.65	4.00	4.30	4.80	4.35	0.37

ตารางที่ ข-8.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	2.00	1.90	1.50	1.40	1.70	1.70	0.25
18	3.15	2.70	2.50	2.30	3.35	2.80	0.44
24	5.90	6.30	6.40	5.95	5.90	6.09	0.24
36	6.70	7.15	7.30	6.80	6.60	6.91	0.30
42	6.90	7.50	7.90	6.70	5.60	6.92	0.88
48	7.00	7.75	8.00	6.90	6.10	7.15	0.75

ตารางที่ ข-8.7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.90	2.10	1.60	2.10	1.90	1.92	0.20
18	3.40	3.40	2.70	3.60	2.90	3.20	0.38
24	4.95	5.50	4.75	5.40	5.00	5.12	0.32
36	5.00	5.70	4.90	5.90	5.50	5.40	0.44
42	5.40	5.90	6.10	5.70	6.00	5.82	0.22
48	5.70	5.90	6.20	6.30	6.60	6.14	0.35

ตารางที่ ข-8.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.30	1.70	2.10	2.20	1.85	1.83	0.36
18	3.15	2.70	2.50	2.80	2.35	2.70	0.31
24	4.00	3.50	4.45	4.50	4.40	4.17	0.42
36	6.40	5.55	6.30	5.40	5.50	5.83	0.48
42	7.10	6.50	7.20	6.20	6.50	6.70	0.43
48	7.20	6.60	7.40	6.35	6.70	6.85	0.46

ตารางที่ ข-8.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับสารเชื้อราไตรอะซิมีฟอน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.40	1.60	1.40	1.30	1.35	1.41	0.11
18	1.40	1.60	1.40	1.30	1.35	1.41	0.11
24	1.40	1.60	1.40	1.30	1.35	1.41	0.11
36	2.00	1.60	1.40	1.45	1.85	1.66	0.26
42	2.60	2.05	1.70	1.90	2.20	2.09	0.34
48	2.65	2.18	1.80	2.20	2.40	2.25	0.31

ตารางที่ ข-8.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ 6 เดือน ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.80	2.10	1.70	1.50	1.70	1.76	0.22
18	2.50	2.95	2.40	2.75	2.85	2.69	0.23
24	3.55	4.20	3.40	4.00	3.90	3.81	0.33
36	4.75	4.40	3.55	4.53	3.95	4.24	0.44
42	4.90	4.50	4.20	5.30	4.40	4.66	0.48
48	5.35	5.20	4.90	5.80	5.00	5.25	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8.11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	2.02	1.70	2.00	2.10	1.85	1.93	0.16
18	2.55	2.35	3.40	3.50	2.40	2.84	0.56
24	3.90	3.10	3.75	3.80	4.00	3.71	0.35
36	4.30	4.00	3.80	3.80	3.80	3.94	0.22
42	4.20	3.80	3.75	3.80	4.50	4.01	0.33
48	4.40	4.20	3.75	4.10	4.90	4.27	0.42

ตารางที่ ข-8.12 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	1.80	1.80	1.95	1.70	1.60	1.77	0.13
18	2.45	2.30	2.45	2.70	3.20	2.62	0.35
24	3.65	3.55	3.90	3.70	3.80	3.72	0.14
36	3.80	4.20	4.00	4.10	4.00	4.02	0.15
42	4.75	4.80	4.30	4.40	4.50	4.55	0.22
48	5.00	5.05	4.30	4.50	4.55	4.68	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8.13 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *Pythium* sp. ที่เวลาต่าง ๆ บนอาหารแข็ง PDA ผสมกับสารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
18	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
24	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
36	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
42	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
48	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

$$I = [(C - T) / C] \times 100$$

เมื่อ I คือ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

C คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีในชุดควบคุมที่เจริญเติบโตเต็มงานเพาะเชื้อ

T คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีในชุดทดลองเมื่อโคโลนีในชุดควบคุมเจริญเติบโตเต็มงานเพาะเชื้อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติม
ถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ ค-1.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA
ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้ว
ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 168 ชั่วโมง

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	1.305×10^4	0.000	0.05	D
	3	2.144×10^4	0.000	0.05	D
	4	3.844×10^4	0.000	0.05	D
2	1	1.305×10^4	0.000	0.05	D
	3	4.612×10^3	0.000	0.05	D
	4	1.677×10^3	0.000	0.05	D
3	1	2.144×10^4	0.000	0.05	D
	2	4.612×10^3	0.000	0.05	D
	4	207.368	0.000	0.05	D
4	1	3.844×10^4	0.000	0.05	D
	2	1.677×10^3	0.000	0.05	D
	3	207.368	0.000	0.05	D

*D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ค-1.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 192 ชั่วโมง

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	1.535×10^4	0.000	0.05	D
	3	4.477×10^4	0.000	0.05	D
	4	4.268×10^4	0.000	0.05	D
2	1	1.535×10^4	0.000	0.05	D
	3	1.159×10^4	0.000	0.05	D
	4	2.496×10^4	0.000	0.05	D
3	1	4.477×10^4	0.000	0.05	D
	2	1.159×10^4	0.000	0.05	D
	4	2.305×10^3	0.000	0.05	D
4	1	4.268×10^4	0.000	0.05	D
	2	2.496×10^4	0.000	0.05	D
	3	2.305×10^3	0.000	0.05	D

*D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้ว ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 216 ชั่วโมง

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	1.507×10^4	0.000	0.05	D
	3	5.220×10^4	0.000	0.05	D
	4	6.886×10^3	0.000	0.05	D
2	1	1.507×10^4	0.000	0.05	D
	3	2.431×10^4	0.000	0.05	D
	4	1.960×10^3	0.000	0.05	D
3	1	5.220×10^4	0.000	0.05	D
	2	2.431×10^4	0.000	0.05	D
	4	261.334	0.001	0.05	D
4	1	6.886×10^3	0.000	0.05	D
	2	1.960×10^3	0.000	0.05	D
	3	261.334	0.001	0.05	D

*D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ก-1.4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนต่าง ๆ แล้ว ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 240 ชั่วโมง

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	1.724×10^4	0.000	0.05	D
	3	3.427×10^4	0.000	0.05	D
	4	5.978×10^3	0.000	0.05	D
2	1	1.724×10^4	0.000	0.05	D
	3	1.129×10^4	0.000	0.05	D
	4	3.225×10^3	0.000	0.05	D
3	1	3.427×10^4	0.000	0.05	D
	2	1.129×10^4	0.000	0.05	D
	4	2.060×10^3	0.000	0.05	D
4	1	5.978×10^3	0.000	0.05	D
	2	3.225×10^3	0.000	0.05	D
	3	2.060×10^3	0.000	0.05	D

*D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

- เมื่อ กลุ่มที่ 1 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน
 กลุ่มที่ 2 คือ น้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
 กลุ่มที่ 3 คือ น้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
 กลุ่มที่ 4 คือ น้ำส้มควันไม้ที่เติมถ่านกัมมันต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ภาคผนวก ก-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้
หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

ตารางที่ ก-2.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA
ของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	844.029	0.000	0.05	D
	3	2.481 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
	4	3.150 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
2	1	844.029	0.000	0.05	D
	3	3.936 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
	4	4.776 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
3	1	2.481 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
	2	3.936 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
	4	3.232 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
4	1	3.150 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
	2	4.776 x 10 ⁴	0.000	0.05	D
	3	3.232 x 10 ⁴	0.000	0.05	D

* D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

เมื่อ กลุ่มที่ 1 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

กลุ่มที่ 2 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ

กลุ่มที่ 3 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

กลุ่มที่ 4 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ตารางที่ ก-2.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าพีเอชของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	1.346×10^4	0.000	0.05	D
	3	1.095×10^4	0.000	0.05	D
2	1	1.346×10^4	0.000	0.05	D
	3	1.024×10^3	0.000	0.05	D
3	1	1.095×10^4	0.000	0.05	D
	2	1.024×10^3	0.000	0.05	D

* D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ก-2.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	0.002	0.967	0.05	ND
	3	0.069	0.805	0.05	ND
2	1	0.002	0.967	0.05	ND
	3	5.405	0.081	0.05	ND
3	1	0.069	0.805	0.05	ND
	2	5.405	0.081	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0)

เมื่อ กลุ่มที่ 1 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน
 กลุ่มที่ 2 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์
 กลุ่มที่ 3 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ภาคผนวก ก-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้

ตารางที่ ก-3.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำส้มควันไม้หลังการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	0.100	0.768	0.05	ND
	3	0.200	0.678	0.05	ND
2	1	0.100	0.768	0.05	ND
	3	0.308	0.609	0.05	ND
3	1	0.200	0.678	0.05	ND
	2	0.308	0.609	0.05	ND

* ND = ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ก-3.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำส้มควันไม้หลังการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	136.25	0.000	0.05	D
	3	13.225	0.022	0.05	D
2	1	136.25	0.000	0.05	D
	3	2.174	0.214	0.05	ND
3	1	13.225	0.022	0.05	D
	2	2.174	0.214	0.05	ND

* ND = ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ค-3.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกลุ่มที่มีข้าวสูงในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	0.385	0.569	0.05	ND
	3	0.170	0.701	0.05	ND
2	1	0.385	0.569	0.05	ND
	3	0.200	0.678	0.05	ND
3	1	0.170	0.701	0.05	ND
	2	0.200	0.678	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0)

เมื่อ กลุ่มที่ 1 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

กลุ่มที่ 2 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

กลุ่มที่ 3 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ภาคผนวก ก-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารหลักที่พบในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

ตารางที่ ก-4.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกรดอะซิติกในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	0.020	0.895	0.05	ND
	3	46.889	0.002	0.05	D
2	1	0.020	0.895	0.05	ND
	3	30.542	0.005	0.05	D
3	1	46.889	0.002	0.05	D
	2	30.542	0.005	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ก-4.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของฟีนอลในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	0.114	0.758	0.05	ND
	3	10.924	0.046	0.05	D
2	1	0.114	0.758	0.05	ND
	3	33.387	0.010	0.05	D
3	1	10.924	0.046	0.05	D
	2	33.387	0.010	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ค-4.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของ 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one ในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	1.046	0.382	0.05	ND
	3	3.230	0.170	0.05	ND
2	1	1.046	0.382	0.05	ND
	3	1.026	0.386	0.05	ND
3	1	3.230	0.170	0.05	ND
	2	1.026	0.386	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ค-4.4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของ 2-methoxy-phenol (guaiacol) ในน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	8.035	0.066	0.05	ND
	3	40.167	0.008	0.05	D
2	1	8.035	0.066	0.05	ND
	3	40.315	0.003	0.05	D
3	1	40.167	0.008	0.05	D
	2	40.315	0.003	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ก-4.5 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของกรดโพรพานอิกในน้ำส้มควันไม้หลังการทำให้บริสุทธิ์

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	4.873	0.092	0.05	ND
	3	26.888	0.014	0.05	D
2	1	4.873	0.092	0.05	ND
	3	56.714	0.002	0.05	D
3	1	26.888	0.014	0.05	D
	2	56.714	0.002	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

เมื่อ กลุ่มที่ 1 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

กลุ่มที่ 2 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

กลุ่มที่ 3 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

ภาคผนวก ค-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ตารางที่ ค-5.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	27.676	0.001	0.05	D
	3	36.446	0.000	0.05	D
	4	290.418	0.000	0.05	D
2	1	27.676	0.001	0.05	D
	3	1.038	0.338	0.05	ND
	4	142.016	0.000	0.05	D
3	1	36.446	0.000	0.05	D
	2	1.038	0.338	0.05	ND
	4	302.030	0.000	0.05	D
4	1	290.418	0.000	0.05	D
	2	142.016	0.000	0.05	D
	3	302.030	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ค-5.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	7.387	0.026	0.05	D
	3	0.594	0.463	0.05	ND
	4	180.664	0.000	0.05	D
2	1	7.387	0.026	0.05	D
	3	8.053	0.022	0.05	D
	4	342.935	0.000	0.05	D
3	1	0.594	0.463	0.05	ND
	2	8.053	0.022	0.05	D
	4	367.898	0.000	0.05	D
4	1	180.664	0.000	0.05	D
	2	342.935	0.000	0.05	D
	3	367.898	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
1	2	15.770	0.004	0.05	D
	3	6.965	0.030	0.05	D
	4	1.103×10^3	0.000	0.05	D
2	1	15.770	0.004	0.05	D
	3	2.921	0.126	0.05	ND
	4	507.880	0.000	0.05	D
3	1	6.965	0.030	0.05	D
	2	2.921	0.126	0.05	ND
	4	1.012×10^3	0.000	0.05	D
4	1	1.103×10^3	0.000	0.05	D
	2	507.880	0.000	0.05	D
	3	1.012×10^3	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

เมื่อ กลุ่มที่ 1 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 เดือน

กลุ่มที่ 2 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์

กลุ่มที่ 3 คือ น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมอากาศ-ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการกรองด้วยนาโนฟิลเทรชัน

กลุ่มที่ 4 คือ สารฆ่าเชื้อราไตรอะซิมีฟอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้ดิบ

1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะน้ำส้มควันไม้ดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรม การเกษตร ปศุสัตว์ และครัวเรือน

2. บทนิยาม

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

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้นตกตะกอน มีสิ่งแปลกปลอม หรือมีสารแขวนลอย

3.2 กลิ่น

ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ

3.3 การเปลี่ยนสี

ต้องไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ

3.4 ความเป็นกรด-ด่าง

ต้องอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความถ่วงจำเพาะ

ต้องไม่น้อยกว่า 1.005 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.6 การเจือจาง

เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจางต้องไม่เป็นเส้นตรง

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุน้ำส้มควันไม้ดิบในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง ทึบแสง ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

4.2 ปริมาตรสุทธิของน้ำส้มควันไม้ดิบในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในฉลาก

5. เครื่องหมายและฉลาก

ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุน้ำส้มควันไม้ดิบทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

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

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง น้ำส้มควันไม้ดิบที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

6.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วย ภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 3.2 ข้อ 4 และ ข้อ 5 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ความถ่วงจำเพาะ และการเจือจาง ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.4 ถึงข้อ 3.6 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนสี ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.3 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ดิบต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 ข้อ 6.2.2 และข้อ 6.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

7. การทดสอบ

7.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

7.2 การทดสอบการเปลี่ยนสี

เปิดฝาตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ดิบที่ไม่เคยเปิดฝามาก่อน ตั้งทิ้งไว้ให้โดนแสงแดดและอากาศไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วตรวจพินิจ

7.3 การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง

ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

7.5 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

ให้ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

7.6 การทดสอบการเจือจาง

ผสมตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ดิบกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:100, 1:200, 1:300, 1:400 และ 1:500 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแต่ละอัตราการเจือจาง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจาง แล้วพิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

7.7 การทดสอบปริมาตรสุทธิ

ให้ใช้เครื่องวัดปริมาตรที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนิลบล นุ่มสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	6 มีนาคม พ.ศ.2525
ที่อยู่	30 ซ.สุขาสงเคราะห์ 4 ถ.สุขาสงเคราะห์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ - พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
กิจกรรมระหว่างการศึกษา	
มีนาคม-พฤษภาคม 2550	การประชุมเชิงปฏิบัติการ “ระบบรายงานดัชนีชี้วัดทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น”
มิถุนายน-สิงหาคม 2549	การสำรวจคุณภาพสิ่งแวดล้อมและแหล่งกำเนิดมลพิษ ในโครงการ “น้กรบสิ่งแวดล้อม”
24-25 กรกฎาคม 2549	การประชุมเชิงปฏิบัติการ “สถานการณ์และแนวทางการจัดการ ขยะอิเล็กทรอนิกส์” ฝึกประสบการณ์วิชาชีพเคมีสิ่งแวดล้อม
1 เมษายน – 15 พฤษภาคม 2547	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพด้านเคมีสิ่งแวดล้อม ที่บริษัท อี-สแควร์ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม จำกัด
1 พฤศจิกายน 2549 – 30 เมษายน 2551	ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้