

ประสิทธิภาพการดูดซับไอสารอินทรีย์ระเหยด้วยน้ำและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิต
เส้นใยเรยอน

นางสาวรัตนา ธนบูรณ์กาญจน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

ADSORPTION EFFICIENCY OF VOLATILES ORGANIC VAPORS BY KAPOK AND RAYON
INDUSTRIAL WASTE

Miss Rattana Tanaboonkan



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพการดูดซับไอสารอินทรีย์ระเหยด้วยนุ่นและ
วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน

โดย

นางสาวรัตนา ธนบูรณ์กาญจน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว

คณะกรรมการศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธารศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล)

รัตนา ธนบุรณ์กาญจน์ : ประสิทธิภาพการดูดซับไอสารอินทรีย์ระเหยด้วยปูนและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน. (ADSORPTION EFFICIENCY OF VOLATILES ORGANIC VAPORS BY KAPOK AND RAYON INDUSTRIAL WASTE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สุธา ขาวเจียร, 115 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตท และบิวทิล อะซิเตทภายในคอลัมน์ โดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมจากของเสียอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอนได้แก่ เส้นใยเรยอนและเกลือโซเดียมซัลเฟต กับเส้นใยปูนซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ ด้วยวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น โดยการใช้กรดฟอสฟอริกแทนกรดซัลฟิวริกและหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุดูดซับ นำวัสดุดูดซับที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยทางกายภาพได้แก่ อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่พาไอระเหยเข้าสู่ระบบที่ 2 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณวัสดุดูดซับ 1 3 และ 5 กรัม และรูปแบบการจัดเรียงคอลัมน์ได้แก่ วัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับปูน วัสดุดูดซับผสมเรยอนกับวัสดุดูดซับปูน และวัสดุดูดซับเรยอนสลับชั้นกับวัสดุดูดซับปูน ในอัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยปูนเท่ากับ 1:0 0:1 1:1 และ 1:1 ตามลำดับ และศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ได้แก่ มวลโมเลกุล ความมีขี้/ไม่มีขี้ ลักษณะโครงสร้างและค่าความดันไอ ตลอดจนเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมกับวัสดุดูดซับทางการค้าโพลีโพรไพลีน ผลการศึกษาพบว่าของเหลวหนืดวิสโคสที่เตรียมขึ้นมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้ม มีค่าความหนืด 23.5 ± 0.5 เซนติพอยส์ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก 10 % (v/v) คือความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุดูดซับ อัตราการไหลที่เหมาะสมกับระบบดูดซับคือ 2 ลิตรต่อนาที และวัสดุดูดซับปริมาณ 3 กรัม ผลการศึกษาพบว่าวัสดุดูดซับ S2 S8 S3 และ S1 (เส้นใยปูน วัสดุดูดซับแบบสลับ เส้นใยผสมและเส้นใยเรยอน) มีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ได้สูงสุดตามลำดับ และพบว่าโพลีโพรไพลีนมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารไม่มีขี้สูงกว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นแต่ประสิทธิภาพในการดูดซับสารมีขี้มีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5470345821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: ADSORPTION / KAPOK FIBERS / VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS / RAYON FIBERS / ACTIVATED CARBON / INDUSTRIAL WASTE

RATTANA TANABOONKAN: ADSORPTION EFFICIENCY OF VOLATILES ORGANIC VAPORS BY KAPOK AND RAYON INDUSTRIAL WASTE. ADVISOR: ASSOC. PROF. .SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 115 pp.

This research studied vapors adsorption of hexane, cyclohexane, ethyl acetate and butyl acetate by adsorbents prepared from a mixture of kapok fiber and waste from rayon industry in fixed bed. Adsorbent preparation was used 10, 30 and 50% phosphoric acid. The suitable condition for prepared adsorbent was investigated. Physical and chemical properties of adsorbents were analyzed. Effect of physical parameters such as mass of adsorbent 1, 3 and 5 gram, gas flow rate 2, 6 and 10 L/hr and packing styles on adsorption efficiency and effect of chemical parameters such as molecular molecule, structure, polar/non-polar and vapor pressure were investigated and the results was compared to commercial adsorbent (polypropylene). Hexane, cyclohexane, ethyl acetate and butyl acetate concentration was analyzed by Gas chromatography. From the result we can conclude that Phosphoric acid 10% is suitable concentration for prepared adsorbent, the rayon adsorbent prepared by 10% phosphoric acid was similar rayon fiber that before prepared adsorbent while kapok and mix adsorbents were a little damaged. The suitable flow rate and mass of adsorbent for adsorption system are 2 L/hr and 3 grams respectively. From results found that highest adsorption efficiency for adsorption hexane, cyclohexane, ethyl acetate and butyl acetate were S2, S8, S3 and S1 respectively. Polypropylene (PP) has highest hexane and cyclohexane adsorption efficiency but ethyl acetate and butyl acetate adsorption efficiency were lower than adsorption efficiency of adsorbents were prepared.

Department: Environmental
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากหน่วยงานและบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนแก้ไขสิ่งบกพร่องและอุปสรรคปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากและส่งผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้เป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนรองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร และดร. เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอน ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดีตลอดมา

คุณรามนรี เนตรวิเชียร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และอุปกรณ์ต่างๆภายในห้องปฏิบัติการรวมถึงคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย

ดร.เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล ที่กรุณาอนุเคราะห์ตัวอย่าง ให้ความรู้และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัย

ขอกราบของพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในเรื่องทุนทรัพย์และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ และดูแลกันและกันตลอดช่วงระยะเวลาของการทำวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs).....	4
2.2 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ.....	4
2.3 ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย.....	5
2.4 สารอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....	6
2.4.1 เอทิล อะซิเตท (Ethyl Acetate).....	8
2.4.2 บิวทิล อะซิเตท (Butyl Acetate).....	9
2.4.3 เฮกเซน (Hexane).....	9
2.4.4 ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane).....	10
2.5 อันตรายจากการได้รับสัมผัสสารระเหยทั้ง 4 ชนิด.....	12
2.6 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย.....	13
2.7 กระบวนการดูดซับ.....	13
2.7.1 กลไกการดูดซับ.....	14
2.7.2 การดูดซับในคอลัมน์และบริเวณการถ่ายโอนมวลสาร.....	15
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	16
2.9 กฎของเฮนรี (Henry law).....	16

2.10 สารดูดซับ (Adsorbent).....	17
2.10.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon).....	18
2.10.1.1 การแบ่งประเภทของถ่านกัมมันต์	18
2.10.1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	19
2.10.1.3 ประโยชน์และการนำไปใช้งาน.....	20
2.10.1.4 การฟื้นฟูสภาพ.....	20
2.11 อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน	21
2.11.1 เส้นใยเรยอน	21
2.11.2 ลักษณะของเส้นใยเรยอน	22
2.11.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน	22
2.10.4 ประโยชน์ของเส้นใยเรยอน	23
2.12 ฝู่น.....	24
2.12.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	24
2.12.2 ลักษณะของเส้นใยฝู่น	24
2.12.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝู่น	25
2.12.4 ประโยชน์ของเส้นใยฝู่น.....	26
2.14 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	28
2.14.1 คุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	28
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
2.16 ความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	35
3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	35
3.1.2 ระบบการทดลอง	35
3.1.3 สารเคมี.....	36
3.1.4 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสและการขึ้นรูปวัสดุดูดซับ	36
3.1.5 การวิเคราะห์.....	37

3.1.5.1	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	37
3.1.6	แผนภาพการทดลอง	37
3.2	ขั้นตอนการทดลอง	38
3.2.1	การทดลองช่วงที่ 1 การเตรียมของเหลวหนืดวิสโคส	43
3.2.2	การทดลองช่วงที่ 2 การเตรียมวัสดุดูดซับ	46
3.2.3	การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อ กระบวนการดูดซับ.....	48
3.2.4	การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อ กระบวนการดูดซับ.....	49
3.2.5	การทดลองช่วงที่ 5 ศึกษาลักษณะทางเคมีของสารระเหยแต่ละชนิดที่มีผลต่อ กระบวนการดูดซับ.....	50
3.2.6	การทดลองช่วงที่ 6 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับทางการค้า.....	51
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	53
4.1	การเตรียมวัสดุดูดซับ	53
4.1.1	วัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนของเกลือโซเดียมซัลเฟตที่แตกต่างกัน	53
4.1.2	วัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนของกรดฟอสฟอริกที่แตกต่างกัน	55
4.1.3	การเตรียมวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม	56
4.2	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ	57
4.2.1	ศึกษาลักษณะโครงสร้างและพื้นผิว	57
4.2.1.1	เส้นใยนุ่นและเส้นใยเรยอน.....	57
4.2.1.2	วัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม.....	58
4.2.2	ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยและวัสดุดูดซับ	60
4.2.3	การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ.....	62
4.2.4	การวิเคราะห์ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับ	63
4.2.5	การวิเคราะห์ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับ	64
4.3	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอระเหย	65
4.3.1	อัตราการไหลของแก๊สและระยะเวลาที่สารระเหยสัมผัสกับวัสดุดูดซับ	65
4.3.2	อุณหภูมิ	65

4.3.3	ระยะเวลาที่สารระเหยเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟส	66
4.3.4	ระยะเวลาและปริมาตรของแก๊สที่เก็บไปวิเคราะห์	68
4.3.5	ปริมาตรและความหนาแน่นของวัสดุดูดซับภายในคอลัมน์	69
4.4	ศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย	70
4.4.1	ผลของอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย	71
4.4.2	ปริมาณตัวกลางดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ	72
4.4.2.1	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ	72
4.4.2.2	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ	74
4.4.2.3	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ	77
4.4.2.4	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ	78
4.4.2.5	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของตัวกลางดูดซับปริมาณต่างกัน 81	
4.4.2.6	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของตัวกลางดูดซับปริมาณ ต่างกัน 82	
4.4.2.7	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณ ต่างกัน 82	
4.4.2.8	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณ ต่างกัน 83	
4.4.3	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท	85
4.5	ศึกษาสมบัติทางเคมีของสารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย	87
4.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของวัสดุทางการค้ากับวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น	89
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	91
5.1	สรุปผลการวิจัย	91
5.3	ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป	92

รายการอ้างอิง 93

ภาคผนวก..... 99

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 115



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ผลิตภัณฑ์ที่มีสารอินทรีย์ระเหยเป็นส่วนผสม	6
ตารางที่ 2	สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารระเหยทั้ง 4 ชนิด	11
ตารางที่ 3	อันตรายจากการรับสัมผัสเอทิล อะซิเตท บิวทิล อะซิเตท เฮกเซน และไซโคลเฮกเซน .	12
ตารางที่ 4	สภาวะเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอระเหยทั้ง 4 ชนิด	37
ตารางที่ 5	จำนวนตัวอย่างในการทดลองที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ผลของปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต	39
ตารางที่ 6	จำนวนตัวอย่างในการทดลองที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นกรดฟอสฟอริก	39
ตารางที่ 7	จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 3 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ของวัสดุดูดซับ	39
ตารางที่ 8	จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ผลของอัตราการไหล	40
ตารางที่ 9	จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพการดูดซับ สารระเหยแต่ละชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสมกับการดูดซับ	41
ตารางที่ 10	จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 5 เพื่อวิเคราะห์ผลของสมบัติทางเคมีของ สารระเหยที่มีต่อการดูดซับ	42
ตารางที่ 11	จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ ระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับวัสดุดูดซับทางการค้า	42
ตารางที่ 12	ปริมาณขานอ้อยและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายชนิดวิสโคส	45
ตารางที่ 13	สภาวะการเตรียมวัสดุดูดซับที่ปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตต่างกัน	54
ตารางที่ 14	อัตราส่วนของกรดที่ใช้ในการเตรียมวัสดุดูดซับ	55
ตารางที่ 15	สภาวะการเตรียมวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม	56
ตารางที่ 16	ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดหมู่ฟังก์ชัน	61
ตารางที่ 17	ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ	63
ตารางที่ 18	ความหนาแน่นที่แท้จริงของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ	64
ตารางที่ 19	ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่นและวัสดุดูดซับผสม	64
ตารางที่ 20	เส้นใยและวัสดุดูดซับที่ใช้ในการดูดซับไอระเหย	70
ตารางที่ 21	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของตัวกลางดูดซับปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม	84
ตารางที่ 22	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของตัวกลางดูดซับ S1-S8	87
ตารางที่ 23	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยผสมของตัวกลางดูดซับ S1-S8	89

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของวัสดุทางการค้าและตัวกลางดูดซับ S5-S8 (%)	90
---	----



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของเอทิล อะซิเตท	8
ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของบิวทิล อะซิเตท	9
ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของเฮกเซน	10
ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของไซโคลเฮกเซน	11
ภาพที่ 5 กลไกการดูดซับ.....	15
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสารและการถ่ายเทมวลสารของสารดูดซับภายใน คอลัมน์	15
ภาพที่ 7 วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์	17
ภาพที่ 8 (ก) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (ข) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและ (ง) ถ่านกัมมันต์ที่เป็นเส้นใย	18
ภาพที่ 9 (ก) ลักษณะเส้นใยเรยอน (ข) โครงสร้างของเส้นใยเรยอนที่กำลังขยาย 30 เท่า	22
ภาพที่ 10 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน.....	23
ภาพที่ 11 (ก) ลักษณะทั่วไปของเส้นใยนุ่น และ(ข) ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยนุ่น	24
ภาพที่ 12 (ก) โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (Cellulose) (ข) โครงสร้างทางเคมีของเพนโทซาน (Pentosan) และ (ค) โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (Lignin).....	26
ภาพที่ 13 ระบบการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	28
ภาพที่ 14 ระบบการทดลอง.....	36
ภาพที่ 15 แผนภาพการทดลองของระบบดูดซับไอสารระเหย	37
ภาพที่ 16 ขั้นตอนการเตรียมของเหลวหนีตวิโคส.....	44
ภาพที่ 17 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายหนีตวิโคส	44
ภาพที่ 18 ของเหลวหนีตวิโคส	45
ภาพที่ 19 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดชนิด cannon fenske	46
ภาพที่ 20 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดูดซับ	48
ภาพที่ 21 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ	48
ภาพที่ 22 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการดูดซับ	50
ภาพที่ 23 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะทางเคมีของสารระเหยที่มีผลต่อการดูดซับ	51
ภาพที่ 24 ขั้นตอนการทดลองการหาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของวัสดุดูดซับทางการค้า	52
ภาพที่ 25 วัสดุดูดซับที่เตรียมจากเกลือโซเดียมซัลเฟต (ก) 30 กรัม และ(ข) 50 กรัม.....	54

ภาพที่ 26	วัสดุดูดซับแบบผสมอัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่ออนุเท่ากับ 1:1 เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกต่างกัน (ก) 10% (ข) 30% และ (ค) 50% v/v	55
ภาพที่ 27	(ก) วัสดุดูดซับเรยอน (ข) วัสดุดูดซับนุ่น และ (ค) วัสดุดูดซับแบบผสม	56
ภาพที่ 28	วัสดุดูดซับผสม (ก) เตรียมจากกรดซัลฟิวริก 10% (ข) เตรียมจากกรดฟอสฟอริก 10% .	57
ภาพที่ 29	ภาพพื้นผิวด้านข้างและภาพตัดขวางของเส้นใยเรยอนและเส้นใยนุ่นที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่า.....	58
ภาพที่ 30	ภาพพื้นผิวด้านข้างและภาพตัดขวางของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสมที่ผ่านการเตรียมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10, 30 และ 50% ที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่า	60
ภาพที่ 31	แถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอน และวัสดุดูดซับนุ่น.....	61
ภาพที่ 32	การบรรจุสารระเหยลงในภาชนะปิด.....	66
ภาพที่ 33	เวลาในการเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสสารละลายและเฟสอากาศของสารระเหยเฮกเซนที่ตั้งทิ้งไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง.....	67
ภาพที่ 34	เวลาในการเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสสารละลายและเฟสอากาศของเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ที่ตั้งทิ้งไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	67
ภาพที่ 35	ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บไอระเหยของแก๊ส	68
ภาพที่ 36	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่อัตราการไหลต่างกัน...	71
ภาพที่ 37	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S5-S8 ที่อัตราการไหลต่างกัน...	72
ภาพที่ 38	ตัวกลางดูดซับที่บรรจุในคอลัมน์ปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม	72
ภาพที่ 39	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับS1-S8 ปริมาณ 1 กรัม.....	73
ภาพที่ 40	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับS1-S8 ปริมาณ 3 กรัม.....	74
ภาพที่ 41	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 5 กรัม.....	74
ภาพที่ 42	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8.....	75
ภาพที่ 43	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8.....	76
ภาพที่ 44	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8.....	76
ภาพที่ 45	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 กรัม.....	77

ภาพที่ 46 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม.....	78
ภาพที่ 47 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 5 กรัม.....	78
ภาพที่ 48 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 กรัม.....	79
ภาพที่ 49 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม.....	80
ภาพที่ 50 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8.....	80
ภาพที่ 51 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน	81
ภาพที่ 52 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน	82
ภาพที่ 53 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน ..	83
ภาพที่ 54 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน ...	84
ภาพที่ 55 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของตัวกลางดูดซับ S1-S8.....	86
ภาพที่ 56 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของตัวกลางดูดซับ S1-S4 เทียบกับ S5-S8	86
ภาพที่ 57 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยผสมของตัวกลางดูดซับ S1-S8.....	88
ภาพที่ 58 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยของตัวกลางดูดซับ S5-S8 กับวัสดุดูดซับทางการค้า	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากพบว่ามีสารเจือปนและความผิดปกติของร่างกายอันเกิดจากการสัมผัสพิษของสารอินทรีย์ระเหยมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปนเปื้อนสามารถพบได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ทั้งในบริเวณที่ชุมชนแออัด บริเวณนิคมอุตสาหกรรมและบริเวณอื่นๆ โดยมีปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยในบริเวณนั้นๆ เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ใช้เวลาในแต่ละวันมากกว่า 90% อยู่ในอาคาร (Sarkhosh, M., 2012) จึงทำให้เกิดการสัมผัสกับสารอินทรีย์ระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้ในอาคารบ้านเรือน สารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตในกระบวนการทางอุตสาหกรรม สารที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ ทำให้เกิดมลพิษในอากาศอยู่ในบรรยากาศโดยทั่วไปสารอินทรีย์ระเหยเหล่านี้แม้ว่าจะมีความเข้มข้นต่ำแต่หากได้รับการสัมผัสเป็นเวลานานก็จะทำให้เกิดการสะสมภายในร่างกาย ส่งผลให้เกิดการเจ็บป่วยและผิดปกติของสุขภาพร่างกาย โดยอาการเฉียบพลันที่เกิดคือ ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียนแต่หากสะสมเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความผิดปกติของระบบพันธุกรรมการทำงานของอวัยวะภายในและอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดการแก้ไขโดยการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยซึ่งวิธีการกำจัดที่นิยมใช้มีหลายวิธีเช่น การทำลายโครงสร้างของสารอินทรีย์ระเหยด้วยการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบต่างๆ การดูดซึม การดูดซับ การกรองผ่านแผ่นกรองชีวภาพ เป็นต้น โดยระบบต่างๆที่นำมาใช้ในการกำจัดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป โดยส่วนมากเทคนิคการดูดซึมและดูดซับมักเป็นที่นิยมเนื่องจากสามารถนำสารอินทรีย์ระเหยดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง และเป็นระบบที่ออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน เดินระบบง่าย และใช้ต้นทุนต่ำ

นอกจากปัญหาการเกิดสารอินทรีย์ระเหยแล้วกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยังก่อให้เกิดของเสียต่างๆที่อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอนพบว่าในแต่ละปีมีปริมาณเส้นใยที่ต้องนำไปกำจัดมากกว่า 500 ตันต่อปี จึงได้มีการนำเส้นใยเรยอนมาใช้ในการขึ้นรูปเพื่อนำไปดูดซับน้ำมันและนำไปทำวัสดุผสมเพื่อดูดซับไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเท็กซ์ (BTEX) โดยขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุดูดซับนั้นจำเป็นต้องเติมกรดลงไปเพื่อให้วัสดุดูดซับมีลักษณะฟู คล้ายฟองน้ำเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานเพื่อเป็นการนำของเสียจากอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำเส้นใยเรยอน และของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอน (เส้นใยเรยอน ของเหลวหนืดวิสโคสและเกลือโซเดียมซัลเฟต) มาขึ้นรูปเป็นวัสดุดูดซับเพื่อใช้ในการดูดซับไอของสารอินทรีย์ระเหยที่มักใช้เป็นตัวทำละลายหรือใช้ใน

กระบวนการผลิตทินเนอร์ผสมสี น้ำยาเคลือบเฟอร์นิเจอร์ ผลิตภัณฑ์กำจัดแมลง น้ำยาเคลือบสีไม้และสารที่ใช้ยึดติดชนิดต่างๆ ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ เอทิล อะซิเตท (Ethyl acetate) บิวทิล อะซิเตท (Butyl acetate) เฮกเซน (Hexane) และ ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดฟอสฟอริกในการขึ้นรูปวัสดุอุดซั้บ ลักษณะการอุดซั้บ ประสิทธิภาพการอุดซั้บ ปัจจัยทางกายภาพและเคมีที่มีผลต่อการอุดซั้บสารอินทรีย์ระเหยด้วยวัสดุอุดซั้บที่เตรียมขึ้น เปรียบเทียบประสิทธิภาพการอุดซั้บระหว่างวัสดุอุดซั้บที่เตรียมขึ้นกับเส้นใยทางการค้าเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

กระบวนการขึ้นรูปวัสดุอุดซั้บระหว่างของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอน ได้แก่ เส้นใยเรยอน ของเหลวหนืดวิสโคส และเกลือโซเดียมซัลเฟตกับเส้นใยนุ่น จำเป็นต้องเติมกรดเพื่อให้วัสดุอุดซั้บดังกล่าวมีลักษณะฟู คล้ายฟองน้ำเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน โดยงานวิจัยของดาราทิพย์ เพชรพรหม (2555) ทำการขึ้นรูปวัสดุอุดซั้บด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 10 ซึ่งเป็นกรดแก่อาจส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเส้นใยที่ใช้ทำวัสดุอุดซั้บอีกทั้งยังมีความอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมหากไม่มีการกำจัดที่ถูกต้อง จากการศึกษาของ Leguel (2011) พบว่ากรดฟอสฟอริกสามารถใช้ในการขึ้นรูปวัสดุอุดซั้บได้เช่นเดียวกัน และเกิดผลดีมากกว่าเนื่องจากกรดฟอสฟอริกมีสมบัติเป็นกรดอ่อน มีความรุนแรงน้อยกว่ากรดซัลฟิวริก ไม่ทำลายโครงสร้างของวัสดุอุดซั้บ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอีกทั้งยังสามารถทำให้ตกตะกอนได้โดยใช้แคลเซียมฟอสเฟตและนำไปทำเป็นปุ๋ยได้โดยทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดฟอสฟอริกแล้วนำมาใช้ในการขึ้นรูปวัสดุอุดซั้บแทนกรดซัลฟิวริกเพื่อคงสภาพโครงสร้างของเส้นใยที่ใช้ทำวัสดุอุดซั้บไม่ให้เกิดความเสียหายและเป็นวิธีการขึ้นรูปวัสดุอุดซั้บที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการอุดซั้บและปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะการบรรจุตัวกลาง ปริมาณตัวกลางในคอลัมน์ อัตราการไหลของแก๊สที่พาไอสารระเหยผ่านตัวกลาง ที่มีผลต่อการอุดซั้บสารอินทรีย์ระเหยง่าย 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) เอทิล อะซิเตท (Ethyl acetate) และบิวทิล อะซิเตท (Butyl acetate) โดยใช้วัสดุอุดซั้บที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติ (เส้นใยนุ่น) ของเหลวหนืดวิสโคส (Viscose liquid) และของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน ได้แก่ เส้นใยเรยอน และเกลือโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนที่เหมาะสม

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการอุดซั้บและลักษณะเฉพาะทางเคมีของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ มวลโมเลกุล ความมีขั้ว/ไม่มีขั้ว จุดเดือด ความดันไอ ที่มีผลต่อการอุดซั้บ

1.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิดโดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นเทียบกับโพลีพรไพลีนที่เป็นวัสดุดูดซับทางการค้า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1.3.1 ศึกษาการดูดซับภายในคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ปริมาตร 15.393 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2-10 ลิตรต่อชั่วโมง

1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับภายในคอลัมน์โดยทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

- ลักษณะการบรรจุตัวกลาง 4 แบบคือบรรจุตัวกลางที่เตรียมขึ้นซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างเส้นใยนุ่นกับเส้นใยเรยอนในอัตราส่วน 1:1 1:0 0:1 และวัสดุดูดซับเส้นใยนุ่นกับวัสดุดูดซับเส้นใยเรยอนเรียงสลับชั้นในอัตราส่วน 1:1

- ปริมาณวัสดุดูดซับน้ำหนักรวม 1, 3 และ 5 กรัม

- อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 99.5% ในการพาไอระเหยผ่านตัวกลาง 2, 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง

- สารระเหยได้แก่ เฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท

1.3.3 ศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีของสารระเหย ได้แก่ มวลโมเลกุล ความมีขั้ว/ไม่มีขั้ว จุดเดือด ค่าความดันไอ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยทั้ง 4 ชนิด

1.3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยทั้ง 4 ชนิด ของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับเส้นใยโพลีพรไพลีนที่เป็นวัสดุดูดซับทางการค้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติ (เส้นใยนุ่น) และของเสียจากอุตสาหกรรม (เส้นใยเรยอน และเกลือโซเดียมซัลเฟต) ในการดูดซับไอสารระเหยทั้ง 4 ชนิด

1.4.2 ทราบถึงปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ

1.4.3 เป็นการนำวัตถุดิบทางธรรมชาติที่สามารถหาง่ายและนำของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการใช้งานจริง

1.4.4 เป็นการพัฒนาวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

สารอินทรีย์ระเหยหรือสารอินทรีย์ระเหยง่ายคือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compounds) ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก อาจประกอบด้วยโมเลกุลของไฮโดรเจน คลอไรด์ โบรไมด์ ฟลูออไรด์ ออกซิเจน ซัลเฟอร์หรือไนโตรเจน ประกอบกันเป็นสารอโรมาติก(Aromatic) หรืออะลิฟาติก (Aliphatic) นอกจากนี้ยังรวมถึงกลุ่มคาร์บอนิล (อัลดีไฮด์และคีโตน) และกลุ่มแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถระเหยเป็นไอได้ในอากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดยทั่วไปสารอินทรีย์ระเหยสามารถพบได้ในบรรยากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญคือ แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ สารอินทรีย์ระเหยแบ่งได้ตามลักษณะโมเลกุลออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. Non-Chlorinated VOCs หรือ Non Halogenated hydrocarbonกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีอะตอมของฮาโลเจนอยู่ในโมเลกุล ทำให้สารระเหยประเภทนี้มีความเป็นพิษต่ำ ไม่เสถียร มีแหล่งกำเนิดมาจากสิ่งแวดล้อมเช่น การเผาไหม้ขยะ พลาสติก และตัวทำละลายต่างๆ เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะส่งผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจตัวอย่างสารประเภทนี้ได้แก่ Aliphatic Hydrocarbons, Aromatic Hydrocarbons, Alcohol, Aldehyde, Ketone

2.Chlorinated VOCs หรือ Halogenated hydrocarbon กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่มีอะตอมของฮาโลเจนอยู่ในโมเลกุล ทำให้สารระเหยประเภทนี้มีความเป็นพิษสูงกว่า Non Chlorinated VOCs และมีความเสถียรมากกว่า สามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน สะสมภายในร่างกายได้มากกว่า รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมและกระตุ้นให้เกิดมะเร็งได้ มีแหล่งกำเนิดจากสารเคมีที่ใช้สังเคราะห์ในอุตสาหกรรมตัวอย่างสารกลุ่มนี้ได้แก่ ChloroformTrichloroethylene (TCE) และ Dichloromethane เป็นต้น (Rafson, H J., 1998)

2.2 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ

สารอินทรีย์ระเหยมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 แหล่งคือ แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น การเกิดไฟฟ้า ภูเขาไฟระเบิด ก๊าซที่เกิดจากการเน่าเสียของอินทรีย์วัตถุรวมถึงขี้ถ่ายของเสียของมนุษย์ และแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณมาก โดยส่วนใหญ่สารอินทรีย์ระเหยมีสาเหตุจากกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น การเผาไหม้ น้ำมัน ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยออกจากกระบวนการผลิตของ

ภาคอุตสาหกรรม การใช้เชื้อเพลิงในการคมนาคมขนส่งหรือการจราจร รวมถึงการใช้ตัวทำละลายที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหยในการผสมสารเคมีหรือในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม การนำไปทำเป็นสารเคลือบผิว การทาสีอาคาร และเฟอร์นิเจอร์ การพ่นสีรถ การใช้น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาซักแห้ง น้ำยาตัด ยืด หรือเปลี่ยนสีผม ยาฆ่าแมลง และควีนบูทรี เนื่องจากสามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ จึงทำให้สารอินทรีย์ระเหยถูกปลดปล่อยและเกิดการฟุ้งกระจายออกมายังบริเวณต่างๆภายในบ้านและสถานที่ทำงานก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลกระทบต่อทางชีวภาพและสุขภาพ (Rafson, 1998; Schnelle, K. B. และ Brown, C. A., 2000)

2.3 ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย

เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยสามารถระเหยเป็นไอได้ในบรรยากาศทำให้ส่งผลกระทบต่อหลายด้าน ดังนี้

1. โอโซนเป็นก๊าซที่มีผลกระทบต่อร่างกายโดยการสูดดมโอโซนเข้าไปในปริมาณมากและเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดการทำงานที่ผิดปกติของตับ จากการศึกษาพบว่าโอโซนทั้งหมดในชั้นโทรโปสเฟียร์ มีสัดส่วนของก๊าซโอโซนที่มากกว่า 50% ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในด้านต่างๆ โดยปกติแล้วมนุษย์มีขอบเขตความทนต่อพิษของโอโซนได้ไม่เกิน 0.1 ppm หรือ 100 ppb / 1 hr-daily ตามมาตรฐานของ WHO ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของโอโซนที่เหมาะสมมนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้อย่าง เช่น ฟอกอากาศให้บริสุทธิ์ ฆ่าเชื้อโรคในผักผลไม้ ฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่ม เป็นต้น (Robert, B., และคณะ, 1991)

2. ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหยต่อสุขภาพสารอินทรีย์ระเหยสามารถกลายเป็นไอได้ในสภาวะปกติ และบางชนิดมีความเสถียรสูงทำให้คงตัวอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานและสามารถสะสมในร่างกายแม้ว่าจะมีความเข้มข้นต่ำสารอินทรีย์ระเหยสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ การหายใจ การกิน-การดื่มทางปากและการสัมผัสทางผิวหนัง ผลกระทบของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ร่างกายแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับ ชนิดของสาร ความเข้มข้นที่ได้รับสัมผัส และระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส โดยความเป็นพิษจากสารอินทรีย์ระเหยมี 2 ระยะคือ พิษระยะเฉียบพลันและพิษระยะเรื้อรัง อาการทั่วไปของการได้รับสัมผัสพิษระยะเฉียบพลันคือทำให้เกิดการระคายเคืองตาและทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ ตาพร่ามัว คลื่นไส้ ผิวหนังเกิดอาการแพ้ หากได้รับสัมผัสพิษระยะเรื้อรังจะส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆดังนี้

- 2.1 ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย สารอินทรีย์ระเหยหลายชนิดรบกวนหรือทำลายการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้ศักยภาพในการป้องกันการติดเชื้อลดลง

- 2.2 ระบบประสาท ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ ง่วงนอน ซึมเศร้า หรืออาจหมดสติได้

2.3 ระบบสุขภาพด้านอื่นๆ เช่น ระบบพันธุกรรม ระบบสืบพันธุ์ ระดับฮอร์โมนและอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งบางชนิดได้ (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555: ออนไลน์)

2.4 สารอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันความต้องการในการอุปโภค บริโภคมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมต่างๆเพิ่มกำลังการผลิตซึ่งเป็นสาเหตุของการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นซึ่งสารเคมีในการผลิต อุปกรณ์ เครื่องใช้สำนักงาน เฟอร์นิเจอร์ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆก็มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหย สารอินทรีย์ระเหยที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่มีสารอินทรีย์ระเหยเป็นส่วนผสม

ผลิตภัณฑ์	ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย
ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมัน น้ำมันก๊าด หรือผลผลิตจากการกลั่นปิโตรเลียม เช่น ทินเนอร์ที่ใช้ผสมสี น้ำมันที่ใช้ผสมสีผลิตภัณฑ์ กำจัดแมลงรบกวน น้ำยาเคลือบสี เฟอร์นิเจอร์	Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Hexane, Cyclohexane, 1,2,4-trimethylbenzene
ผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล เช่น น้ำยาล้างเล็บ โคลโลญจน์้ำหอม แอลกอฮอล์ สเปรย์ผม	Acetone, Ethyl alcohol, Isopropyl alcohol, Methacrylates (methyl or ethyl), Ethyl acetate
น้ำยาซักแห้ง น้ำยาขจัดคราบ น้ำยาทำความสะอาด ฆ่าเชื้อบนสัตว์และเครื่องหนัง	Tetrachloroethen (perchloroethene (PERC), Trichloroethene (TCE))
น้ำมันที่ทำจากส้ม หรือน้ำยาทำความสะอาดที่ทำจากสับปะรด สารละลายและผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่น	d-limonene (citrus odor), a-pinene (pine odor), isoprene

ผลิตภัณฑ์	ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย
PVC ซีเมนต์ น้ำยาเคลือบสีเนื้อไม้ และสารที่ใช้ยึดติดชนิดต่างๆ	Tetrahydrofuran, Cyclohexane, Methyl ethyl ketone (MEK), Toluene, Acetone, Hexane, 1,1,1-trichloroethane
น้ำมันละลายไขมัน น้ำมันที่ช่วยทำให้เกิดละออง น้ำยาทำความสะอาดเบรก	Methylene chloride, PERC, TCE, Toluene, Xylene, Methyl ethyl ketone,
น้ำยาดับกลิ่น สเปรย์ปรับอากาศ	1,4-dichlorobenzene, Naphthalene
สารทำความสะอาดของแอร์คอนดิชัน ตู้แช่แข็ง ตู้เย็น เครื่องกำจัดความชื้น	Freons (trichlorofluoromethane, dichlorodifluoromethane)
ผลิตภัณฑ์สีสเปรย์ เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์รถยนต์ น้ำยาดูแลเครื่องหนัง ยากำจัดแมลง	Heptane, Butane, Pentane

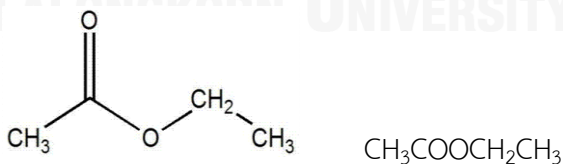
กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่งในเมืองใหญ่และกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันส่งผลต่อปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ สารเคมีต่างๆที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหย เช่น สารเคลือบผิว สารเคลือบเนื้อไม้ สารเคมีทำความสะอาด น้ำยาซักแห้ง น้ำยาดัดผม น้ำยาเปลี่ยนสีผม ยาทาเล็บ น้ำยาล้างเล็บ เครื่องพิมพ์เอกสาร เป็นสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันทั้งในที่อยู่อาศัยและสถานที่ทำงาน

โดยประกาศกระทรวงสาธารณสุขและกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 14 (พ.ศ.2538) กำหนดให้สารเคมี 14 รายการดังต่อไปนี้ เป็นสารระเหย 1.โทลูอิน (Toluene) 2.อะซิโตน (Acetone) 3.เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone) 4.ไอโซโพรพิลอะซิโตน (Isopropylacetone) 5.เอทิลอะซิเตต (Ethyl Acetate) 6.เซลลูลอสล์ฟอะซิเตต (Cellosolve Acetate) 7.เมทิลอะซิเตต (Methyl Acetate) 8.นอร์มาลบิวทิลอะซิเตต (n-Butyl Acetate) 9.เซคันดารีบิวทิลอะซิเตต (sec- Butyl Acetate) 10.นอร์มาล-บิวทิลไนไตรท์ (n- Butyl Nitrite) 11.ไอโซ-บิวทิลไนไตรท์ (iso- Butyl Nitrite) 12.บิวทิลเซลลูลอสล์ฟ (Butyl Cellosolve) 13.เซลลูลอสล์ฟ (Cellosolve) 14.เมทิลเซลลูลอสล์ฟ (Methyl Cellosolve) (ประกาศกระทรวงสาธารณสุขและกระทรวงอุตสาหกรรม, 2538) นอกจากสารระเหยทั้ง 14 รายการตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขยังมีสารระเหยชนิดอื่นที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมและมนุษย์มีโอกาสรับสัมผัสสารระเหย

เหล่านั้นทั้งในอาคารและภายนอกอาคาร ในงานวิจัยนี้เลือกสารอินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน ไโซโคล เฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่สามารถระเหยเป็นไอได้ที่ อุณหภูมิปกติและส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายหากได้สัมผัสรับเป็นเวลานานและในปริมาณมาก (กระทรวง อุตสาหกรรม, 2538: ออนไลน์)

2.4.1 เอทิล อะซิเตท (Ethyl Acetate)

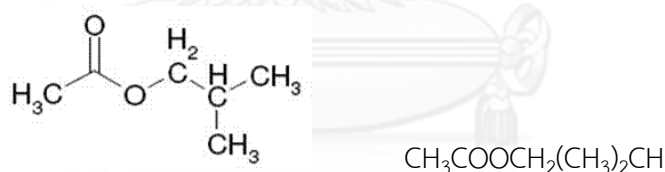
เอทิล อะซิเตท เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มเอสเทอร์ (Ester) ซึ่งมีหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (Alcoxy carbonyl) เป็นหมู่ฟังก์ชันมีสูตรทั่วไปเป็น $R'COOR$ เมื่อ R แทนหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลของกรดคาร์บอกซิลิกโครงสร้างของเอทิล อะซิเตทประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุลและสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 1 มีสถานะเป็นของเหลวใส ระเหยได้ ติดไฟง่าย มีกลิ่นหอมคล้ายผลไม้ ละลายน้ำได้เล็กน้อยละลายได้ดีในอีเทอร์ แอลกอฮอล์และคลอโรฟอร์ม สมบัติทั่วไปทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 2 เอทิล อะซิเตท จัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 14 (พ.ศ.2538) และเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 1 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย (พ.ศ. 2535) นิยมนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆเช่น ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมสี สารแต่งกลิ่นในทางเภสัชกรรม ตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมเครื่องหนังและอุตสาหกรรมการทำไหมเทียม เป็นต้น ซึ่งหน่วยงานชีวอนามัยและความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) กำหนดให้ความเข้มข้นของเอทิลอะซิเตทในบรรยากาศภายในสถานที่ทำงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องสัมผัสกับสารอยู่ตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่า 400 ส่วนในล้านส่วน (U.S. Department of health and human services, 1978: ออนไลน์)



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของเอทิล อะซิเตท

2.4.2 บิวทิล อะซิเตท (Butyl Acetate)

บิวทิล อะซิเตท เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มเอสเทอร์ ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน 6 อะตอม มีสถานะเป็นของเหลว ติดไฟง่าย ละลายน้ำได้เล็กน้อยและละลายได้ดีในอีเทอร์ แอลกอฮอล์ คีโตนและตัวทำละลายอื่นๆ สูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้าง สมบัติทางกายภาพและเคมีดังภาพที่ 2 และตารางที่ 2 บิวทิล อะซิเตทจัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 14 (พ.ศ. 2538) นิยมใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม เช่น ใช้ผลิตสารเคลือบ ผลิตแลคเกอร์ หนังกีเยม ฟิล์มถ่ายรูป พลาสติกและกระจกนิรภัย เป็นต้น เนื่องจากเป็นสารไวไฟและก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกายจึงถูกจัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 1 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 มีหน่วยงานที่รับผิดชอบคือ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข เนื่องจากบิวทิล อะซิเตทระเหยได้ง่ายจึงพบได้ทั่วไปในบรรยากาศทั้งภายนอกและภายในอาคารซึ่งประชากรส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่ภายในอาคารมากกว่า 80% ของแต่ละวัน จึงทำให้เกิดการสะสมและเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ หน่วยงานชีวอนามัยและความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) กำหนดให้ความเข้มข้นของบิวทิล อะซิเตท ในบรรยากาศภายในสถานที่ทำงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องสัมผัสกับสารตลอด 8 ชั่วโมงการทำงาน มีค่า 150 ส่วนในล้านส่วน (U.S. Department of health and human services, 1978: ออนไลน์)



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของบิวทิล อะซิเตท

2.4.3 เฮกเซน (Hexane)

เฮกเซนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน 6 อะตอม สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลดังภาพที่ 3 มีสถานะเป็นของเหลวใส มีกลิ่นคล้ายแก๊สโซลีน ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน และตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว สมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 2 เฮกเซนมีสมบัติเป็นสารระเหยง่ายตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ข้อ 3 พ.ศ. 2553 นิยมใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดและอุตสาหกรรมเคมีประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การใช้ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวทำละลายอยู่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆในชีวิตประจำวันใช้ในการ

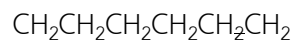
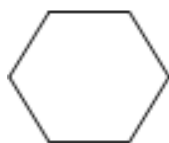
ผสมสี หรือกาสำหรับใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์และงานซ่อมรองเท้า เป็นต้น หน่วยงานชีวอนามัยและความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) กำหนดให้ความเข้มข้นของเฮกเซนในบรรยากาศภายในสถานที่ทำงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องสัมผัสกับสารตลอดเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่า 500 ส่วนในล้านส่วน (U.S. Department of health and human services, 1978: ออนไลน์)



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของเฮกเซน

2.4.4 ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane)

ไซโคลเฮกเซนเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวง 6 เหลี่ยม ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน 6 อะตอม มีสถานะเป็นของเหลวใส มีกลิ่นคล้ายอีเทอร์ เป็นสารไวไฟและหนักกว่าอากาศทำให้ไหลไปสะสมในที่ต่ำหรือพื้น สามารถละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซิโตนและเบนซิน สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลดังภาพที่ 4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 2 ไซโคลเฮกเซนเป็นสารระเหยที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันหรือปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันมีเบนซินเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมักนำมาใช้เป็นตัวทำละลายเพื่อใช้ละลายสารเคมี เช่น เซลลูโลส อีเทอร์ แลคเกอร์เรซิน ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมสี น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาล้างวาร์นิช เชื้อเพลิงแข็ง ยาฆ่าแมลงและใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิตเส้นใยไนลอน เป็นต้น ไซโคลเฮกเซนถูกจัดให้เป็นสารอันตรายประเภทที่ 3 เนื่องจากเป็นของเหลวไวไฟ สามารถติดไฟได้เอง อีกทั้งยังก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยต่างๆหากได้รับสัมผัสเป็นเวลานานหรือปริมาณมาก โดยหน่วยงานชีวอนามัยและความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) กำหนดปริมาณความเข้มข้นของไซโคลเฮกเซนที่ผู้ปฏิบัติงานที่ต้องสัมผัสตลอดเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วน (U.S. Department of health and human services, 1978: ออนไลน์)



ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลของไซโคลเฮกเซน

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารระเหยทั้ง 4 ชนิด

Name	Ethyl acetate	Butyl acetate	Hexane	CycloHexane
CAS number	141-78-6	123-8-64	110-54-3	110-82-7
Formula	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	C_6H_{14}	C_6H_{12}
MW	88.1	116	86.2	84.2
BP, °C	72	126	69	80
MP, °C	-83	-77	-95	6.6
Density g/cm^3	0.9	0.88	0.66	0.78
Vapor pressure, mmHg/25°C	100	15	150	100
water solubility, g/L	8.3	10	0.0095	Immiscible
Henry's Law Constant, $\text{atm}/(\text{m}^3/\text{mole})$	0.000128	0.000164	0.768013	0.0137
Log Kow	0.92	1.79	3.29	3.52

(ที่มา: Rafson, 1998; ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2556: ออนไลน์)

2.5 อันตรายจากการได้รับสัมผัสสารระเหยทั้ง 4 ชนิด

ตารางที่ 3 อันตรายจากการรับสัมผัสเอทิล อะซิเตท บิวทิล อะซิเตท เฮกเซน และไซโคลเฮกเซน

สารอินทรีย์/ การรับสัมผัส	เอทิล อะซิเตท	บิวทิล อะซิเตท	เฮกเซน	ไซโคลเฮกเซน
ทางการหายใจ	ปวดศีรษะ มึนงง และ หากรับสารเคมีมีความเข้มข้นสูงอาจทำให้หมดสติได้	ปวดศีรษะ มึนงง และ หากรับสารเคมีมีความเข้มข้นสูงอาจทำให้หมดสติได้	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ, คลื่นไส้, อาเจียน, ปวดศีรษะ, ง่วงนอน, หมดสติ และอาจทำให้เกิดอาการสับสน	เวียนศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว หายใจถี่เร็ว น้อย ปวดศีรษะ หายใจขัด ตัวสั่น คลื่นไส้ เกิดอาการมินชา และหมดสติได้
การกิน-ดื่มทางปาก	เวียนศีรษะ ง่วงซึม คลื่นไส้และหมดสติ	เวียนศีรษะ ง่วงซึม คลื่นไส้และหมดสติ	ระคายเคืองระบบย่อยอาหาร, ปวดศีรษะ, คลื่นไส้, อาเจียน, เวียนศีรษะ	ระคายเคืองระบบย่อยอาหาร, เมื่อยล้า, คลื่นไส้, ง่วงนอน, ระบบหายใจอักเสบและอาจจะมีของเหลวสะสมในปอด
ทางผิวหนัง	ชั้นผิวหนังถูกทำลายและเกิดการอักเสบของผิวหนัง	ชั้นผิวหนังถูกทำลายและเกิดการอักเสบของผิวหนัง	ระคายเคืองผิวหนังอักเสบ หากดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังจะเป็นอันตราย	ผื่นแดง บวมหนา และเจ็บปวด
ทางตา	ระคายเคืองตา	ระคายเคืองตา	ระคายเคืองตา	ระคายเคืองตา

(ที่มา: Rafson, 1998; ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2556: ออนไลน์)

2.6 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย

สารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณมากมักเกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมที่ต้องใช้สารเคมีจำนวนมากในการผลิต ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานตลอดจนประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นการกำจัดหรือการป้องกันการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องเร่งดำเนินการโดยกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยมีหลายวิธีแต่วิธีพื้นฐานที่นิยมใช้ในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ระเหยมี 2 วิธี คือ

1. การเปลี่ยนแปลงชนิดสารตั้งต้นและปรับปรุงขั้นตอนรวมทั้งอุปกรณ์ในการผลิตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะใช้ โดยมีวัตถุประสงค์คือเปลี่ยนแปลงชนิดของสารตั้งต้นเพื่อเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยตั้งแต่เริ่มต้นก่อนที่จะผ่านส่วนต่างๆ ของกระบวนการผลิตและมีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนในการผลิตเพื่อลดการเกิดหรือการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อมรวมถึงการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อลดโอกาสในการรั่วไหลของสารอินทรีย์ระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. การเพิ่มวิธีหรืออุปกรณ์เพื่อควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ระเหย เหมาะสำหรับในกรณีที่ไม่สามารถปรับปรุงกระบวนการหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิตได้ เทคนิคนี้สามารถแบ่งออกได้อีก 2 เทคนิคย่อยคือ

- 2.1 การทำลายสารอินทรีย์ระเหยโดยใช้กระบวนการออกซิเดชันรูปแบบต่างๆดังนี้ กระบวนการออกซิเดชันโดยใช้ความร้อน (Thermal oxidation) กระบวนการออกซิเดชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic oxidation) และกระบวนการกรองโดยอาศัยจุลชีพ (Bio-filtration)

- 2.2 การนำสารอินทรีย์จากกระบวนการผลิตมาใช้ใหม่ โดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น กระบวนการดูดซึม (Absorption) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) กระบวนการกลั่นตัว (Condensation) และกระบวนการแยกโดยใช้เยื่อ (Membrane separation) (Khan. F. I, 2000)

2.7 กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับคือกระบวนการที่ของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส เกิดการสะสมตัวอยู่บนผิวสารดูดซับที่มีสถานะเป็นของแข็งหรืออาจเป็นของเหลว กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สถานะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) สารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) ปัจจัยสำคัญในการแยกประเภทกระบวนการดูดซับพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์

(Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)(Khan. F. I, 2000)

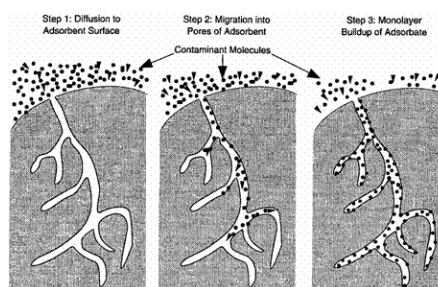
1. การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน เกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) ทำให้เกิดแรงดึงดูดขึ้นอยู่กับความมีขั้ว (Polar) หรือไม่มีขั้ว (Non polar) ของทั้งโมเลกุลของสารถูกดูดซับ และโมเลกุลของสารดูดซับการดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับมีพลังงานการคายความร้อนต่ำ เกิดการผันกลับของกระบวนการง่ายการฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับจึงสามารถทำได้ง่าย ในการดูดซับประเภทนี้สารที่ถูกดูดซับเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น(Multilayer) และในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้น โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย กระบวนการดูดซับทางกายภาพนี้มักนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในศาสตร์ของวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (Reynolds and Richards, 1996)

2. การดูดซับทางเคมีการดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกันส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม เกิดการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้และเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว(Monolayer) (สุภาภรณ์ มั่นไทรทอง, 2541)

2.7.1 กลไกการดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปอยู่บนอนุภาคของตัวดูดซับโดยมีกลไก 3 ขั้นตอนดังนี้

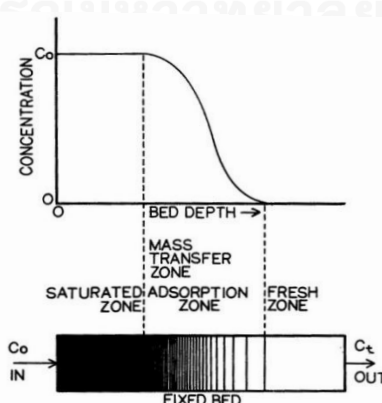
1. โมเลกุลของสารถูกดูดซับเกิดการแพร่ไปยังผิวภายนอกของสารดูดซับ
2. โมเลกุลของสารถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณรูพรุนส่วนนี้
3. โมเลกุลของสารถูกดูดซับติดที่ผิวภายในรูพรุนของสารดูดซับโดยเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กลไกการดูดซับ
(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550: ออนไลน์)

2.7.2 การดูดซับในคอลัมน์และบริเวณการถ่ายโอนมวลสาร

เมื่อผ่านอากาศที่ปนเปื้อนแก๊สเข้าสู่คอลัมน์ซึ่งบรรจุสารดูดซับไว้ภายใน มลสารต่างๆ จะถูกดูดซับไว้ภายในสารดูดซับ จากภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความลึกของคอลัมน์ แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกความเข้มข้นของแก๊สที่ปนเปื้อนในอากาศมีความเข้มข้นมาก และค่อยๆ ลดลงเมื่อผ่านคอลัมน์ ในขณะที่ปริมาณมลสารต่างๆ ในสารดูดซับเพิ่มมากขึ้น โดยในช่วงแรกของการดูดซับ สารดูดซับในบริเวณทางเข้าคอลัมน์จะสัมผัสกับมลสารต่างๆ ตลอดเวลา ทำให้บริเวณดังกล่าวเต็มไปด้วยโมเลกุลของมลสารและไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป การดูดซับจึงเกิดขึ้นในส่วนถัดไปของสารดูดซับ โดยความเข้มข้นของมลสารในสารดูดซับจะเพิ่มขึ้นจาก 0 ไปจนถึงจุดอิ่มตัว เรียกว่าบริเวณการถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transfer Zone, MTZ) โดยในบริเวณนี้จะเป็นส่วนของการเกิดปฏิกิริยาดูดซับ ความเข้มข้นของแก๊สที่ปนเปื้อนในอากาศจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องผ่านสารดูดซับ จากค่าเท่ากับศูนย์ในตอนต้นไปจนถึงความเข้มข้นสูงสุดบริเวณทางออกของคอลัมน์



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสารและการถ่ายเทมวลสารของสารดูดซับ
ภายในคอลัมน์

(ที่มา: Noll, K. E. และคณะ, 1992)

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ขนาดพื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ โดยอัตราเร็วในการดูดซับแปรผกผันกับขนาดของสารดูดซับ กล่าวคืออัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อลดขนาดของสารดูดซับลง นอกจากขนาดของสารดูดซับแล้วโครงสร้างของรูพรุนก็เป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งโดยประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อรูพรุนของสารดูดซับมีขนาดใหญ่พอที่โมเลกุลของสารดูดซับสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนได้และในกรณีที่โมเลกุลของสารดูดซับไม่สามารถเข้าสู่โมเลกุลได้ประสิทธิภาพการดูดซับจะมีค่าต่ำลง

2. สมบัติทางเคมีของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ เช่น หมู่ฟังก์ชันเฉพาะบนผิวหน้า ความมีขี้-ไม่มีขี้ ขนาดโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล มีความสำคัญในการดูดซับ จากการศึกษาคุณลักษณะการดูดซับสารระเหยง่ายได้แก่ อะซิโตน เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK) เบนซีน (Benzene) และโทลูอีน (Toluene) ด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่าอะซิโตนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางภายในคอลัมน์ออกมาเร็วที่สุดทั้งนี้เนื่องจาก ซึ่งมีมวลโมเลกุล ขนาดโมเลกุลน้อยที่สุด จากนั้นทำการศึกษาคุณลักษณะการดูดซับของสารผสมผลการทดลองพบว่าสารที่มีไม่มีขี้และมีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่เกิดการดูดซับได้ดี (Lee และคณะ, 2008)

3. อุณหภูมิคือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการดูดซับเนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน หากอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

4. ระยะเวลาที่สารสัมผัสกับตัวดูดซับ ระยะเวลาที่มากขึ้นทำให้สารดูดซับและสารถูกดูดซับมีเวลาสัมผัสกันมากขึ้น สามารถดูดซับได้มากขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายและไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป

2.9 กฎของเฮนรี (Henry law)

การละลายของแก๊สในของเหลวเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในกระบวนการดูดซับกฎของเฮนรีเป็นทฤษฎีที่อธิบายความสามารถในการละลายของแก๊สที่ละลายอยู่ในของเหลวได้เป็นอย่างดี โดยความสามารถการละลายจะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความกดดันของแก๊ส ที่กระทำเหนือของเหลวกล่าวคือการละลายของแก๊สในของเหลวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันเหนือของเหลวเพิ่มมากขึ้น การวัดความสามารถในการละลายนี้จะทำภายในภาชนะปิด ที่สภาวะสมดุล และวัดความสามารถในการละลายเมื่ออัตราการละลายของแก๊สในของเหลวเท่ากับอัตราการระเหยของแก๊สออกจากของเหลวทฤษฎีนี้เหมาะสมในการคำนวณหาความสามารถในการละลายของแก๊สที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำหรือแก๊สที่ไม่ละลายน้ำ ค่าการละลายของแก๊สสามารถหาได้ดังสมการ (Rafson, H. J., 1998; ตำราบำบัดมลพิษอากาศ, 2550; ออนไลน์)

$$P^* = H x \quad (1)$$

เมื่อ P^* = ความดันย่อยของตัวถูกละลายหรือแก๊สที่ปนเปื้อนบรรยากาศที่ภาวะสมดุล

H = ค่าคงที่ของเฮนรีที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง

x = สัดส่วนโมลของตัวถูกละลายหรือแก๊สที่ปนเปื้อนในของเหลว

2.10 สารดูดซับ (Adsorbent)

สารดูดซับหรือสารดูดติดผิวคือสารที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะทำให้โมเลกุลของสารพิษแก๊สหรือกลิ่นต่างๆดูดติดผิวโดยแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียว แร่ธาตุต่างๆ เปลือกไม้ เส้นใยและวัสดุทางธรรมชาติชนิดต่างๆมีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขีดจำกัดในการใช้งานเนื่องจากสามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด

2. สารอนินทรีย์สังเคราะห์คือ แอคทีเวทเตตคาร์บอน (Activated carbon) หรือที่เรียกว่า ถ่านกัมมันต์ โดยจะนำวัสดุดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มาสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีประสิทธิภาพดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงกว่าวัสดุดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มาก โดยพื้นที่ผิวมีค่าประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัมและเป็นวัสดุดูดซับที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง

3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resin) ที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนมีพื้นที่ผิวประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัมมีประสิทธิภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์แต่ในขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพสามารถทำได้ง่ายกว่ามากโดยใช้สารที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้เช่นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง)



ภาพที่ 7 วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์

2.10.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์คือธาตุคาร์บอนบริสุทธิ์ มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) การจัดเรียงตัวแตกต่างจากการจัดเรียงตัวของคาร์บอนรูปแบบอื่นๆ เช่น กราไฟต์และเพชร ผลิตจากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ หรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (Activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาด 18-10,000 อังสตรอม เป็นจำนวนมาก และบริเวณรูพรุนยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุ และยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่างๆ ได้อย่างดี เมื่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ต่ำลง สามารถทำให้กลับมามีความสามารถในการดูดซับ ก๊าซ และก๊าซต่างๆ ได้อีกโดยการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) จึงเป็นวัสดุดูดซับที่มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง (Yang, R. T., 1987)

2.10.1.1 การแบ่งประเภทของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง สามารถดูดซับสารได้หลายประเภท ถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีสมบัติและสภาวะในการดูดซับที่แตกต่างกัน โดยทั่วไป การแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์จะคำนึงถึงลักษณะของถ่านกัมมันต์เป็นหลักซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภทดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon; PAC)
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Pelleted Activated Carbon)
3. ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon; GAC)
4. ถ่านกัมมันต์ที่เป็นเส้นใย (Cloth and Fibres Activated Carbon)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 8 (ก) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (ข) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและ (ง) ถ่านกัมมันต์ที่เป็นเส้นใย

2.10.1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) เป็นการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน ซึ่งอุณหภูมิในการเผาประมาณ 200-400 องศาเซลเซียส โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ผลพลอยได้คือเกิดผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่เป็นของเหลว และแก๊ส โครงสร้างวงอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ โครงสร้างโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมา เป็นผลิตภัณฑ์ ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ เป็นต้น โดยกระบวนการคาร์บอนไนซ์แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ในช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียสเกิดการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบ

1.2 ในช่วงอุณหภูมิ 197-497 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสโดยเกิดแก๊สและน้ำมันทาร์ภายในโครงสร้าง

1.3 ในช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียสมีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงมาก

1.4 กระบวนการกระตุ้น (Activation) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์โดยการทำให้มีรูพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือการกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ

2. การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวดังกล่าวโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมี ซึ่งการกระตุ้นชนิดนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 150-900 องศาเซลเซียส สารกระตุ้นที่นิยมใช้ทั่วไปในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) สารเคมีเหล่านี้สามารถแทรกซึมได้ทั่วถึงและทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วมากขึ้น จากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนเป็นเวลาหลายชั่วโมง การกระตุ้นชนิดนี้มีข้อเสียคือต้องล้างสารเคมีที่ใช้กระตุ้น ซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์ไม่ให้เหลือตกค้าง เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน

2.1 การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride, ZnCl_2) โดยการนำสารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600-850 องศาเซลเซียส แต่เนื่องด้วยปัญหาการกัดกร่อนต่อเตาเผาจึงทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลง

2.2 การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H_3PO_4) เป็นวิธีการที่ใช้อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ สามารถนำกรดฟอสฟอริกผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วิธีการนี้ใช้ได้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้ ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดี

3. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นการกระตุ้นด้วยแก๊ส หรือน้ำโดยใช้น้ำที่ใสจะต้องเป็นน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated stream) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายไปและเกิดโครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน การกระตุ้นด้วยวิธีนี้ใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส โดยขนาดของรูพรุนที่ได้มีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งการกระตุ้นด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถนำมาใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง (บุญรักษ์ กาญจนวรรณิชย์, 2004)

2.10.1.3 ประโยชน์และการนำไปใช้งาน

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปโดยส่วนใหญ่จะนิยมนำแบ่งถ่านกัมมันต์ได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอสารระเหย อุตสาหกรรมที่นิยมนำถ่านกัมมันต์ประเภทนี้ไปใช้ได้แก่ อุตสาหกรรมการแยกก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันสารพิษ อุตสาหกรรมที่มีการใช้ตัวทำละลายใช้กำจัดสิ่งเจือปนออกจากแก๊ส และกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

2. ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้ในการดูดซับของเหลว อุตสาหกรรมที่นิยมนำถ่านกัมมันต์ประเภทนี้ไปใช้ได้แก่ อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน อุตสาหกรรมเคมี เกษษกรรม การกำจัดสิ่งเจือปนออกจากอาหาร และใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.10.1.4 การฟื้นฟูสภาพ

เมื่อผ่านการใช้งานรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำลง เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีราคาสูงและเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อเกิดการเสื่อมสภาพ จึงนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผ่านกระบวนการฟื้นฟูสภาพหรือที่เรียกว่า Regenerate เพื่อนำกลับมาใช้งานได้อีก กระบวนการฟื้นฟูสภาพมี 2 วิธีคือ กระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมีนิยมใช้สารอินทรีย์เพื่อออกซิไดซ์สิ่งสกปรกให้หลุดออกจากรูพรุนแต่ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพต่ำกว่าวิธีทางกายภาพที่นิยมนำถ่านกัมมันต์ไปเผาโดยควบคุมสภาวะในการเผาให้เหมาะสมเพื่อให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากรูพรุน

2.11 อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอนมีความก้าวหน้าและมีกำลังการผลิตเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน เส้นใยเรยอนที่ได้จากการผลิตนิยมทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตกแต่งภายในที่อยู่อาศัยหรืออาคารต่างๆ เช่น ผ้าม่าน ผ้าปูโต๊ะ ผ้าปูที่นอน เครื่องนุ่งห่ม ชุดกีฬา ผ้าอ้อม เป็นต้น

บริษัทไทยเรยอน จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทผลิตเส้นใยเรยอนเพียงรายเดียวในประเทศไทย โดยในปีพ.ศ. 2554 มีกำลังการผลิต 133,487 ตันต่อปีผลผลิตที่ได้คือเส้นใยเรยอนและผลพลอยได้จากการผลิตคือโซเดียมซัลเฟต นอกจากนี้ยังเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตเช่น กากตะกอนชีวภาพ และกากตะกอนสังกะสี โดยบริษัทได้ดำเนินการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการนำกากตะกอนสังกะสีมาทำเป็นอิฐมวลเบาและนำกากตะกอนชีวภาพผสมกับปุ๋ยเพื่อนำไปใช้ในด้านเกษตรกรรม นอกจากนี้ของเสียดังกล่าว ในกระบวนการผลิตเส้นใยยังก่อให้เกิดของเสีย 3 ชนิดคือ เส้นใยที่เกิดจากการอบและเส้นใยที่ปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่มีปริมาณมากถึง 500 ตันต่อปี เกลือโซเดียมซัลเฟตที่เกิดการปนเปื้อนสิ่งสกปรกในกระบวนการขนส่งประมาณ 50 ตันต่อปีและของผสมหนืดวิสโคสประมาณ 300 ตันต่อปี ของเสียจำนวนมากเหล่านี้ถูกกำจัดโดยใช้วิธีการฝังกลบซึ่งมีค่าดำเนินการสูงและต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้หากดำเนินการฝังกลบที่ไม่ได้มาตรฐาน (บริษัทไทยเรยอน จำกัด (มหาชน), 2554: ออนไลน์)

2.11.1 เส้นใยเรยอน

เส้นใยเรยอนคือเส้นใยเซลลูโลสสังเคราะห์หรือเซลลูโลสที่นำมาผลิตขึ้นใหม่ (Regenerated cellulose) ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี 1664 โดยนายโรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) ในอดีตรู้จักกันในชื่อไหมเทียม ต่อมาภายหลังเรียกว่า เรยอนและได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นจนเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้งานวิธีการผลิตเส้นใยเรยอนที่ใช้ในปัจจุบันมี 3 วิธีได้แก่ Rayon-viscose Cuprammonium และ High wet-modulusเกณฑ์การแบ่งวิธีการผลิตนั้นจะพิจารณาจากเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากวัตถุดิบเริ่มต้นไปอยู่ในรูปแบบที่ต่างกัน โดยรูปแบบที่ต่างกันเกิดจากกระบวนการผลิตที่ต่างกันทำให้ลักษณะและสมบัติของเส้นใยมีความแตกต่างกันไปในแต่ละวิธีที่ใช้ในการผลิต ในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตเส้นใยเรยอนคือกระบวนการวิสโคส (Viscose Process) (Corbman, B P., 1975)

2.11.2 ลักษณะของเส้นใยเรยอน

เรยอนเป็นเส้นใยที่มีลักษณะตรง มีรอยขีดตลอดแนวความยาวของเส้นใย เมื่อตัดขวางบริเวณขอบเส้นใยมีลักษณะหยักคล้ายฟันปลา ดังภาพที่ 9 พื้นผิวเรียบ มันเงา นุ่ม เบาสบาย ระบายความร้อนได้ดี แห้งง่าย มีผ่านศูนย์กลางขนาด 15 ไมโครเมตร มีความหนาแน่น 1.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถดูดซับความชื้นได้ดี แข็งแรงและสามารถทนต่อแรงดึงได้ดีแต่ความแข็งแรงจะลดลงไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเส้นใยเปียก (Kadolph, S. J., 2007)



(ก)



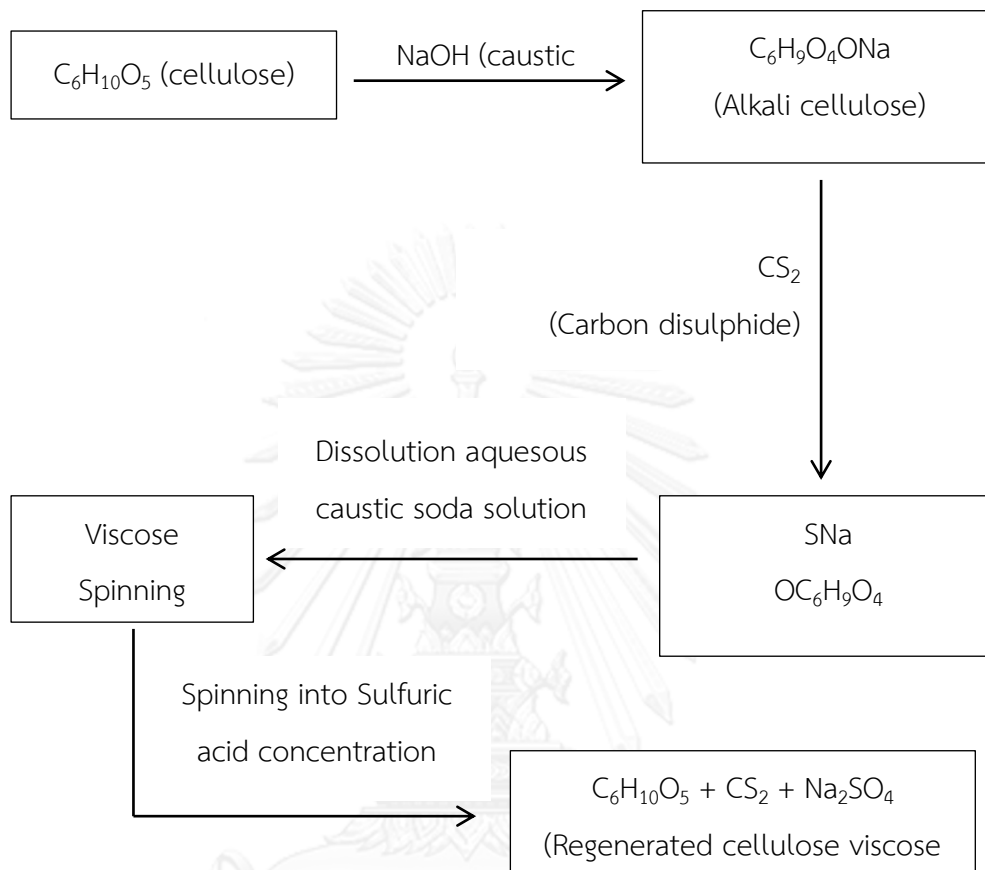
(ข)

ภาพที่ 9 (ก) ลักษณะเส้นใยเรยอน (ข) โครงสร้างของเส้นใยเรยอนที่กำลังขยาย 30 เท่า
(ที่มา: Gurudatt.K และ Tripathi.V.S, 1998)

2.11.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน

กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอนที่ใช้กันทั่วไปคือกระบวนการวิสโคส มีวัตถุดิบหลักคือกระดาษซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจากนั้นนำกระดาษจุ่มแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีสมบัติเป็นด่างและกวนให้ได้ของผสมที่เป็นของเหลว เยื่อเซลลูโลสที่ได้จะมีค่าพีเอชเป็นด่างหรือที่เรียกว่า เยื่อด่าง (Alkali cellulose) จากนั้นส่งของเหลวดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้วิธีการรีดเพื่อให้ของเหลวมีสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์และเยื่อด่างที่เหมาะสม หมักเยื่อด่างที่ได้ภายใต้เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วเติมสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์เยื่อด่างจะเกิดปฏิกิริยากับสารดังกล่าวกลายเป็นเซลลูโลสแซนเทต (Cellulose Xanthate) ที่มีสีส้มอ่อน นำสารที่ได้ไปละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นของเหลวหนืดวิสโคส (Viscose mixture) ทำการบ่มและกรองของเหลววิสโคสเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนและกำจัดฟองอากาศที่เป็นสาเหตุของความแข็งแรงของเส้นใยลดลง จากนั้นนำของเหลวหนืดวิสโคสที่ได้ไปทำการขึ้นรูปเป็นเส้นใยโดยอัดผ่านหัวฉีดลงในอ่างน้ำยาที่มีส่วนผสมของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซิงค์ซัลเฟต (Zn_2SO_4) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) หรือที่เรียกว่าน้ำยาสปินบัทท์ ของเหลวที่ผ่านหัวฉีดลงมาจะเกิดการตกตะกอนของเซลลูโลสเกิดเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องจำนวนมาก จากนั้นทำการดัมและตัดเพื่อให้เส้นใยเปิดตัว

ล้าสารเคมี อบแห้งและอัดเป็นลูก ได้เส้นใยเรยอนเพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอนดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน

(ที่มา: Hall, A. J., 1975)

2.10.4 ประโยชน์ของเส้นใยเรยอน

เส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงและสวยงามเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมต่างๆโดยนิยมนำไปใช้ 2 ประเภทคือ ประเภทของสิ่งทอคือทำเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ภายในครัวเรือน เช่น ผ้าปูที่นอน หมอน ผ้าปูโต๊ะ เครื่องนุ่งห่ม ชุดกีฬา อุปกรณ์ตกแต่ง และประเภทที่เป็นเส้นใยซึ่งนำไปทำผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล ผ้าอ้อมสำเร็จรูป ใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมต่างๆทั่วไป นอกจากการนำไปใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมแล้วยังสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยต่างๆ เช่น การนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน ดูดซับก๊าซหรืออาจนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุดูดซับ (Kadolph, S. J., 2007; Hall, A. J., 1975; Corbman, B. P., 1975)

2.12 นุ่น

2.12.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

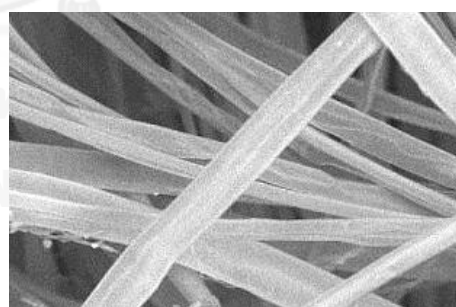
นุ่นเป็นพืชเส้นใยที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา อยู่ในตระกูล Bombaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *CeibapentandraGaerth* ลำต้นสูงใหญ่ผิวเรียบ ใบมีลักษณะเป็นแฉกประมาณ 5 - 8 แฉก และจะร่วงเมื่อนุ่นเริ่มออกดอกดอกจะออกรวมกลุ่มเป็นช่อ มีสีขาวหรือขาวปนเหลือง ดอกบานเต็มที่ขนาดกว้างประมาณ 5 ซม. และยาวประมาณ 5 ซม. กลีบดอกมี 5 กลีบ ดอกนุ่นจะบานในช่วงเวลาเย็นจนถึงเช้า มีกลิ่นหอมผลมีความยาวตั้งแต่ 8 - 50 ซม. ปลายฝักเรียวแหลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 - 10 ซม. ผลอ่อนมีสีเขียวเมื่อแก่เต็มที่จะมีสีเหลืองเข้มหรือสีน้ำตาล เปลือกจะแตกออกเห็นเส้นใยสีขาวเมล็ด มีลักษณะกลม สีดำนุ่นเจริญได้ดีในเขตร้อน ทนต่อสภาพดินแห้งแล้ง สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย (สุวิทย์ วงศ์จุฬาราวณิช, 2555: ออนไลน์)

2.12.2 ลักษณะของเส้นใยนุ่น

เส้นใยนุ่นเป็นเส้นใยที่มีลักษณะตรง ยาวรี โครงสร้างเป็นท่อกลวง (lumen) ผนังบาง เรียบและเปราะจึงไม่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอพวกปั่นด้ายเหมือนกับฝ้ายเพราะฟูและเบา มาก เส้นใยไม่มีลักษณะหยิกหรือหยักที่ช่วยให้กลุ่มเส้นใยจับตัวกันได้ดีเมื่อปั่นหรือปั่นเป็นเส้นด้ายมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 14 เท่าของน้ำ สามารถรับน้ำหนักได้ 30 เท่าตัวในน้ำทะเล จากสมบัติดังกล่าวทำให้มีการนำเส้นใยนุ่นไปใช้ประโยชน์หลายด้าน ลักษณะทั่วไปและโครงสร้างของเส้นใยดังภาพที่ 11



(ก)



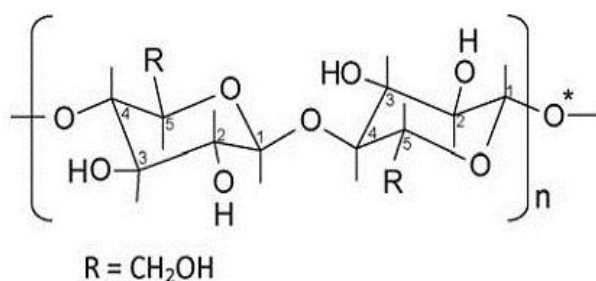
(ข)

ภาพที่ 11 (ก) ลักษณะทั่วไปของเส้นใยนุ่น และ(ข) ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยนุ่น

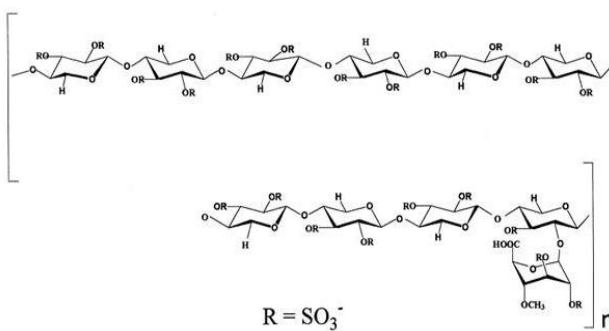
(ที่มา: Likon M. และคณะ, 2013)

2.12.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยนุ่ม

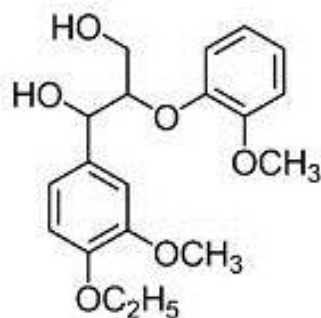
เส้นใยนุ่มเป็นเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ (Cellulose) มีส่วนประกอบของเซลลูโลส (Cellulose) 64 % ลิกนิน (Lignin) 13% และเพนโทซาน (Pentosan) 23% (Kobayashi และคณะ, 1977) นอกจากองค์ประกอบดังกล่าวบริเวณพื้นผิวของเส้นใยถูกเคลือบด้วยแว็กซ์ (Wax) ซึ่งเป็นสารไม่มีขี้ผึ้งทำให้เส้นใยมีสมบัติแบบไฮโดรโฟบิก (ไม่ชอบน้ำ) กล่าวคือไม่ดูดซับน้ำแต่สามารถดูดซับน้ำมัน ซึ่งเป็นสารไม่มีขี้ผึ้งได้ (Horiและคณะ, 2000; Khan และคณะ, 2004; Huang and Lim, 2006) และเนื่องจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้ดีและเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกทั้งยังให้พลังงานความร้อนสูงจึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆมากมายโครงสร้างของเซลลูโลสดังภาพที่ 12



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 12 (ก) โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (Cellulose) (ข) โครงสร้างทางเคมีของเพนโทซาน (Pentosan) และ (ค) โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (Lignin)
(ที่มา:Wang, 2011; Durust, 2011 และKapich, 2010)

2.12.4 ประโยชน์ของเส้นใยนุ่ม

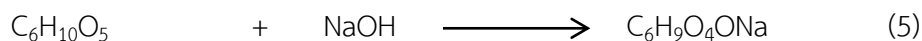
เส้นใยนุ่มเป็นพืชที่มีประโยชน์มากมายทั้งในครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรมและการศึกษาวิจัย โดยทุกส่วนของนุ่มสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำมายัดเป็นไส้หมอน หรือที่นอน เครื่องใช้ต่างๆ ทำวัสดุกันกระเทือน คุณสมบัติเฉพาะตัวของเส้นใยนุ่ม จึงใช้เป็นวัสดุทำเสื้อชูชีพ ทำให้ผู้สวมลอยตัวอยู่ในน้ำได้ ทางยุทธปัจจัย ก็ใช้ทำชนวนระเบิด เพราะมีคุณสมบัติไวไฟเผาไหม้ได้เร็วมาก ไส้ในฝักที่ปั่นเอาเมล็ดและปุยนุ่มออกแล้ว ก็เป็นวัสดุที่มีเซลลูโลสสำหรับใช้เพาะเห็ด เปลือกใช้ทำเชื้อเพลิง นอกจากนี้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์แล้วเส้นใยนุ่มยังมีประโยชน์ในด้านการศึกษาค้นคว้า และวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุจากธรรมชาติให้กลายมาเป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน (ปนัดดา คงศรีเจริญ, 2555) และสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มบีเท็ก (ดาราทิพย์ เพ็ชรพรหม, 2555)

2.13 การขึ้นรูปวัสดุดูดซับจากของเหลวหนืดวิสโคส

กระบวนการเตรียมวัสดุดูดซับจากของเหลวหนืดวิสโคสประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมของเหลวหนืดวิสโคส และ การเตรียมวัสดุดูดซับ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนย่อยๆได้ดังนี้

1. นำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยบดเซลลูโลสให้เป็นชิ้นเล็กๆเพื่อให้สารละลายด่างเข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ดี ในขั้นตอนนี้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสที่ตำแหน่งไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้โครงสร้างผลึก

เกิดการบวมตัวได้เป็นของเหลวที่มีค่าพีเอชเป็นด่างหรือเรียกว่าเยื่อด่าง (Alkali cellulose) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการ



2. ทำการบ่มเยื่อด่างที่ได้ภายใต้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ของผสมเหนียวที่มีความหนืดเหมาะสม

3. นำเยื่อด่างที่ผ่านการหมักไปกำจัดโซเดียมไอออนโดยการเติมสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์ เยื่อด่างจะทำปฏิกิริยากับสารดังกล่าวแล้วกลายเป็นเซลลูโลสแซนเทต (Cellulose Xanthate) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการ



4. นำเซลลูโลสแซนเทตที่ได้ไปละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นของผสมเหนียวที่ประกอบด้วย เซลลูโลสแซนเทต เซลลูโลสที่ไม่ทำปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการ



5. การเตรียมวัสดุคูดซึบโดยการนำของผสมเหนียวที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 ผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟตและขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริก เกลือโซเดียมซัลเฟตจะถูกละลายด้วยกรดซัลฟิวริกทำให้ส่วนที่หายไปของเกลือโซเดียมซัลเฟตกลายเป็นรูปพรุน

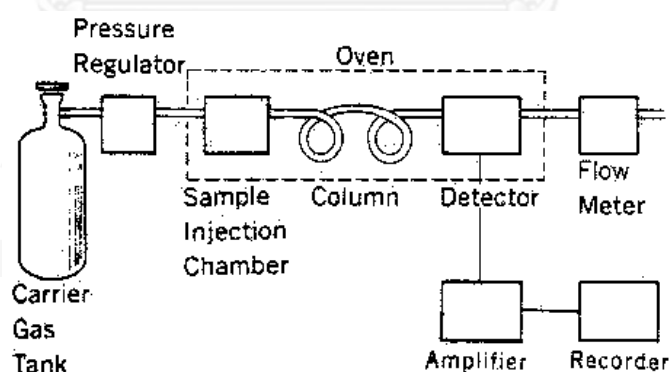
จากกระบวนการเตรียมวัสดุคูดซึบดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยเตรียมวัสดุคูดซึบด้วยของผสมเหนียววิสโคสผสมเกลือโซเดียมซัลเฟตและขึ้นรูปด้วยกรดฟอสฟอริกและทำการผสมเส้นใยนุ่มและเส้นใยเรยอนอัตราส่วนต่างๆลงไปในส่วนผสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุคูดซึบที่เตรียมขึ้น

2.14 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography; GC) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถแยกและวิเคราะห์สารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้เป็นเทคนิคที่ให้ผลเที่ยงตรง รวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC) ทำหน้าที่แยกองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างให้ออกมาทีละองค์ประกอบก่อนที่จะเข้าสู่ดีเทคเตอร์ (Detector) และเครื่อง MS (Mass spectrometry) ทำหน้าที่เป็นดีเทคเตอร์ ในการตรวจสอบว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีเลขมวล (Mass number) เป็นเท่าไร เพื่อทำนายว่า สารที่วิเคราะห์นั้นประกอบด้วย องค์ประกอบชนิดใดบ้าง และมีปริมาณเท่าไร

2.14.1 คุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

แก๊สโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ของสารที่สนใจ ซึ่งเทคนิคนี้เหมาะสำหรับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้เมื่อถูกความร้อนและกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างจะอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อ phase 2 phase คือ stationary phase และ mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1.Injector 2.Oven 3.Detector



ภาพที่ 13 ระบบการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

(ที่มา: แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม, 2534)

1. Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่อง และระเหยเป็นไอพร้อมกับถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะเข้าสู่คอลัมน์ อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ถูกทำให้สลายตัว

2. Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์ (column) เอาไว้ และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ถูกฉีด ซึ่งอุณหภูมิของ oven นั้นจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 แบบคือ Isocratic temperature และ Gradient temperature ตามความต้องการของผู้วิเคราะห์ข้อดีของการทำ Gradient temperature คือสามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (Wideboiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ลงได้อีกด้วย (Analysis time)

3. Detector คือ ส่วนที่ใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างเพื่อดูว่าสารที่วิเคราะห์นั้นมีปริมาณอยู่เท่าไร ซึ่งความสามารถของการตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของดีเทคเตอร์ที่เลือกใช้ ซึ่งดีเทคเตอร์ที่ใช้กับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีนั้นมีหลายชนิดได้แก่ Thermal Conductivity Detector Flame Ionization Detector Electron Capture Detector และ Mass Spectrometry

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hori และคณะ (2000) ศึกษาโครงสร้าง ลักษณะทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์ของเส้นใยนุ่น (Kapok) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เทคนิค Spectroscopic เทคนิคการสกัดและการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำมัน จากการศึกษาพบว่าเส้นใยนุ่นมีลักษณะเป็นท่อกลวง มีองค์ประกอบภายในเส้นใยที่ค่อนข้างแตกต่างจากเส้นใยฝ้ายคือประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) 35% ไชแลน (Xylan) 22% และลิกนิน (Lignin) 21.5% เส้นใยนุ่นมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกไม่เปียกน้ำจึงนิยมใช้ในการดูดซับสารที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน โดยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้มากถึง 40 กรัมไขมันต่อกรัมของเส้นใย

Lim และ Huang (2007) ศึกษาการดูดซับน้ำมันดีเซลที่ปนเปื้อนในน้ำของเส้นใยนุ่น เส้นใยนุ่นที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิดคือ เส้นใยนุ่นธรรมชาติ เส้นใยนุ่นที่ถูกเตรียมในเอทานอล(Ethanol) และเส้นใยนุ่นที่ถูกเตรียมในคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นทั้ง 3 ชนิด โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (Confocal scanning microscope, CLSM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของเส้นใยแต่ละชนิด โดยนำเส้นใยทั้ง 3 ชนิด บรรจุใส่คอลัมน์ที่มีปริมาตร 57.68 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.71 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และปรับเปลี่ยนความหนาแน่น 3 ค่าได้แก่ 0.07, 0.08 และ

0.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นปล่อยน้ำที่มีน้ำมันปนเปื้อนร้อยละ 2.5 เข้าสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่องด้วยความดันคงที่ 12.57 กิโลปาสกาลเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำเส้นใยชนิดต่างๆไปทำการรีดของเหลวออกแล้วนำของเหลวดังกล่าวไปกลั่นตามมาตรฐาน ASTM, 1999 นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำมัน ปริมาณสารอินทรีย์รวมและค่าความขุ่น ผลการศึกษาพบว่า เส้นใยชนิดที่มีลักษณะโครงสร้างแบบท่อกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 16.5 ± 2.4 และ 14.5 ± 2.4 ไมโครเมตร ตามลำดับความหนาแน่น 1.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณเข้าร้อยละ 0.78 ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทั้ง 3 ชนิดมีค่ามากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ โดยเส้นใยชนิดที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมด้วยสารเคมี เป็นตัวกลางที่ดีที่สุดเนื่องจากสามารถกรองได้ในปริมาณมากและใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สมดุล (Breakthrough time)

Wang และคณะ (2012) ทำการศึกษาผลของการเตรียมเส้นใยชนิดต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน เส้นใยชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ถูกเตรียมขึ้นในน้ำ และสารเคมี 5 ชนิดได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมคลอไรด์ (NaClO_2) และคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของโทลูอีนและน้ำมันและศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นใยชนิดที่เปลี่ยนไปหลังถูกเตรียมในตัวทำละลายต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เส้นใยชนิดที่ถูกเตรียมในตัวทำละลายจะเกิดพีคลักษณะเป็นแถบกว้างขึ้นที่ 3410 cm^{-1} ซึ่งสามารถพบได้ในเส้นใยทุกชนิดที่ถูกเตรียมในตัวทำละลายและพบหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่ผนังเส้นใยเนื่องจากการทำลายพันธะไฮโดรเจน ซึ่งยืนยันได้ว่าแวกซ์ที่เคลือบอยู่บริเวณผิวได้ถูกกำจัดออกไป จากการทดสอบการดูดซับไอระเหยของโทลูอีนพบว่ากำจัดแวกซ์ที่บริเวณผิวของเส้นใยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของเส้นใยและการเตรียมตัวอย่างด้วยตัวทำละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaClO_2) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

Huang และ Lim (2006) ศึกษาคุณสมบัติและกลไกของแผ่นกรองใยชนิดที่มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ น้ำมันที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดได้แก่ น้ำมันดีเซล (Diesel) และน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 ด้วยวิธีการกรองโดยผ่านน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆผ่านคอลัมน์ปริมาตร 57.68 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.71 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และปรับเปลี่ยนความหนาแน่นตัวกลาง 3 ค่าได้แก่ 0.07, 0.08 และ 0.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรอย่างต่อเนื่องโดยมีแผ่นกรองใยชนิดเป็นตัวกลางผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของตัวดูดซับและความเข้มข้นขาเข้าเพิ่มมากขึ้นและประสิทธิภาพของการกรองน้ำที่มีน้ำมันดีเซลและน้ำมันไฮดรอลิกผสมที่ความเข้มข้นต่างๆมีค่าใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 99.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการ

ทดลองแสดงให้เห็นว่าเส้นใยนุ่นเป็นวัสดุที่ดีในการแบกน้ำมันออกจากน้ำในกรณีที่น้ำมันมีความเข้มข้นสูง

Lin และคณะ 2012 ศึกษาการเกิดออกซิเดชันและการดูดซับของโพลูอินที่อุณหภูมิสูงด้วยเส้นใยถ่านกัมมันต์ โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ ความเข้มข้นของโพลูอิน 700 1,200 1,600 และ 2,000 ส่วนในล้านส่วน อุณหภูมิในการดูดซับ 25, 50, 75 และ 200 องศาเซลเซียส ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเส้นใย ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เส้นใยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับโพลูอินที่มีความเข้มข้น 1200 ส่วนในล้านส่วนได้ในปริมาณ 569 มิลลิกรัม ซึ่งความเข้มข้นและอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับดังนี้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลูอินความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นในขณะที่เวลาในการเข้าสู่สมดุลลดลงความสามารถในการดูดซับและเวลาในการเข้าสู่สมดุลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเมื่อการดูดซับถึงจุดอิ่มตัวความเข้มข้นขาออกของโพลูอินมีค่าน้อยกว่า 1200 ส่วนในล้านส่วน และพบว่ามีความหน่วงที่ประกอบด้วยโมเลกุลของออกซิเจน แสดงให้เห็นว่าบนผิวของเส้นใยถ่านกัมมันต์เกิดการออกซิเดชันเปลี่ยนโพลูอินเป็นสารประกอบชนิดอื่น

Lee และคณะ (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับไอสารระเหยชนิดเดียวและไอสารระเหยผสมของอะซิโตน (Acetone) MEK (Methyl Ethyl Ketone) เบนซีน (Benzene) และโพลูอิน (Toluene) กับลักษณะของสารระเหย ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น จุดเดือด ความดันไอ ขนาดโมเลกุล และความมีขั้ว สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ความเข้มข้นสารระเหยขาเข้า 200 ส่วนในล้านส่วน อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาทีและปริมาณถ่านกัมมันต์ 2 กรัม ผลการศึกษาพบว่าลักษณะของสารระเหยแต่ละชนิดมีผลต่อการดูดซับ โดยอะซิโตนเป็นสารระเหยที่ออกมาจากคอลัมน์เป็นอันดับแรก ตามด้วย เมทิล เอทิล คีโตน เบนซีนและโพลูอิน ผลการศึกษาสัดส่วนของไอสารระเหยสองชนิดที่ผสมกันซึ่งจับคู่ทั้งหมด 6 คู่ ได้แก่ อะซิโตนกับเมทิล เอทิล คีโตน โพลูอินกับเบนซีน อะซิโตนกับเบนซีน อะซิโตนกับโพลูอิน เมทิล เอทิล คีโตนกับเบนซีน และเมทิล เอทิล คีโตนกับโพลูอิน พบว่าไอสารระเหยที่มีขั้วจะถูกดูดซับไว้ได้น้อยและไหลออกมาจากคอลัมน์ก่อน ในขณะที่โพลูอินเป็นสารที่ถูกดูดซับไว้ได้ในปริมาณมากที่สุดเนื่องจากเป็นสารไม่มีขั้วเช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์

Lee และคณะ (2006) ศึกษาผลของความมีขั้วที่มีต่อลักษณะการดูดซับไอระเหยอะซิโตนและโพลูอินโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกมะพร้าวเป็นวัสดุดูดซับที่บรรจุเป็นตุ๊กตาอยู่ในถังปฏิกรณ์ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ไอสารระเหยชนิดเดียวและไอสารระเหยผสมเพื่อศึกษาผลของความมีขั้ว เปลี่ยนความเข้มข้น 3 ค่า ได้แก่ 60, 90 และ 120 ส่วนในล้านส่วน ผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นและอัตราการไหลของไอสารระเหยเพิ่มมากขึ้นเวลาในการเข้าสู่สมดุลจะลดลงและประสิทธิภาพในการดูดซับอะซิโตนมีค่าต่ำกว่าโพลูอินเนื่องจากผลของความมีขั้วของอะซิโตนทำให้

การดูดซับต่ำและอุณหภูมิการดูดซับเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียง 3 องศาเซลเซียสในขณะที่โพลูอินซึ่งเป็นสารไม่มีขี้จะถูดูดซับไว้ในตัวกลางได้ดี ส่งผลอุณหภูมิของตัวกลางขณะดูดซับเพิ่มสูงสุดถึง 33 องศาเซลเซียส

Das และคณะ (2004) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโพลูอินด้วยเส้นใยถ่านกัมมันต์ (ACFs) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายสมดุลการดูดซับไอสารระเหยและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างเส้นใยถ่านกัมมันต์และวัสดุดูดซับทางการค้าชนิดต่างๆ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon, GAC) ซิลิกาเจลและซีโอไลต์ปรับสภาวะในการทดลองดังนี้ อุณหภูมิในการดูดซับ 35-100 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารระเหย 2,000-10,000 ส่วนในล้านส่วน อัตราการไหลของแก๊ส 0.2-1.0 ลิตรต่อนาที และน้ำหนักตัวดูดซับ 2-10 กรัม ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับโพลูอินของเส้นใยถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นในขณะที่เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของขาเข้าของโพลูอินในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการดูดซับได้ดีสำหรับการดูดซับและการคายซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวและภายในรูพรุนของเส้นใยถ่านกัมมันต์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วง 35-50 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เกิดการดูดซับได้เป็นเวลานานที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ACFs เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆที่นำมาเปรียบเทียบ

Yuso และคณะ (2013) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับและการคายซับของโพลูอินและเฮกเซนที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกอัลมอนที่มีลักษณะทางกายภาพและเคมีต่างกันโดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ เวลา และปริมาณสารเคมีที่ใช้กระตุ้น ดังนี้ 400-800 องศาเซลเซียส 30-130 นาที และสัดส่วนของสารเคมี 0.5-1.5 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับโพลูอินและเฮกเซนที่ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วนของวัสดุดูดซับมีค่าเท่ากับ 253 มิลลิกรัมโพลูอินต่อกรัมถ่านกัมมันต์และ 122 มิลลิกรัมเฮกเซนต่อกรัมถ่านกัมมันต์และเวลาในการเข้าสู่สมดุลของกระบวนการดูดซับโพลูอินและเฮกเซนในทุกๆสภาวะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับและความเข้มข้นของโพลูอินและเฮกเซนขาเข้าเพิ่มขึ้นอัตราการไหลของแก๊สมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลโดยเวลาในการเข้าสู่สมดุลจะมากขึ้นหากอัตราการไหลของแก๊สช้าลง การนำกลับของวัสดุดูดซับทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเล็กน้อยซึ่งมีสาเหตุจากโพลูอินและเฮกเซนยังคงถูกดูดซับอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งไม่หลุดออกได้ที่อุณหภูมิของกระบวนการคายซับ

วิวัฒน์และคณะ (2547) ศึกษาการผลิตเซลล์โพลีเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจากวัสดุเหลือใช้เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับและ/หรือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยใช้ขานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตและเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่สภาวะต่างๆเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงความ

เข้มข้นร้อยละ 18-22 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิที่ใช้บ่มในช่วง 30-95 องศาเซลเซียส ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ 25-45 มิลลิลิตร และปริมาณโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 25, 50, 66 และ 75 นำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติไปทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบกับน้ำทะเลเปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบกับน้ำทะเลเทียบกับโพลีโพรพิลีน พบว่าการเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 และเกลือโซเดียมอัตราส่วนร้อยละ 50 ทำให้ฟองน้ำดูดซึมน้ำมันดิบได้ดีที่สุด

ปนัดดา คงศรีเจริญ (2555) ศึกษาการหาอัตราส่วนในการเตรียมวัสดุดูดซับ ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันเครื่องยนต์ และศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับที่เตรียมจากเส้นใยป่าน เส้นใยเรยอน ของเหลวนีตริลโคส เกลือโซเดียมซัลเฟตและน้ำเปรียบเทียบกับโพลีโพรพิลีนผลการศึกษาพบว่าวัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนผสมของเส้นใยป่านต่อเส้นใยเรยอนร้อยละ 100:0 ของผสมนีตริลโคสต่อน้ำ ร้อยละ 14:86 และใส่เกลือโซเดียม 50 กรัม เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีประสิทธิภาพสูงกว่าเส้นใยโพลีโพรพิลีน ในขณะที่อัตราส่วนของเส้นใยป่านต่อเส้นใยเรยอน 0:100 จมน้ำทั้งหมดเนื่องจากเส้นใยเรยอนมีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำสูงกว่าโพลีโพรพิลีนเนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมขึ้นมีบริเวณผิวของเส้นใยถูกทำลาย ทำให้ความไม่มันขี้ดลงและมีสมบัติชอบน้ำมากยิ่งขึ้น

ดาราทิพย์ เพ็ชรพรหม (2555) ศึกษาอัตราส่วนในการเตรียมวัสดุดูดซับเพื่อใช้ในการดูดซับไอสารระเหยง่ายกลุ่มบีเท็ก (BTEX) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอสารระเหยระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับแผ่นกรองคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับทางการค้าผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยสารบีเท็กสูงสุดคือ เส้นใยป่านต่อเส้นใยเรยอนในอัตราส่วน 1:0 และน้ำยาวิสโคสต่อน้ำในอัตราส่วน 1:6 โดยสามารถกำจัดไอระเหยบีเท็กได้มากถึง 78.84 เปอร์เซ็นต์และมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอสารระเหยบีเท็กได้มากกว่าแผ่นกรองคาร์บอน และเมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับที่มีส่วนผสมของเส้นใยป่านและเส้นใยเรยอนพบว่า วัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนเส้นใยป่านต่อเส้นใยเรยอน 1:1 น้ำยาวิสโคสต่อน้ำในอัตราส่วน 1:6 และเกลือโซเดียมซัลเฟต 50 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับบีเท็กได้ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพพบว่าอัตราส่วนผสมของวัสดุดูดซับที่มีเส้นใยป่านเพียงอย่างเดียวมีพื้นที่ผิว 9.02 ตารางเมตรต่อกรัมในมากกว่าวัสดุดูดซับที่มีเพียงเส้นใยเรยอนอย่างเดียวมีพื้นที่ผิว 4.77 ตารางเมตรต่อกรัมเนื่องจากเส้นใยป่านเป็นเส้นใยที่มีลักษณะกลวงทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าเส้นใยเรยอน

Chaowalit และคณะ (2013) ศึกษาการนำวัสดุผสมระหว่างของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอนและเส้นใยนุ่นมาใช้เป็นตัวดูดซับน้ำมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล (Diesel Oil) และน้ำมันเตาที่ใช้ในเรือเดินทะเล โดยศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยเรยอนกับเส้นใยนุ่น และผลของปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตที่เติมลงไปในการบวนการเตรียมเส้นใยที่ส่งผลต่อสมบัติของวัสดุดูดซับ ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำมันโดยใช้มาตรฐาน ASTM 726-06 ทั้งสภาวะปกติและสภาวะที่มีการปั่นกววน ผลการทดสอบพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยอัตราการดูดซับน้ำมันของวัสดุดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำมันมีความหนืดสูง และมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าวัสดุดูดซับทางการค้าโพลิโพรพิลีน (Polypropylene) สมบัติของเส้นใยนุ่นและเส้นใยเรยอนมีผลต่อสมบัติวัสดุดูดซับโดยเส้นใยนุ่นจะทำให้วัสดุดูดซับมีสมบัติไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) และความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นในขณะที่เส้นใยเรยอนจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุดูดซับ ในส่วนของเกลือโซเดียมซัลเฟตที่เติมลงไปในการเตรียมวัสดุดูดซับมีผลให้พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับและขนาดของรูพรุนเพิ่มมากขึ้น จากลักษณะดังกล่าวทำให้วัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นจากของเสียอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอนและเส้นใยนุ่นเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าวัสดุดูดซับทางการค้า มีราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.16 ความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านต่างๆมากมาย เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำเส้นใยธรรมชาติ (เส้นใยนุ่น) และของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน(เส้นใยเรยอน ของเหลวหนืดวิสโคส และเกลือโซเดียมซัลเฟต) มาใช้ในการเตรียมวัสดุดูดซับเพื่อดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุดูดซับด้วยกรดฟอสฟอริกโดยประยุกต์การขึ้นรูปวัสดุดูดซับจากผลงานวิจัยของดาราทิพย์ เพ็ชรพรหม ที่พบว่าการขึ้นรูปวัสดุดูดซับด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 อัตราส่วนเส้นใยนุ่นต่อเส้นใยเรยอน 1:1 ของเหลวหนืดวิสโคสต่อน้ำ 1:6 และเกลือโซเดียมซัลเฟต 50 กรัม เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทก (BTEX) งานวิจัยนี้จึงทำการขึ้นรูปวัสดุดูดซับโดยเปลี่ยนชนิดของกรดที่ใช้และปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปวัสดุดูดซับและเพื่อให้กระบวนการขึ้นรูปวัสดุดูดซับมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น รวมทั้งศึกษาลักษณะและประสิทธิภาพการดูดซับ ปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อการดูดซับ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ด้วยวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับวัสดุดูดซับทางการค้า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ อาคารวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีในการวิจัยดังนี้

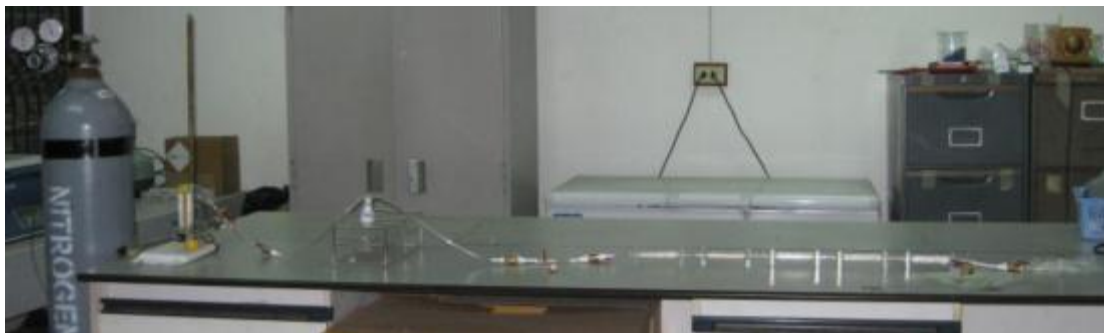
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

1. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
2. เครื่องปั่นยี่ห้อ Philips รุ่น HR 1396 ขนาด 1 ลิตรกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Adventurer 120
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METLER รุ่น DRAGON 204
5. เตอบ ยี่ห้อ Binder ของบริษัท Scientific promotion
6. โถดูดความชื้น
7. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล (Flow meter) จากบริษัทเอ็นเทคแอสโซซิเอท จำกัด ยี่ห้อ Nitto (Japan Instrument) รุ่น DK800S-4 [air] ขนาด ¼ นิ้ว
8. ถังเก็บแก๊ส ยี่ห้อ SKC ขนาด 0.5 ลิตร รุ่น 232-02 m จากบริษัทเอ็นเทคแอสโซซิเอท จำกัด

3.1.2 ระบบการทดลอง

ระบบการทดลองที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการของเสียอันตรายประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้ 1.ไนโตรเจนแก๊สที่ทำหน้าที่ในการพาไอระเหยเข้าสู่คอลัมน์ 2.อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ที่ 2 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง 3. ภาชนะปิดบรรจุเฮกเซน ไฮโดรเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท 4.คอลัมน์ที่บรรจุวัสดุดูดซับปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม 5.ถังเก็บแก๊สที่ตำแหน่งก่อนและหลังออกจากคอลัมน์เพื่อเก็บไอระเหยไปตรวจวัด และ 6.เครื่องกราฟโครมาโทกราฟี ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ระบบการทดลอง

3.1.3 สารเคมี

1. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 85% จากบริษัท CARLO ERBA REAGENT.
2. เอทิล อะซิเตท 99.0% จากบริษัท CARLO ERBA REAGENT.
3. บิวทิล อะซิเตท 99.5% จากบริษัท RCI Labscan Limited.
4. เฮกเซน 98.5% จากบริษัท MACRON CHEMICAL.
5. ไโซโคลเฮกเซน 99.5% จากบริษัท RCI Labscan Limited.
6. แก๊สไนโตรเจน (N_2) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5% จากบริษัท Praxair.
7. เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) จากบริษัท THAIRAYON Limited.
8. คาร์บอนไดออกไซด์ จากบริษัท CARLO ERBA REAGENT.
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกรด จากบริษัท Ajax Finechem Pty Ltd.
10. น้ำกลั่นบริสุทธิ์

3.1.4 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการเตรียมของเหลวหนืดวิสกอสและการขึ้นรูปวัสดุอัดขึ้น

1. เส้นใยเรยอนจากบริษัทไทยเรยอนซึ่งเป็นของเสียในขั้นตอนการอบเส้นใย เนื่องจากปนเปื้อนสิ่งสกปรก
2. เส้นใยนุ่ม ที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปในท้องถิ่น
3. เกลือโซเดียมซัลเฟตขนาด 300 ไมโครเมตร (Na_2SO_4) ของบริษัทไทยเรยอนซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการขนส่ง
4. ขานอ้อยที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3-5 วันและอบด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (หมายเหตุ : เนื่องจากในช่วงเวลาทำการวิจัย บริษัทไทยเรยอนปิดดำเนินการ ทำให้ไม่สามารถใช้ของเหลวหนืดวิสกอสที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตได้ จึงทำการสังเคราะห์ของเหลวหนืดวิสกอสขึ้น)

3.1.5 การวิเคราะห์

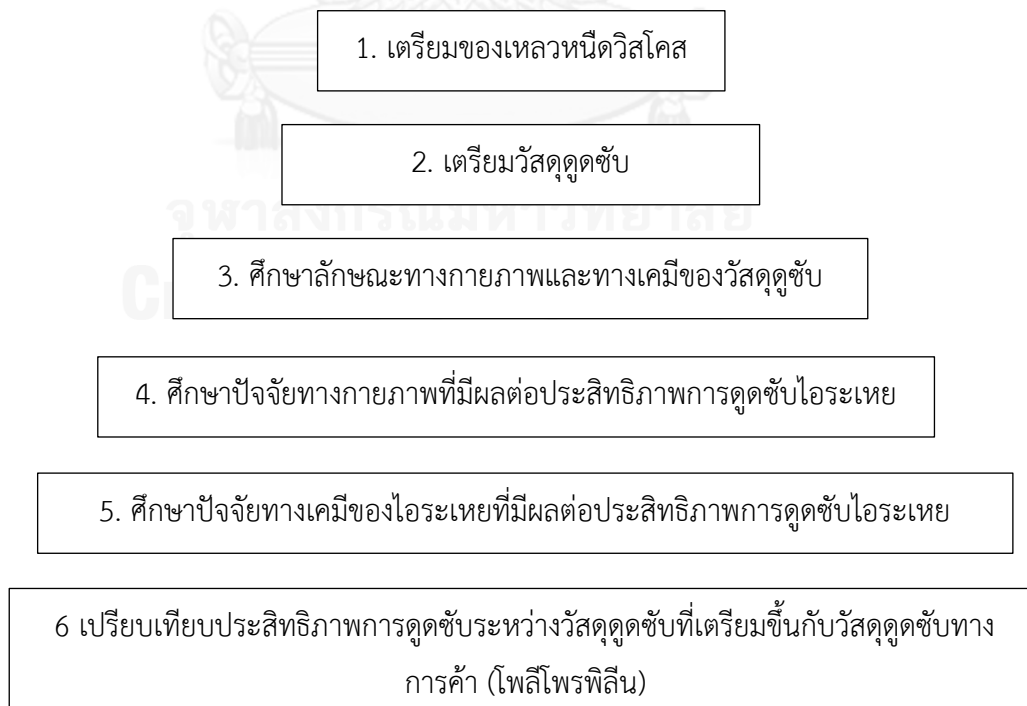
3.1.5.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้วิเคราะห์คือรุ่น Agilent Technologies 6890N Network GC system โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับสารตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สภาวะเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอระเหยทั้ง 4 ชนิด

พารามิเตอร์	สภาวะ
อุณหภูมิต่อฉีดเตอร์ (Injector)	250 องศาเซลเซียส
ชนิดคอลัมน์	HP-5
ขนาดคอลัมน์	30 เมตร x 0.32 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร
ดีเทคเตอร์	FID (Flame ionization detector) 300 องศาเซลเซียส
แก๊สตัวพา	แก๊สฮีเลียม (He)

3.1.6 แผนภาพการทดลอง



ภาพที่ 15 แผนภาพการทดลองของระบบดูดซับไอสารระเหย

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้การทดลองแบ่งออกเป็น 6 ช่วงดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 การเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสเพื่อใช้ในการเตรียมวัสดุดูดซับ มีชานอ้อยเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิต นำชานอ้อยที่ผ่านการผึ่งแดดและอบแห้งแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นปั่นจนเป็นเวลา 4-5 ชั่วโมงจนชานอ้อยเกิดการบวมตัว ทำการกรองและนำเยื่อต่างๆ ที่ได้ไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในเยื่อต่าง และเติมสารละลายต่างอีกครั้ง เกิดเป็นของเหลวหนืดสีส้ม ขั้นตอนการเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสและการวิเคราะห์ค่าความหนืดแสดงดังภาพที่ 16-19 และตารางที่ 12

การทดลองช่วงที่ 2 การเตรียมวัสดุดูดซับระหว่างเส้นใยนุ่มกับเส้นใยเรยอน ของเหลวหนืดวิสโคส เกลือโซเดียมซัลเฟต และน้ำ จากนั้นขึ้นรูปวัสดุดูดซับโดยใช้กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ล้างวัสดุดูดซับด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนการทดลองและสัดส่วนของสารเคมีดังภาพที่ 20 และตารางที่ 5-6 ตามลำดับ

การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับโดยพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ลักษณะโครงสร้าง พื้นที่ผิว หมู่ฟังก์ชัน ความหนาแน่น และค่าความชื้น เพื่อหาวัสดุดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไอสารระเหยทั้ง 4 ชนิด โดยการนำตัวอย่างวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ขั้นตอนการทดลองและจำนวนตัวอย่างดังภาพที่ 21 และตารางที่ 7 ตามลำดับ

การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการดูดซับ โดยนำวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นจากการทดลองในช่วงที่ 2 มาใช้ดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ปรับเปลี่ยนลักษณะการบรรจุตัวกลาง ปริมาณวัสดุดูดซับในคอลัมน์ และอัตราการไหลของแก๊สที่พาไอสารระเหยผ่านคอลัมน์ เก็บตัวอย่างไอระเหยของสารแต่ละชนิดทั้งก่อนและหลังออกจากคอลัมน์แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีการทดลองขั้นตอนการทดลองและจำนวนตัวอย่างดังภาพที่ 22 และตารางที่ 8-9 ตามลำดับ

การทดลองช่วงที่ 5 ศึกษาลักษณะทางเคมีของสารระเหยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยผสมสาร 4 ชนิดได้แก่ เฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตทและบิวทิลอะซิเตท เข้าด้วยกัน จากนั้นทำการดูดซับไอระเหยสารผสมด้วยวัสดุดูดซับรูปแบบต่างๆเพื่อศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีต่อการดูดซับได้แก่ ความมีขั้ว/ไม่มีขั้ว มวลโมเลกุล ความหนาแน่น และความดันไอของสารระเหย โดยนำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4 มาใช้ เก็บไอระเหยทั้งก่อนและหลังออกจากคอลัมน์แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีขั้นตอนการทดลองและจำนวนตัวอย่างดังภาพที่ 23 และตารางที่ 10

การทดลองช่วงที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมจากเส้นใย
 หนุนและเส้นใยเรยอนซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอนเทียบกับวัสดุดูดซับทาง
 การค้า โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและจำนวนตัวอย่างดังภาพที่
 24 และตารางที่ 11

ตารางที่ 5 จำนวนตัวอย่างในการทดลองที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ผลของปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต

เส้นใยเรยอนต่อเส้น ใยหนุน	ปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟต	ความเข้มข้นกรด ฟอสฟอริก	จำนวนซ้ำ
1:1	30	10	3
	50	10	3
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด			6

ตารางที่ 6 จำนวนตัวอย่างในการทดลองที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นกรดฟอสฟอริก

เส้นใยเรยอนต่อเส้น ใยหนุน	ปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟต	ความเข้มข้นกรด ฟอสฟอริก	จำนวนซ้ำ
1:1	50	10	3
	50	30	3
	50	50	3
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด			9

ตารางที่ 7 จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 3 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ
 วัสดุดูดซับ

เครื่องมือวิเคราะห์	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ
SEM	5	3
FT-IR	4	12
BET	3	9
Pycnometer	4	12
% Moisture content	3	9
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด		45

ตารางที่ 8 จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ผลของอัตราการไหล

สารระเหย	รูปแบบคอลัมน์	อัตราการไหล (L/hr)	น้ำหนักตัวกลาง (g)	จำนวนซ้ำ
Hexane	Rayon fiber (S1)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Kapok fiber (S2)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Mixed fiber (S3)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Sandwich fiber (S4)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Rayon Adsorbent (S5)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Kapok Adsorbent (S6)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Mixed Adsorbent (S7)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
	Sandwich Adsorbent (S8)	2	1	2
		6	1	2
		10	1	2
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด				48

ตารางที่ 9 จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยแต่ละชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสมกับการดูดซับ

สารระเหย	แพคคอลัมน์	น้ำหนักตัวกลาง	อัตราการใช้	จำนวนซ้ำ
Hexane	Rayon fiber (S1)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Kapok fiber (S2)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Mixed fiber (S3)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Sandwich fiber (S4)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Rayon Adsorbent (S5)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Kapok Adsorbent (S6)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Mixed Adsorbent (S7)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
	Sandwich Adsorbent (S8)	1	2	2
		3	2	2
		5	2	2
จำนวนตัวอย่างทั้งหมดสำหรับสารระเหยเฮกเซน				48
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด (สารระเหย 4 ชนิด x 48)				192

ตารางที่ 10 จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 5 เพื่อวิเคราะห์ผลของสมบัติทางเคมีของสารระเหยที่มีต่อการดูดซับ

สารระเหย	แพคคอลัมน์	น้ำหนัก ตัวกลาง (g)	อัตราการไหล (L/hr)	จำนวนซ้ำ
Hexane, Cyclohexane, Ethyl acetate และ Butyl acetate	Rayon fiber (S1)	3	2	2
	Kapok fiber (S2)	3	2	2
	Mixed fiber (S3)	3	2	2
	Sandwich fiber (S4)	3	2	2
	Rayon Adsorbent (S5)	3	2	2
	Kapok Adsorbent (S6)	3	2	2
	Mixed Adsorbent (S7)	3	2	2
	Sandwich Adsorbent (S8)	3	2	2
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด				16

ตารางที่ 11 จำนวนตัวอย่างในการทดลองขั้นตอนที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับวัสดุดูดซับทางการค้า

สารระเหย	แพคคอลัมน์	น้ำหนัก ตัวกลาง (g)	อัตราการไหล (L/hr)	จำนวนซ้ำ
Hexane	วัสดุดูดซับทางการค้า	3	2	2
Cyclohexane	วัสดุดูดซับทางการค้า	3	2	2
Ethyl acetate	วัสดุดูดซับทางการค้า	3	2	2
Butyl acetate	วัสดุดูดซับทางการค้า	3	2	2
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด				8

3.2.1 การทดลองช่วงที่ 1 การเตรียมของเหลวหนืดวิสโคส

การเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสดำเนินการเตรียมตาม Making Rayon fiber 1999 โดย Praveen Kumar Jangala and Haoming Rong (Textile Science, University of TN) และ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุลและคณะ, 2546-2547

1. ตัดชานอ้อยสดให้มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ ผึ่งแดด 3-5 วัน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. บดชานอ้อยที่ผ่านการอบแห้งให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 45 วินาที
3. ชั่งชานอ้อย 100 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% (w/v) 1500 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นจนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนชานอ้อยเกิดการบวมตัวด้วยสารละลายต่างหรือเรียกว่าเยื่อต่าง
4. กรองสารละลายต่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เพื่อแยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากเยื่อต่าง โดยเยื่อต่างที่ได้ต้องมีน้ำหนักเป็น 3 เท่าของชานอ้อยเริ่มต้น
5. บ่มเยื่อต่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
6. เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ 70 มิลลิลิตรลงในเยื่อต่างและผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4-5 ชั่วโมงจนเยื่อต่างมีสีเหลืองเข้มหรือสีส้ม
7. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% (w/v) 250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ สารละลายที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีส้ม (สารละลายหนืดวิสโคส)
8. วิเคราะห์ความหนืดของของเหลวหนืดวิสโคสที่เตรียมขึ้นโดยใช้อุปกรณ์วัดความหนืด (Viscose meter type cannon fenske) ขั้นตอนการเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสและการวิเคราะห์ค่าความหนืดดังภาพที่ 16

ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 1

1. ตัดชานอ้อยสดให้มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปผึ่งแดดเป็นเวลา 3-5 วัน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. ตัดหรือบดชานอ้อยที่ผ่านการอบแห้งให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 45 วินาที

3. ชั่งน้ำหนักชานอ้อยที่ผ่านการบดใส่ภาชนะขนาด 2 ลิตรจำนวน 100 กรัม จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% (w/v) 1500 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นจนเป็นเวลา 5 ชั่วโมงจนชานอ้อยเกิดการบวมตัวด้วยสารละลายต่างหรือเรียกว่าเยื่อต่าง

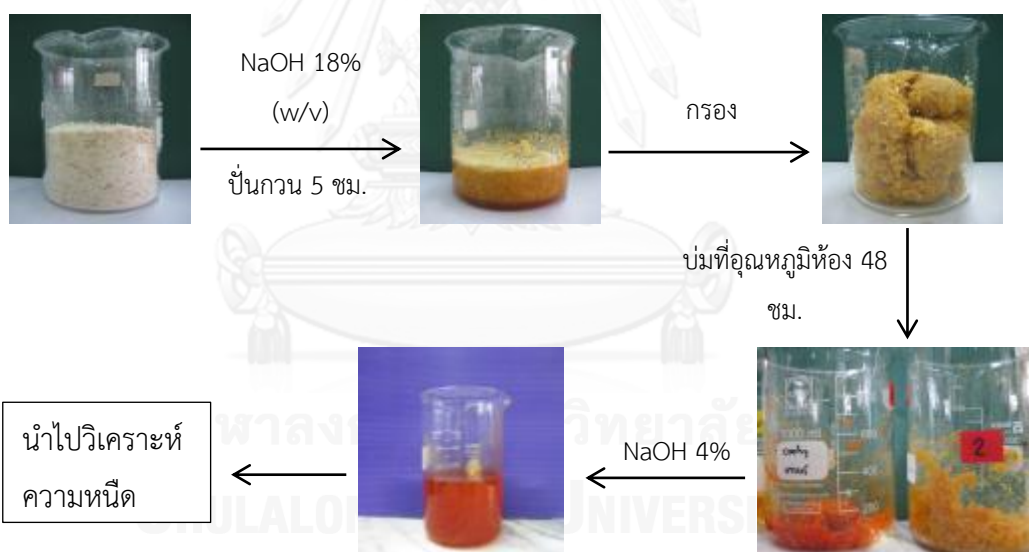
4. กรองเยื่อต่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เพื่อแยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากเยื่อต่าง โดยเยื่อต่างที่ได้ต้องมีน้ำหนักเป็น 3 เท่าของชานอ้อยเริ่มต้น

5. ทำการบ่มเยื่อต่างที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 2 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

6. เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ 70 มิลลิลิตรลงในเยื่อต่างและผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4-5 ชั่วโมงจนเยื่อต่างมีสีเหลืองเข้มหรือสีส้ม

7. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% (w/v) 250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้สารละลาย หนืดวิสโคสที่มีความหนืดประมาณ 23 ± 0.5 Centipoise

ภาพที่ 16 ขั้นตอนการเตรียมของเหลวหนืดวิสโคส



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายหนืดวิสโคส

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสโดยใช้ชานอ้อยที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ 40% ของโครงสร้างเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น (วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุลและคณะ, 2546-2547) เพื่อใช้ขึ้นรูปวัสดุดูดซับขั้นตอนการเตรียมดังภาพที่ 17 ของเหลวหนืดวิสโคสที่เตรียมขึ้น ต้องมีความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมวัสดุดูดซับ เนื่องจากความหนืดของสารละลายหนืดวิสโคสส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและค่าความชื้นภายในวัสดุดูดซับโดยผลการเตรียมของเหลวหนืดวิสโคส ปริมาณชานอ้อยและสารเคมีที่ใช้ ดังภาพที่ 18 และตารางที่ 12

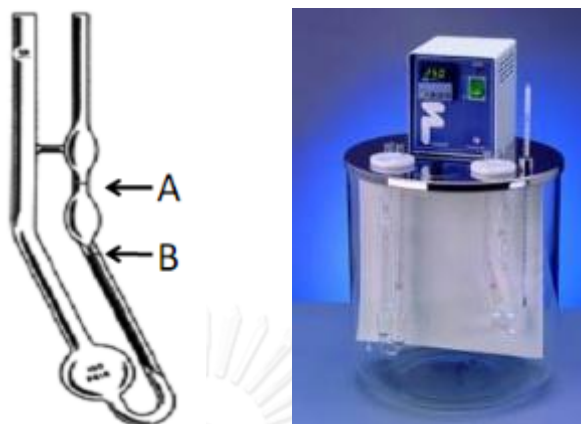


ภาพที่ 18 ของเหลวหนืดวิสโคส

ตารางที่ 12 ปริมาณขานอ้อยและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายหนืดวิสโคส

รายการ	รายละเอียด
ขานอ้อย (กรัม)	100
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 18% w/v) (มิลลิลิตร)	1500
คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS ₂) (มิลลิลิตร)	70
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 4% w/v) (มิลลิลิตร)	250
ค่าความหนืด (Viscosity (Centipoise))	23.5 ± 0.5

วิเคราะห์ค่าความหนืดของของเหลวหนืดวิสโคสด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด (Viscose meter type cannon fenske) โดยนำของเหลวหนืดปริมาตร 20 มิลลิลิตรใส่ลงใน Viscometer ที่สะอาดและแห้ง แล้วประกอบ Viscometer เข้ากับ Holder จุ่มลงในอ่างน้ำ ดังภาพที่ 19 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นดูดของเหลวหนืดวิสโคสให้สูงเหนือจุด A เล็กน้อยแล้วบันทึกเวลาที่ของเหลวหนืดวิสโคสไหลผ่านจากจุด A ไปยังจุด B ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง นำเวลาไปคูณกับแฟกเตอร์ (Constant factor) จะได้ความหนืดในหน่วยของเซนติสโตก แล้วคูณด้วยความหนาแน่นของของเหลวหนืดวิสโคสได้ความหนืดในหน่วยของเซนติพอย ผลการวิเคราะห์พบว่าสารละลายวิสโคสที่เตรียมขึ้นมีค่า ความหนืดเท่ากับ 23.5 ± 0.5 centipoise ซึ่งใกล้เคียงกับความหนืดของของเหลวหนืดวิสโคสที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เตรียมวัสดุอุดซับ (ปนัดดา คงศรีเจริญ, 2555)



ภาพที่ 19 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดชนิด cannon fenske

3.2.2 การทดลองช่วงที่ 2 การเตรียมวัสดุดูดซับ

การเตรียมวัสดุดูดซับในงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์วิธีการเตรียมจากงานวิจัยของดาราทิพย์ เพชรพรหม โดยเปลี่ยนสารละลายกรดที่ใช้จากกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อให้กระบวนการขึ้นรูปวัสดุดูดซับเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นเนื่องจากกรดฟอสฟอริกเป็นกรดที่อ่อนกว่า จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากรดซัลฟิวริก ขั้นตอนการเตรียมมีดังต่อไปนี้

1. นำเส้นใยุ่นผสมกับเส้นใยเรยอน ปริมาณเส้นใยุ่นต่อเรยอนเท่ากับ 15:15 กรัม
2. นำของเหลวหนืดวิสโคส 375 กรัม ผสมลงในเส้นใยผสมที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1
3. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 30 และ 50 กรัมลงในของผสมที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 2
4. ปั่นของผสมด้วยเครื่องปั่น 15 วินาที เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันและเส้นใยผสมทั้ง 2 ชนิดมีขนาดเล็กลง
5. ขึ้นรูปวัสดุดูดซับโดยเติมกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 30 และ 50 ให้ท่วมของผสมในข้อ 4 คนด้วยแท่งแก้วเพื่อให้ของผสมสัมผัสกับกรดฟอสฟอริกทั่วถึงและตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
6. ใต้ของผสมลักษณะฟูคล้ายฟองน้ำ
7. ล้างวัสดุที่ได้ในข้อ 6 ด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดโซเดียมซัลเฟตที่ติดค้างอยู่ในวัสดุดูดซับ เมื่อโซเดียมซัลเฟตละลายออกไปวัสดุดูดซับจะเกิดรูพรุน
8. จากนั้นนำวัสดุดูดซับที่ได้ล้างน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องเพื่อกำจัดกรดที่ยังติดค้างในวัสดุดูดซับจนค่าพีเอชของน้ำล้างวัสดุดูดซับมีค่าประมาณ 7

9. นำวัสดุดูดซับไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น

10. ปั่นวัสดุดูดซับเป็นเวลา 15 วินาทีให้วัสดุดูดซับมีลักษณะฟูมากขึ้นและมีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากขึ้น

11. เปลี่ยนอัตราส่วนเส้นใยนุ่มต่อเส้นใยเรยอนเป็น 1: 0 และ 0:1 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-10

12. นำตัวอย่างวัสดุดูดซับที่ขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนต่างๆไปศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในการทดลองช่วงที่ 3 เพื่อหาวัสดุดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหย จากนั้นนำวัสดุดูดซับที่เหมาะสมมาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการดูดซับไอสารระเหยและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับวัสดุดูดซับทางการค้าในการทดลองที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2

1. นำเส้นใยนุ่มผสมกับเส้นใยเรยอน อัตราส่วน 15 กรัม : 15 กรัม

2. นำสารละลายวิสโคส 375 กรัม ผสมลงในเส้นใยผสมที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1

3. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 50 กรัม ลงในของผสมข้อ 2

4. ปั่นของผสมที่เตรียมในข้อ 4 ประมาณ 15 วินาที

5. เติมสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 10, 30 และ 50 ลงในของผสมข้อ 4 ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

6. นำของผสมที่ได้ในข้อ 5 ล้างด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิมากกว่า 90 °C เป็นเวลา 15 นาที

7. ใช้น้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องล้างของผสมที่ได้ในข้อ 6 จนน้ำล้างเส้นใยมีค่าพีเอช 7

8. นำของผสมที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

9. ปั่นของผสมที่ได้เป็นเวลา 15 วินาที

10. เปลี่ยนอัตราส่วนเส้นใยนุ่มต่อเรยอนเป็น 15:0 และ 0:15 กรัมทำการทดลองซ้ำข้อ 1-9

11. นำตัวอย่างวัสดุดูดซับไปศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในการทดลองช่วงที่ 3

ภาพที่ 20 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดูดซับ

3.2.3 การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ

1. เตรียมตัวอย่างที่ต้องการส่งวิเคราะห์ให้มีความเหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Surface Area Analyzer และ Gas Pycnometer (Quantachrome, Ultrapycnometer 1000)
2. การหาค่าความชื้นในตัวอย่างวัสดุดูดซับสามารถทำได้โดยการชั่งน้ำหนักตามมาตรฐานการทดสอบ Test Method D 2654, 2495 Hot air oven method โดยชั่งน้ำหนักวัสดุดูดซับก่อนและหลังผ่านการอบและคำนวณค่าความชื้นดังสมการ

$$\% \text{Moisture content} = \frac{\text{Weight}_{\text{before}} - \text{Weight}_{\text{after}}}{\text{Weight}_{\text{after}}} \times 100 \quad (2)$$

ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 3

1. เตรียมตัวอย่างที่ต้องการส่งวิเคราะห์ให้มีความเหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Surface Area Analyzer, Gas Pycnometer (Quantachrome, Ultrapycnometer 1000)

2. หาค่าความชื้นในตัวอย่างวัสดุดูดซับโดยการชั่งน้ำหนักตามมาตรฐานการทดสอบ Test Method D 2654, 2495 Hot air oven method

ภาพที่ 21 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ

3.2.4 การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ

1. นำวัสดุดูดซับที่เหมาะสมจากทดลองที่ 2 และ 3 จำนวน 1 3 และ 5 กรัม บรรจุในคอลัมน์ แบ่งการบรรจุคอลัมน์ออกเป็น 4 ลักษณะ คือวัสดุดูดซับแบบผสมระหว่างเส้นใยนุ่มกับเรยอน วัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่ม และวัสดุดูดซับแบบสลับชั้นระหว่างวัสดุดูดซับนุ่มกับวัสดุดูดซับเรยอน โดยทั้ง 4 รูปแบบมีอัตราส่วนวัสดุดูดซับนุ่มต่อวัสดุดูดซับเรยอนเท่ากับ 1:1, 0:1, 1:0 และ 1:1 ตามลำดับ
2. นำเฮกเซน 20 มิลลิลิตรใส่ขวดตั้งไว้ 3-5 ชั่วโมงเพื่อให้ไอระเหยเข้าสู่สมดุลจากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง
3. ปลอยก๊าซไนโตรเจน 99.5% เข้าสู่ภาชนะบรรจุเฮกเซนเพื่อให้ไอระเหยเฮกเซนไหลออกจากภาชนะเข้าสู่ระบบและเดินทางเข้าสู่คอลัมน์โดยมีก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอระเหยเฮกเซนเข้าสู่คอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางทั้ง 4 รูปแบบและควบคุมอัตราการไหลของแก๊สที่ 2 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมงด้วยอุปกรณ์ควบคุมการไหล
4. ไอระเหยเฮกเซนจะถูกก๊าซไนโตรเจนพาเข้าสู่คอลัมน์ จากนั้นทำการเก็บไอระเหยก่อนเข้าคอลัมน์ที่เวลาเริ่มต้นและเก็บไอระเหยออกจากคอลัมน์ที่เวลาผ่านไป 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที
5. นำไอระเหยที่เก็บที่เวลาต่างๆไปตรวจวัดความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน
7. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนสารระเหยจากเฮกเซนเป็นไซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตท และบิวทิลอะซิเตท ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 4

1. บรรจุวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่ม วัสดุดูดซับผสมและวัสดุดูดซับแบบสลับชั้นในคอลัมน์ จำนวน 1, 3 และ 5 กรัม

2. นำเฮกเซนใส่ภาชนะปิดปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 4-5 ชั่วโมงเพื่อให้ไอระเหยเข้าสู่สมดุลจากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง

3. ปล่องก๊าซไนโตรเจน 99.5% เข้าสู่ภาชนะบรรจุเฮกเซนและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 2, 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง

4. ไอรอะเหยเฮกเซนจะถูกก๊าซไนโตรเจนพาเข้าสู่คอลัมน์ จากนั้นเก็บไอรอะเหยก่อนเข้าคอลัมน์ที่เวลาเริ่มต้นและเก็บไอรอะเหยออกจากคอลัมน์ที่เวลาผ่านไป 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

5. นำไอรอะเหยที่เก็บที่เวลาต่างๆไปตรวจวัดความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับไอรอะเหยเฮกเซน และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับระบบการดูดซับรวมทั้งปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการดูดซับ

7. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนจากเฮกเซนเป็นไซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตท และบิวทิลอะซิเตท ตามลำดับ

ภาพที่ 22 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการดูดซับ

3.2.5 การทดลองช่วงที่ 5 ศึกษาลักษณะทางเคมีของสารระเหยแต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับ

1. บรรจุวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น วัสดุดูดซับผสมและวัสดุดูดซับแบบสลับชั้นในคอลัมน์ด้วยน้ำหนักที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองที่ 4

2. นำเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ชนิดละ 10 มิลลิตร ผสมกันใส่ขวดตั้งไว้ 3-5 ชั่วโมง เพื่อให้ไอรอะเหยเข้าสู่สมดุลจากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง

3. ปล่องก๊าซไนโตรเจน 99.5% เข้าสู่ภาชนะบรรจุสารผสมและควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมของก๊าซไนโตรเจนซึ่งได้จากการทดลองที่ 4

4. ไอรอะเหยสารผสมจะถูกก๊าซไนโตรเจนพาเข้าสู่คอลัมน์ จากนั้นเก็บไอรอะเหยก่อนเข้าคอลัมน์ที่เวลาเริ่มต้นและเก็บไอรอะเหยออกจากคอลัมน์ที่เวลาผ่านไป 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

5. นำไอรอะเหยที่เก็บที่เวลาต่างๆไปตรวจวัดความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับไอรอะเหยผสม

ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 5

1. บรรจุวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น วัสดุดูดซับผสมและวัสดุดูดซับแบบสลับชั้น ในคอลัมน์ด้วยน้ำหนักที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองที่ 4

2. นำเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ชนิดละ 10 มิลลิลิตร ผสมกันใส่ขวดตั้งไว้ 3-5 ชั่วโมง เพื่อให้ไอระเหยเข้าสู่สมดุลจากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง

3. ปล่องก๊าซไนโตรเจน 99.5% เข้าสู่ภาชนะบรรจุสารระเหยเฮกเซนและควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมของก๊าซไนโตรเจนซึ่งได้จากการทดลองที่ 4

4. ไอระเหยผสมจะถูกก๊าซไนโตรเจนพาเข้าสู่คอลัมน์ จากนั้นเก็บไอระเหยก่อนเข้าคอลัมน์ที่เวลาเริ่มต้นและเก็บไอระเหยออกจากคอลัมน์ที่เวลาผ่านไป 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

5. นำไอระเหยที่เก็บที่เวลาต่างๆไปตรวจวัดความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยผสม

ภาพที่ 23 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะทางเคมีของสารระเหยที่มีผลต่อการดูดซับ

3.2.6 การทดลองช่วงที่ 6 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับทางการค้า

1. บรรจุวัสดุดูดซับทางการค้าด้วยปริมาณที่เหมาะสม
2. นำสารระเหยเฮกเซนใส่ใส่ภาชนะปิดปริมาณ 20 มิลลิลิตร ตั้งไว้ 3-5 ชั่วโมง เพื่อให้ไอระเหยเข้าสู่สมดุลจากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง
3. ปล่องก๊าซไนโตรเจน 99.5% เข้าสู่ภาชนะบรรจุเฮกเซนและควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสม
4. ไอระเหยเฮกเซนถูกก๊าซไนโตรเจนพาเข้าสู่คอลัมน์ จากนั้นเก็บไอระเหยก่อนเข้าคอลัมน์ที่เวลาเริ่มต้นและเก็บไอระเหยออกจากคอลัมน์ที่เวลาผ่านไป 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

5. นำไอรระเหยที่เก็บที่เวลาต่างๆไปตรวจวัดความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซน
7. เปลี่ยนเฮกเซนเป็นไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท แล้วทำการทดลองซ้ำ 1-6

ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 6

1. บรรจุวัสดุดูดซับทางการค้าด้วยปริมาณที่เหมาะสม
2. นำเฮกเซนใส่ขวดปริมาณ 20 มิลลิลิตร ตั้งไว้ 3-5 ชั่วโมง เพื่อให้ไอรระเหยเข้าสู่สมดุล จากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง
3. ปลอยก๊าซไนโตรเจน 99.5% เข้าสู่ภาชนะบรรจุเฮกเซนและควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมของก๊าซไนโตรเจนซึ่งได้จากการทดลองที่ 4
4. ไอรระเหยเฮกเซนจะถูกก๊าซไนโตรเจนพาเข้าสู่คอลัมน์ จากนั้นเก็บไอรระเหยก่อนเข้าคอลัมน์ ที่เวลาเริ่มต้นและเก็บไอรระเหยออกจากคอลัมน์ที่เวลาผ่านไป 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที
5. นำไอรระเหยที่เก็บที่เวลาต่างๆไปตรวจวัดความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซนของวัสดุดูดซับทางการค้า
7. เปลี่ยนเฮกเซนเป็นไซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตท บิวทิลอะซิเตทและสารผสมแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1-6

ภาพที่ 24 ขั้นตอนการทดลองการหาประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยของวัสดุดูดซับทางการค้า

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมวัสดุดูดซับจากเส้นใยธรรมชาติกับของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน ได้แก่ เส้นใยเรยอนและเกลือโซเดียมซัลเฟต กระบวนการเตรียมวัสดุดูดซับของเหลวหนืดวิสโคสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ งานวิจัยนี้จึงเตรียมของเหลวหนืดวิสโคสขึ้นเพื่อใช้เตรียมวัสดุดูดซับ จากนั้นนำไปดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตทและบิวทิลอะซิเตท วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ ได้แก่ ลักษณะโครงสร้างและพื้นผิว หมู่ฟังก์ชัน ปริมาณพื้นที่ผิว ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นที่แท้จริงของวัสดุดูดซับและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของสารอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้

4.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไอระเหยของสารอินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท โดยเตรียมวัสดุดูดซับด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) แทนการใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น วัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นมี 3 รูปแบบ ได้แก่ วัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม ในอัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่นเท่ากับ 1:0 0:1 และ 1:1 ตามลำดับ ทำการเตรียมโดยใช้สารละลายหนืดวิสโคสปริมาณ 12.5 เท่าของน้ำหนักเส้นใย เกลือโซเดียมซัลเฟต 30 และ 50 กรัม เตรียมผ่านสารละลายกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 10 30 และ 50% (v/v) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุดูดซับ

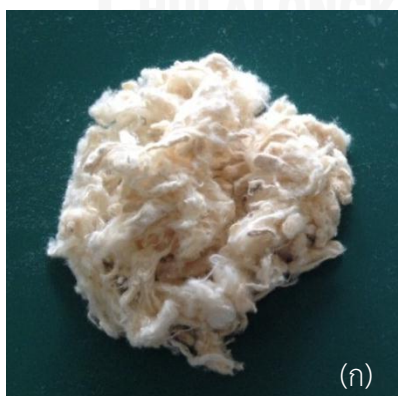
4.1.1 วัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนของเกลือโซเดียมซัลเฟตที่แตกต่างกัน

ศึกษาผลของปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตต่อการเตรียมวัสดุดูดซับโดยเตรียมวัสดุดูดซับแบบผสมในอัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่นเท่ากับ 1:1 (15 กรัม : 15 กรัม) เกลือโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 30 และ 50 กรัม และเตรียมผ่านสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 10% สภาวะการเตรียมวัสดุดูดซับดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สภาวะการเตรียมวัสดุดูดซับที่ปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตต่างกัน

นุ่น:เรยอน	Viscose liquid (g)	เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na ₂ SO ₄) (g)	กรดฟอสฟอริก (H ₃ PO ₄) (%)
1:1 (30g)	375	30	10
1:1 (30g)	375	50	10

ผลการศึกษาพบว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 30 กรัม มีการกระจายตัวของเส้นใยน้อยกว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมโดยใช้โซเดียมซัลเฟต 50 กรัม ดังภาพที่ 25 ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุจากปริมาณเกลือโซเดียมที่เข้าไปทำให้เกิดรูพรุนในขณะที่เตรียมวัสดุดูดซับที่มีปริมาณน้อยเกินไป จึงส่งผลให้วัสดุดูดซับที่ได้กระจายตัวน้อยกว่าซึ่งการกระจายตัวของเส้นใยมีผลต่อความหนาแน่นของวัสดุดูดซับ เมื่อทำการบรรจุในคอลัมน์และอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย ทั้ง 4 ชนิดมีค่าต่ำกว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมด้วยเกลือโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 50 กรัม ดาราทิพย์ เพชรพรหม (2555) ศึกษาสภาวะการเตรียมวัสดุดูดซับจากเส้นใยเรยอนผสมเส้นใยนุ่น โดยเปรียบเทียบลักษณะของวัสดุดูดซับระหว่างใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตและไม่ใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต พบว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตมีการกระจายตัวของเส้นใยได้ดี และเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับ ในขณะที่วัสดุดูดซับที่ไม่ใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตเส้นใยจะจับตัวเป็นก้อน วิวัฒน์ และคณะ (2547) ศึกษาปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุดูดซับที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำโดยปรับเปลี่ยนปริมาณโซเดียมซัลเฟต 50 65 และ 75 กรัม พบว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นด้วยโซเดียมซัลเฟต 50 กรัมมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 50 กรัมสำหรับการเตรียมวัสดุดูดซับ



ภาพที่ 25 วัสดุดูดซับที่เตรียมจากเกลือโซเดียมซัลเฟต (ก) 30 กรัม และ(ข) 50 กรัม

4.1.2 วัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนของกรดฟอสฟอริกที่แตกต่างกัน

ศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อการเตรียมวัสดุดูดซับ โดยเตรียมวัสดุดูดซับแบบผสมระหว่างเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่นในอัตราส่วน 1:1 (15 กรัม : 15 กรัม) เกลือโซเดียมซัลเฟต 50 กรัม และสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้น 10 30 และ 50% สภาวะที่ใช้เตรียมวัสดุดูดซับแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 อัตราส่วนของกรดที่ใช้ในการเตรียมวัสดุดูดซับ

นุ่น:เรยอน	Viscose liquid (ml)	เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na ₂ SO ₄) (g)	กรดฟอสฟอริก (H ₃ PO ₄) (%)
1:1 (30g)	375	50	10
1:1 (30g)	375	50	30
1:1 (30g)	375	50	50

ผลการเตรียมวัสดุดูดซับโดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่างกันพบว่า วัสดุดูดซับที่เตรียมจากกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10% มีลักษณะกระจายตัวและคงรูปมากกว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 30 และ 50% ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นๆ เกาะกลุ่มกัน ดังภาพที่ 26 และจากสมบัติของเส้นใย พบว่าเส้นใยเรยอนทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ ในขณะที่เส้นใยนุ่นทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ต่ำกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การเตรียมเส้นใยโดยใช้เส้นใยปริมาณ 30 กรัม สารละลายหนืดวิสโคส 12.5 เท่าของน้ำหนักเส้นใย (375 กรัม) เกลือโซเดียมปริมาณ 50 กรัม และสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10% (v/v)



ภาพที่ 26 วัสดุดูดซับแบบผสมอัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่นเท่ากับ 1:1 เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกต่างกัน (ก) 10% (ข) 30% และ (ค) 50% v/v

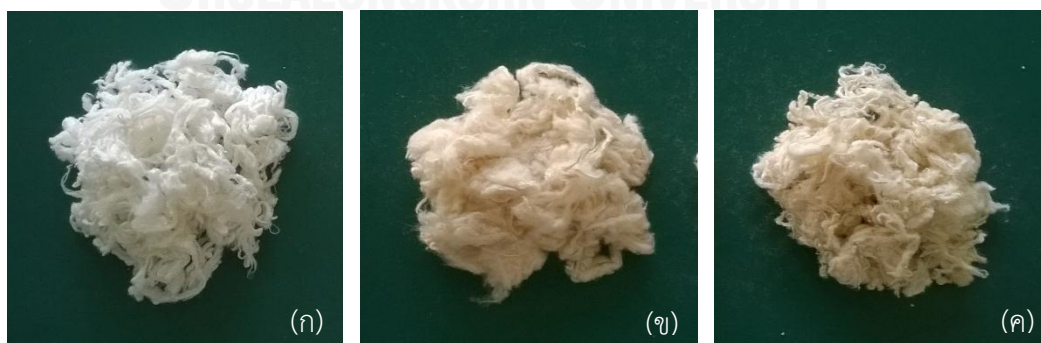
4.1.3 การเตรียมวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตและความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปวัสดุดูดซับแสดงดังตารางที่ 15

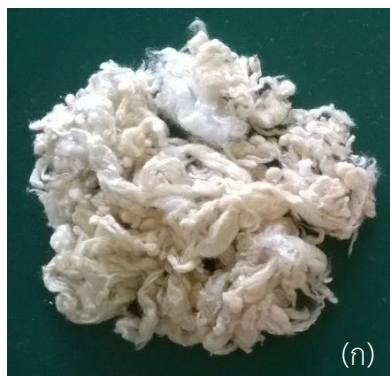
ตารางที่ 15 สภาวะการเตรียมวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม

นุ่น:เรยอน	Viscose liquid (g)	เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na ₂ SO ₄) (g)	กรดฟอสฟอริก (H ₃ PO ₄) (%)
0:1 (30g)	375	50	10
1:0 (30g)	375	50	10
1:1 (30g)	375	50	10

ผลการเตรียมวัสดุดูดซับพบว่าวัสดุดูดซับเรยอนกระจายตัวได้ดีและคงรูปเส้นใยมากกว่าวัสดุดูดซับชนิดอื่น เนื่องจากเส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ที่มีความแข็งแรง สามารถทนต่อสภาวะกรดและด่างได้มากกว่าเส้นใยธรรมชาติทำให้เส้นใยเกิดความเสียหายน้อย ดังภาพที่ 27 (ก) วัสดุดูดซับนุ่นมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นที่มีการเกาะกลุ่มกัน มีการกระจายตัวต่ำกว่าวัสดุดูดซับเรยอนและวัสดุดูดซับผสม แต่มีความฟูของเส้นใยมากกว่าซึ่งอาจมีสาเหตุจากวัสดุดูดซับนุ่นมีอัตราส่วนของเส้นใยนุ่นเพียงอย่างเดียวซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีน้ำหนักเบาและฟูกระจาย จึงทำให้มีลักษณะฟูมากกว่าวัสดุดูดซับเรยอนและวัสดุดูดซับผสม ดังภาพที่ 27 (ข) และวัสดุดูดซับผสมมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น เส้นใยเกาะกลุ่มกัน ดังภาพที่ 27 (ค) แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับผสมที่ทำการเตรียมด้วยกรดซัลฟิวริก 10% ดาราทิพย์ เพชรพรหม พบว่าวัสดุดูดซับที่ขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริก 10% กระจายตัวได้ดีเหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับมากกว่าวัสดุดูดซับที่ขึ้นรูปด้วยกรดฟอสฟอริก 10% ดังภาพที่ 28 (ก) และ (ข)



ภาพที่ 27 (ก) วัสดุดูดซับเรยอน (ข) วัสดุดูดซับนุ่น และ (ค) วัสดุดูดซับแบบผสม



ภาพที่ 28 วัสดุดูดซับผสม (ก) เตรียมจากกรดซัลฟิวริก 10% (ข) เตรียมจากกรดฟอสฟอริก 10%

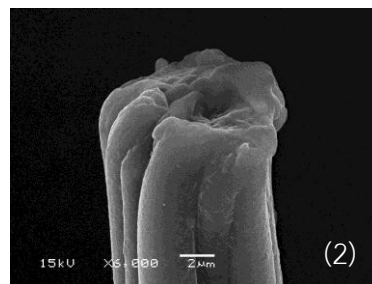
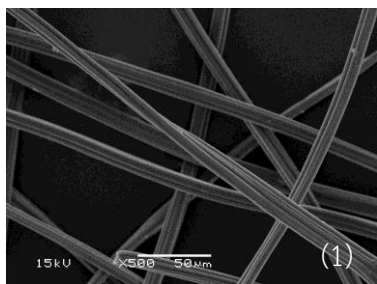
4.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ

4.2.1 ศึกษาลักษณะโครงสร้างและพื้นผิว

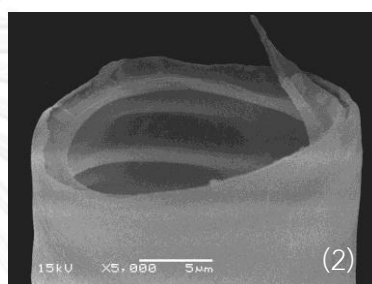
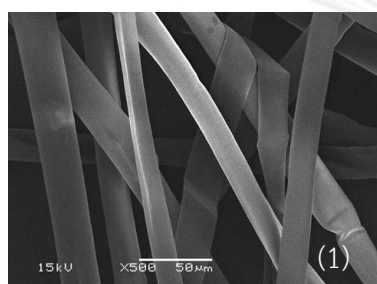
การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและพื้นผิวของเส้นใยกับวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการเตรียมซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อโครงสร้างและพื้นผิวของวัสดุดูดซับเส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอนและวัสดุดูดซับนุ่นที่เตรียมจากสารละลายกรดฟอสฟอริก 10% และวัสดุดูดซับผสมที่เตรียมจากกรดฟอสฟอริก 10 30 และ 50%

4.2.1.1 เส้นใยนุ่นและเส้นใยเรยอน

ผลการศึกษาโครงสร้างและพื้นผิวของเส้นใยเรยอนเปรียบเทียบกับเส้นใยนุ่นที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy (SEM)) ที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่า พบว่าเส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยที่มีลักษณะตรง ยาว พื้นผิวเรียบ มีรอยขีดเป็นแนวยาวตลอดเส้นใย โครงสร้างภายในมีลักษณะตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9-18 ไมโครเมตร ส่วนเส้นใยนุ่นเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยเรยอน พื้นผิวด้านข้างเรียบ โครงสร้างภายในมีลักษณะกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11-25 ไมโครเมตรดังภาพที่ 29 (ก) และ(ข)



ก) เส้นใยเรยอน (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า (2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า

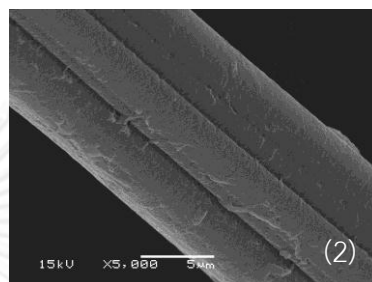
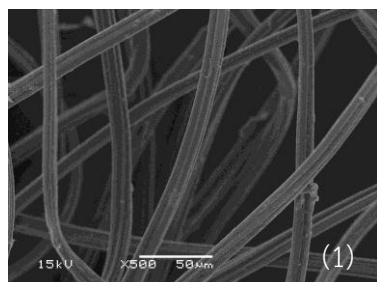


(ข) เส้นใยนุ่น (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า (2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า ภาพที่ 29 ภาพพื้นผิวด้านข้างและภาพตัดขวางของเส้นใยเรยอนและเส้นใยนุ่นที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่า

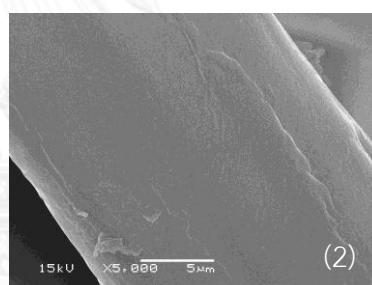
4.2.1.2 วัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม

ผลการศึกษาโครงสร้างและพื้นผิวของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสมในอัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่นเท่ากับ 1:0 0:1 และ 1:1 ตามลำดับ ที่ผ่านการเตรียมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก 10, 30 และ 50% โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy (SEM)) ที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่า พบว่าพื้นผิวด้านข้างของวัสดุดูดซับเรยอนมีลักษณะคล้ายกับพื้นผิวด้านข้างของเส้นใยเรยอนที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมวัสดุดูดซับแต่เมื่อเพิ่มกำลังขยายพบว่าบริเวณพื้นผิวขรุขระไม่เรียบเหมือนเส้นใยเรยอนที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมวัสดุดูดซับดังภาพที่ 30 (ก) ส่วนวัสดุดูดซับนุ่นพบว่าพื้นผิวด้านข้างของเส้นใยเกิดความเสียหาย เส้นใยขาดและหยิกงอ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการจุ่มแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกในกระบวนการเตรียมวัสดุดูดซับ เนื่องจากเส้นใยนุ่นเป็นเส้นใยที่มีโครงสร้างกลวง ความแข็งแรงของเส้นใยต่ำและการทนต่อสารเคมีต่ำจึงทำให้เกิดความเสียหายของเส้นใย และเมื่อเพิ่มกำลังขยายพบว่าพื้นผิวของเส้นใยนุ่นขรุขระไม่เรียบเหมือนพื้นผิวเส้นใยนุ่นที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมวัสดุดูดซับดังภาพที่ 30 (ข) และวัสดุดูดซับผสมที่ผ่านการเตรียมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10, 30

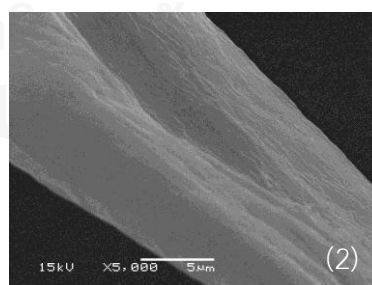
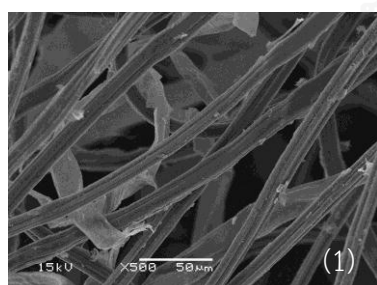
และ 50 % พบว่าโครงสร้างของเส้นใยเกิดความเสียหายมากขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 30 (ค)-(จ) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเตรียมวัสดุตุ้ดซับโดยใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10% เพื่อไม่ให้เส้นใยเกิดความเสียหายมากเกินไปและเป็นการเตรียมวัสดุตุ้ดซับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้สารเคมีในปริมาณน้อย



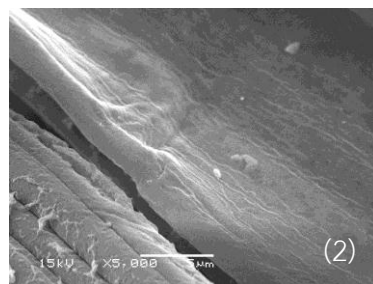
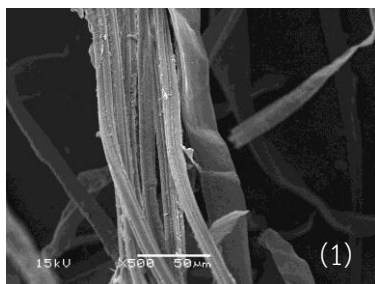
(ก) วัสดุตุ้ดซับเรยอน+สารละลายกรดฟอสฟอริก 10% (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า (2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า



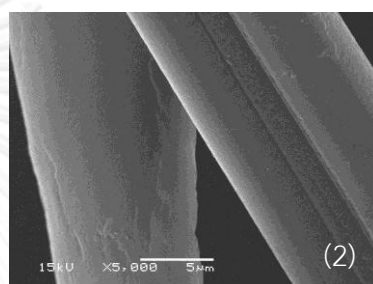
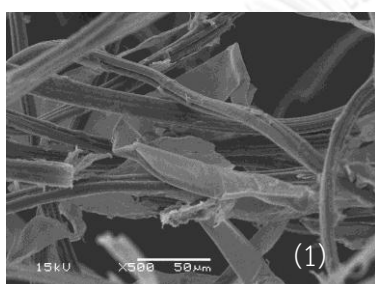
(ข) วัสดุตุ้ดซับขนุน+สารละลายกรดฟอสฟอริก 10% (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า (2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า



(ค) วัสดุตุ้ดซับผสม+สารละลายกรดฟอสฟอริก 10% (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า (2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า



(ง) วัสดุดูดซับผสม+สารละลายกรดฟอสฟอริก 30% (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า
(2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า

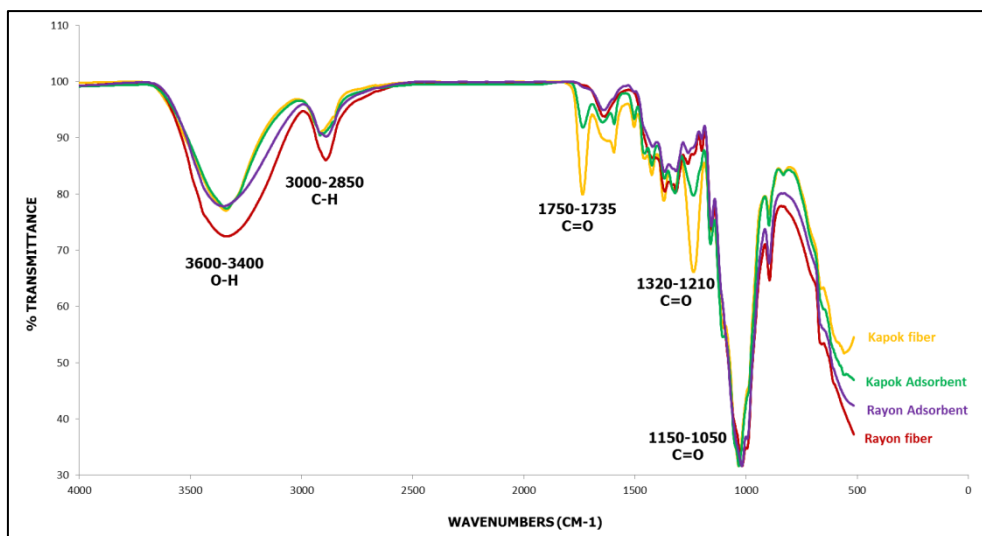


(จ) วัสดุดูดซับผสม+สารละลายกรดฟอสฟอริก 50% (1) ภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยาย 500 เท่า
(2) ภาพตัดขวางที่กำลังขยาย 5000 เท่า

ภาพที่ 30 ภาพพื้นผิวด้านข้างและภาพตัดขวางของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสมที่ผ่านการเตรียมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10, 30 และ 50% ที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่า

4.2.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยและวัสดุดูดซับ

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอน และวัสดุดูดซับนุ่นที่เตรียมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก 10% ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) จากภาพที่ 31 พบว่ามีพีคสำคัญปรากฏขึ้นทั้งหมด 5 พีค และสามารถระบุหมู่ฟังก์ชันของพีคได้โดยพิจารณาร่วมกับค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ดังตารางที่ 16



ภาพที่ 31 แถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอน และวัสดุดูดซับนุ่น

ตารางที่ 16 ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดหมู่ฟังก์ชัน

ความยาวคลื่น (CM ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	รายละเอียด
3600-3400	O-H stretching	ไฮดรอกซิล
3000-2850	C-H stretching	CH ₃ , CH ₂ และ CH ของอัลเคน
1750-1735	C=O stretching	เอสเทอร์
1320-1210	C-O stretching	อีเทอร์และเอสเทอร์
1150-1050	C-O stretching	แอลกอฮอล์ อีเทอร์ เอสเทอร์

(ที่มา: www.chemistry.sc.chula.ac.th)

ผลการวิเคราะห์พบว่าเส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอนและวัสดุดูดซับนุ่น ปรากฏพีคที่เหมือนกัน 3 ตำแหน่งโดยตำแหน่งที่หนึ่งคือที่ความยาวคลื่น 3600-3400 ซม⁻¹ เกิดพีคกว้างของหมู่ฟังก์ชัน O-H (Standerker และคณะ, 2009) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วสามารถรวมตัวกับไฮโดรเจนกลายเป็นน้ำ แสดงถึงความชอบน้ำโดยพีคที่มีพื้นที่ใต้พีคมากที่สุดคือพีคของเส้นใยเรยอน ตำแหน่งที่สองคือที่ความยาวคลื่น 3000-2850 ซม⁻¹ เกิดพีคของหมู่ฟังก์ชัน C-H ได้แก่ CH₃, CH₂ และ CH ของอัลเคน (Wisniewska และคณะ, 2003) ซึ่งพื้นที่ใต้พีคของเส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอน และวัสดุดูดซับนุ่นมีขนาดใกล้เคียงกัน ในกรณีของเส้นใยนุ่นพีคที่ 3000-2850 ซม⁻¹ แสดงถึงลักษณะสำคัญของเส้นใยที่มีขี้ผึ้งเคลือบอยู่ โดยขี้ผึ้งที่เคลือบอยู่บนผิวของพืชโดยทั่วไปจะ

ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของแอลกอฮอล์ อะลิฟาติก อัลเคน แอลดีไฮด์ คีโตน และเอสเทอร์เรียงต่อกันเป็นสายยาว (Bianchi, 1995; Tulloch, 1976; Velisek, 2006; Baker, 1982; Hua และ Lim, 2007) และตำแหน่งที่สามคือที่ความยาวคลื่น 1150-1050 cm^{-1} เป็นพีคที่เส้นใยเรยอน เส้นใยนุ่น วัสดุดูดซับเรยอน และวัสดุดูดซับนุ่นมีพื้นที่ใต้พีคใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากเส้นใยนุ่นเป็นเส้นใยธรรมชาติในขณะที่เส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ที่ผลิตจากเซลลูโลสซึ่งเซลลูโลสสามารถพบได้ทั่วไปในพืชหรือเส้นใยธรรมชาติจึงทำให้เกิดพีคในตำแหน่งเดียวกันและมีพื้นที่ใต้พีคที่ใกล้เคียงกัน (ดาราทิพย์ เพชรพรหม , 2555)

จากภาพที่ 31 จะเห็นว่ามีพีค 2 ตำแหน่งที่แบ่งลักษณะของเส้นใยและวัสดุดูดซับให้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือพีคที่ตำแหน่ง 1750-1735 cm^{-1} และตำแหน่ง 1320-1210 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของหมู่ฟังก์ชัน C=O ของเอสเทอร์ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในซี่ผึ้งที่เคลือบบนผิวของเส้นใย (Sun และคณะ, 2003) โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเส้นใยนุ่นและวัสดุดูดซับนุ่นสามารถพบพีคทั้ง 2 ตำแหน่งนี้อย่างชัดเจนในขณะที่เส้นใยเรยอนและวัสดุดูดซับเรยอนไม่ปรากฏพีคนี้จึงทำให้สรุปได้ว่าสิ่งที่ต่างกันของเส้นใยนุ่นกับเส้นใยเรยอนคือเส้นใยนุ่นจะมีซี่ผึ้งเคลือบอยู่ที่ผิวซึ่งทำให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือไฮโดรโฟบิก แต่เมื่อผ่านการเตรียมวัสดุดูดซับด้วยกรดฟอสฟอริก 10% พบว่าในตำแหน่ง 1750-1735 cm^{-1} พีคของวัสดุดูดซับนุ่นมีขนาดเล็กกว่าพีคของเส้นใยนุ่น ซึ่งอาจเกิดจากการผ่านสารละลายกรดทำให้ซี่ผึ้งที่เคลือบบนพื้นผิวถูกทำลายจึงเห็นพีคที่มีขนาดเล็กกว่าดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการนำเส้นใยนุ่นมาเตรียมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก 10% จะทำให้ซี่ผึ้งที่เคลือบบนพื้นผิวถูกทำลายความไม่มีซี่ผึ้งจะลดลงอาจทำให้ความสามารถในการดูดซับสารไม่มีขั้วลดลงและดูดซับสารที่มีขั้วได้มากยิ่งขึ้น

4.2.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิววัสดุดูดซับด้วยเครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer) พบว่าวัสดุดูดซับนุ่นมีพื้นที่ผิวมากที่สุดประมาณ 9.02 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยนุ่นมีลักษณะกลวง ในขณะที่วัสดุดูดซับเรยอนมีพื้นที่ผิวดำที่สุดซึ่งมีค่าประมาณ 4.77 เนื่องจากเส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยที่มีโครงสร้างตัน จึงทำให้มีพื้นที่ผิวดำกว่าวัสดุดูดซับนุ่นและวัสดุดูดซับผสมซึ่งพื้นที่ผิวมากเป็นอันดับสองมีค่าประมาณ 5.93 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากมีอัตราส่วนของเส้นใยเรยอนและเส้นใยนุ่นซึ่งมีพื้นที่จึงทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนของเส้นใยเรยอนเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของเส้นใยเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ พบว่าวัสดุดูดซับมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นโดยพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับนุ่นมีค่ามากกว่าพื้นที่ผิวของเส้นใยนุ่นถึง 46.56% และพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับเรยอนมีค่ามากกว่าพื้นที่ผิวของเส้น

ใยเรยอนประมาณ 33.54% ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการขึ้นรูปวัสดุดูดซับด้วยกรดจึงส่งผลให้มีการกระจายตัวของเส้นใยมากขึ้น เส้นใยมีปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวมากขึ้นผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วนเส้นใยเรยอน : เส้นใยุ่น	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)
Rayon fiber (S1)	1:0	3.17
Kapok fiber (S2)	0:1	4.82
Rayon adsorbent (S5)	1:0	4.77
Kapok adsorbent (S6)	0:1	9.02
Mixed adsorbent (S7)	1:1	5.93
Prolypropylene	-	15.00

4.2.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับ

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับุ่น และวัสดุดูดซับผสม พบว่าวัสดุดูดซับเรยอนมีความหนาแน่นที่แท้จริงสูงที่สุดมีค่า 1.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่วัสดุดูดซับุ่นมีความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุดูดซับเรยอนมีค่าประมาณ 1.37 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากเส้นใยเรยอนมีโครงสร้างตันจึงทำให้มีน้ำหนักมากกว่าเส้นใยุ่นที่มีโครงสร้างกลวงและมีลักษณะเบา ฟุ้งกระจาย จึงทำให้ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับุ่นมีค่าต่ำกว่า และวัสดุดูดซับผสมมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับุ่นมีค่า 1.38 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนวัสดุดูดซับทางการค้าโพลีโพรพิลีนมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังตารางที่ 18 เมื่อพิจารณาจากความหนาแน่นเท่ากับมวล/ปริมาตร พบว่าที่น้ำหนักเท่ากันวัสดุดูดซับที่มีความหนาแน่นมากจะมีปริมาตรน้อยกว่าวัสดุดูดซับที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ดังนั้นถ้านำวัสดุดูดซับเรยอนและวัสดุดูดซับุ่นมาอย่างละ 1 กรัม ปริมาตรวัสดุดูดซับุ่นจะมากกว่าวัสดุดูดซับเรยอน

ตารางที่ 18 ความหนาแน่นที่แท้จริงของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

ตัวอย่างวัสดุดูดซับ	ความหนาแน่นที่แท้จริง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
Rayon adsorbent (S1)	1.50
Kapok adsorbent (S2)	1.37
Mixed adsorbent (S3)	1.38
Polypropylene (PP)	0.92

หมายเหตุ : วัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม เป็นวัสดุดูดซับที่ขึ้นรูปด้วยสภาวะเดียวกันคืออัตราส่วนของเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่นเท่ากับ 1:0 0:1 และ 1:1 ตามลำดับในปริมาณ 30 กรัมของเหลวหนืดวิสโคส 375 กรัม กลีโกลีโซเดียมซัลเฟต 50 กรัมและ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก 10% (v/v)

4.2.5 การวิเคราะห์ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับ

การวิเคราะห์หาค่าความชื้นของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่น และวัสดุดูดซับผสม โดยวิธี Hot oven method ตาม Test Method D 2654 โดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุดูดซับก่อนนำไปอบและชั่งน้ำหนักของวัสดุดูดซับหลังอบแล้วนำมาคำนวณดังสมการที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิดแสดงดังตารางที่ 19

$$\% \text{Moisture content} = \frac{\text{Weight}_{\text{before}} - \text{Weight}_{\text{after}}}{\text{Weight}_{\text{after}}} \times 100 \quad (2)$$

ตารางที่ 19 ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับเรยอน วัสดุดูดซับนุ่นและวัสดุดูดซับผสม

วัสดุดูดซับ (เรยอน:นุ่น)	ค่าความชื้น (%)
Rayon (1:0)	7.80 ± 1.00
Kapok (0:1)	5.38 ± 0.52
Mixed (1:1)	5.96 ± 0.53

ผลการวิเคราะห์พบว่าวัสดุดูดซับเรยอนมีค่าความชื้นสูงที่สุดประมาณ 7.80 ± 1.00 มีค่ามากกว่าวัสดุดูดซับนุ่นและวัสดุดูดซับผสมที่มีค่าประมาณ 5.38 ± 0.52 และ 5.96 ± 0.53 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากเส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยที่ดูดซับความชื้นได้ดี ในขณะที่เส้นใยนุ่นมีค่าความชื้นในวัสดุน้อยที่สุดเพราะเส้นใยนุ่นมีซี่ผึ้งเคลือบอยู่บริเวณผิวทำให้มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกจึงทำให้มีความชื้นในวัสดุดูดซับนุ่นน้อยที่สุด และวัสดุดูดซับผสมเป็นวัสดุดูดซับที่มีส่วนผสมของเส้นใยนุ่นและเส้นใยเรยอนในอัตราส่วน 1:1 เนื่องจากมีเส้นใยเรยอนมาเป็นส่วนผสมจึงทำให้ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับผสมมากกว่าค่าความชื้นของวัสดุดูดซับนุ่น นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของสารละลายหนืดวิสโคสมีผลต่อค่าความชื้น (ปนัดดา คงศรีเจริญ, 2555) แต่ในการทดลองนี้ใช้สารละลายหนืดวิสโคสที่มีความหนืดและใช้ในปริมาณเท่ากันทุกครั้งในการเตรียมวัสดุดูดซับ ดังนั้นความหนืดของสารละลายหนืดวิสโคสจึงไม่มีผลต่อค่าความชื้นของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

4.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอระเหย

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยด้วยวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นนั้นต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ อาทิ ระยะเวลาที่สารระเหยเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสของเหลวและเฟสอากาศ ระยะเวลาที่สารระเหยสัมผัสกับวัสดุดูดซับ ระยะเวลาและปริมาตรของแก๊สที่เก็บไปวิเคราะห์ เป็นต้น

4.3.1 อัตราการไหลของแก๊สและระยะเวลาที่สารระเหยสัมผัสกับวัสดุดูดซับ

อัตราการไหลของแก๊สเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ เนื่องจากอัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ระยะเวลาสัมผัสที่น้อยเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพที่ได้มีค่าต่ำเนื่องจากการดูดซับเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์และหากระยะเวลาในการสัมผัสนานเกินไปก็อาจทำให้ประสิทธิภาพต่ำเช่นเดียวกันเนื่องจากการวัสดุดูดซับอิ่มตัวไปด้วยไอระเหยเมื่อมีไอระเหยเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบมากขึ้นเรื่อยๆ อาจทำให้ไอระเหยที่ถูกดักจับไว้ในวัสดุดูดซับหลุดออกไปกับกระแสไอระเหยรอบใหม่ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าต่ำ

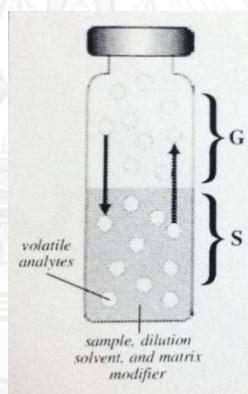
4.3.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบดูดซับ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ 1 บรรยากาศ (atm) คือสถานะที่สารสามารถระเหยกลายเป็นไอและกระจายไปในบรรยากาศได้ง่ายที่สุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) งานวิจัยนี้จึงทำการทดลองอุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ดาราทิพย์ เพชรพรหม ศึกษาความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีนและไซลีน (BTEX) โดยนำปิเท็กต์ัมที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของสารระเหยปิเท็กต์ัม ประมาณ 80-95 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาพบว่ามิของเหลวเกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากสารระเหยปีเท็กที่มีอุณหภูมิสูงเดินทางเข้าสู่คอลัมน์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและเกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวขึ้น และการต้มสารระเหยปีเท็กทำในระบบเปิดอุณหภูมิที่ใช้ต้มจึงไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ตลอดเวลาส่งผลให้ความเข้มข้นเริ่มต้นมีค่าไม่เท่ากันและควบคุมได้ยาก

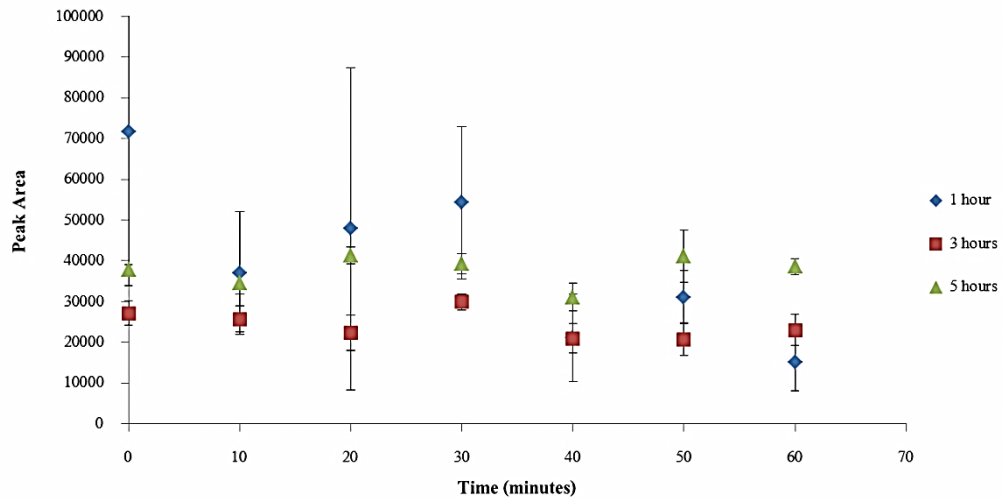
4.3.3 ระยะเวลาที่สารระเหยเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟส

ความเข้มข้นของสารที่เข้าสู่ระบบเป็นสิ่งสำคัญ ในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous) โดยตั้งสารระเหยเฮกเซน ไฮโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตทและบิวทิล อะซิเตทที่ ทิ้งไว้จนสารเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสอากาศ และเฟสของเหลว บรรจุสารระเหยเฮกเซน 98.5% ปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงในภาชนะปิดที่มีปริมาตร 40 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุลดังภาพที่ 32 ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลของสารแต่ละชนิดแตกต่างกันตามลักษณะทางเคมี เช่น น้ำหนักโมเลกุล ความดันไอ จุดเดือดและลักษณะโครงสร้าง



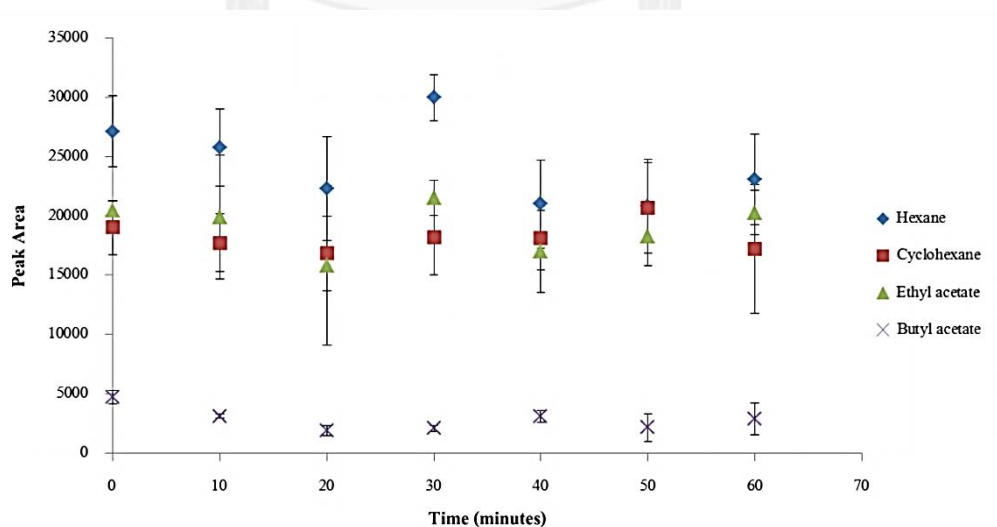
ภาพที่ 32 การบรรจุสารระเหยลงในภาชนะปิด

การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของเฮกเซนทำการทดลอง 3 ชุด โดยบรรจุเฮกเซนใส่ในภาชนะปิดแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไอระเหยเฮกเซนตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 60 ทุกๆ 10 นาที แล้วนำไอระเหยไปตรวจวัดโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการวิเคราะห์พบว่า การตั้งเฮกเซนทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พื้นที่ใต้พีคมีค่าอยู่ในช่วง 20000-70000 โดยค่าในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัดมีค่าไม่คงที่และแตกต่างกันมาก ส่วนเฮกเซนที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง ไอระเหยในแต่ละจุดที่ตรวจวัดมีพื้นที่ใต้พีคที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดลองนี้ทำการตั้งสารระเหยเฮกเซนทิ้งไว้ก่อนทำการทดลองอย่างน้อย 3 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปต่อเข้ากับชุดการทดลอง ผลการวิเคราะห์เวลาที่ไอระเหยเฮกเซนเข้าสู่สมดุลดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 เวลาในการเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสสารละลายและเฟสอากาศของสารระเหยเฮกเซนที่ตั้งทิ้งไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

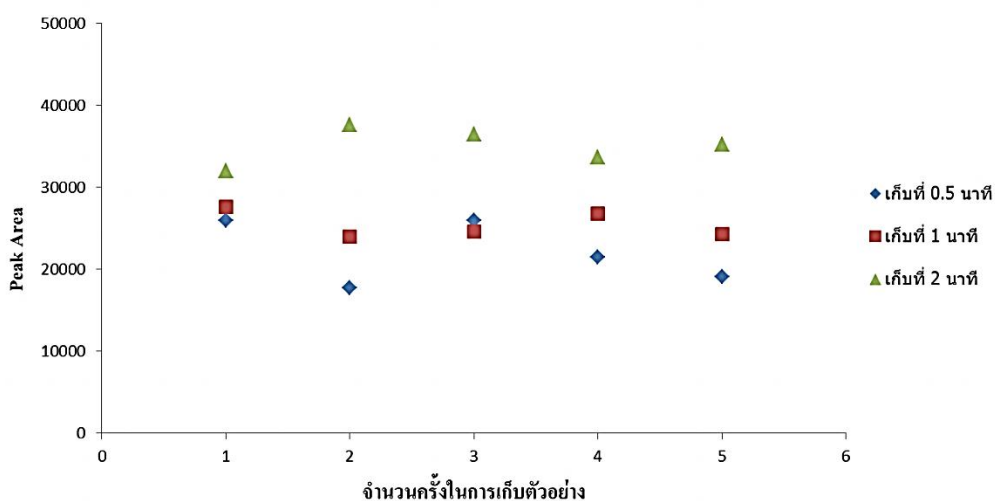
จากผลการวิเคราะห์การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของเฮกเซน จึงตั้งไซโคลเฮกเซน เอทิลอะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน เก็บไอระเหยที่เวลาต่างๆแล้วนำไปตรวจวัด พบว่าที่เวลา 3 ชั่วโมงสารระเหยทุกชนิดเข้าสู่สมดุลแล้ว ผลการทดลองพบว่าสารระเหยทั้ง 4 ชนิดมีพื้นที่ใต้พีคใกล้เคียงกันในแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างไปตรวจวัด โดยเฮกเซนมีปริมาณพื้นที่ใต้พีคมากที่สุด ไซโคลเฮกเซนและเอทิล อะซิเตทมีพื้นที่ใต้พีคใกล้เคียงกันและบิวทิล อะซิเตทมีพื้นที่ใต้พีคต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากลักษณะทางเคมี อาทิ มวลโมเลกุล จุดเดือด และความดันไอของสารแต่ละชนิดซึ่งมีผลต่อความสามารถในการระเหย (Lee S. และคณะ, 2008) ผลการทดลองดังภาพที่ 34 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงตั้งสารระเหยทิ้งไว้อย่างน้อย 3 ชั่วโมงก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดทดลอง



ภาพที่ 34 เวลาในการเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสสารละลายและเฟสอากาศของเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ที่ตั้งทิ้งไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3.4 ระยะเวลาและปริมาตรของแก๊สที่เก็บไปวิเคราะห์

ระยะเวลาการเก็บไอระเหยเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ เมื่อ $Q = V/T$ โดย T คือเวลาในการเก็บตัวอย่าง (วินาที) V คือปริมาตรของแก๊ส (ลิตร) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก มวล(กรัม)/ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร) และ Q คืออัตราการไหลของแก๊ส (ลิตรต่อชั่วโมง) เมื่ออัตราการไหลคงที่ เวลาในการเก็บไอระเหยมีผลต่อปริมาตรของแก๊สโดยตรง เนื่องจากเวลามากขึ้นปริมาตรของแก๊สก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นของแก๊ส ดังนั้นในการทดลองจึงต้องคุมเวลาในการเก็บไอระเหยไปตรวจวัดให้เท่ากันเพื่อให้ปริมาตรของไอระเหยที่เก็บได้มีค่าคงที่ในทุกๆจุดที่เก็บไปตรวจวัด ในการทดลองนี้จึงทำการหาเวลาเก็บไอระเหยที่เหมาะสมโดยนำภาชนะบรรจุสารระเหยที่เข้าสู่สมดุลต่อกับชุดทดลอง จากนั้นเก็บไอระเหยก่อนผ่านคอลัมน์และหลังผ่านคอลัมน์ทำการเก็บตัวอย่างไอระเหยทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างก่อนผ่านคอลัมน์คือตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2-5 เป็นเวลา 0.5, 1 และ 2 นาที ผลการทดลองพบว่าเวลาเก็บไอระเหยเป็นเวลา 0.5 นาที ไอระเหยที่ผ่านคอลัมน์มีค่าต่ำกว่าไอระเหยก่อนผ่านคอลัมน์ค่อนข้างมาก และค่าในแต่ละจุดมีค่าไม่คงที่ ส่วนการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที พบว่าหลังผ่านคอลัมน์ค่าที่ได้ต่ำกว่าก่อนผ่านคอลัมน์เล็กน้อยและค่าในแต่ละจุดค่อนข้างนิ่ง และการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 2 นาที พบว่าหลังผ่านคอลัมน์ในทุกๆจุดมีค่าสูงกว่าก่อนผ่านคอลัมน์ดังภาพที่ 35 ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการเก็บไอระเหยทั้งก่อนเข้าคอลัมน์และหลังผ่านคอลัมน์เป็นเวลา 1 นาที



ภาพที่ 35 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บไอระเหยของแก๊ส

เนื่องจากการทดลองนี้ศึกษาผลของปริมาณตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับโดย 1 คอลัมน์จะบรรจุตัวกลางจำนวน 1 กรัม และทำการเพิ่มตัวกลางโดยการต่อคอลัมน์แบบอนุกรม ในการทดลองนี้เพิ่มปริมาณตัวกลางจาก 1 กรัมเป็น 3 และ 5 กรัมตามลำดับ โดยการต่อคอลัมน์แบบอนุกรมที่มีระยะทางยาวขึ้นคือต่อเรียงกัน 3 คอลัมน์ และ 5 คอลัมน์ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเวลาในการเก็บไอระเหยจึงมากขึ้น จึงเก็บไอระเหยเป็นเวลา 3 นาทีสำหรับปริมาณตัวกลาง 3 กรัม และเก็บไอระเหย 5 นาทีสำหรับปริมาณตัวกลาง 5 กรัม พบว่าทั้งก่อนเข้าคอลัมน์และหลังออกจากคอลัมน์มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการเก็บไอระเหยสำหรับตัวกลางปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม คือเก็บไอระเหยเป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาทีตามลำดับ

4.3.5 ปริมาตรและความหนาแน่นของวัสดุดูดซับภายในคอลัมน์

ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับมีผลต่อรูปแบบการไหลและประสิทธิภาพการดูดซับ ในการทดลองนี้ใช้คอลัมน์ที่ทำจากอะคริลิก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ทำการบรรจุวัสดุดูดซับปริมาณ 1 กรัมในคอลัมน์ ซึ่งสามารถหาปริมาตรของคอลัมน์และความหนาแน่นรวม (Bulk density) ได้จากการคำนวณดังนี้

การหาปริมาตรคอลัมน์

$$\text{Column Volume} = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (3)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์ (cm)

h = ความยาวคอลัมน์ (cm)

$$\begin{aligned} \text{Column Volume} &= 3.14 \times (1.4^2) \text{ cm}^2 \times (10) \text{ cm} / 4 \\ &= 15.393 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาตรคอลัมน์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 15.393 cm^3

การหาความหนาแน่นรวม

$$\text{Bulk density} = M / V \quad (4)$$

เมื่อ Bulk density = ความหนาแน่นรวม (gram/ cm³)

M = ปริมาณของวัสดุดูดซับที่บรรจุภายในคอลัมน์ (gram)

V = ปริมาตรคอลัมน์ (cm³)

$$\begin{aligned} \text{Bulk density} &= (1 \text{ gram} / 15.393 \text{ cm}^3) \\ &= 0.065 \text{ (gram/cm}^3) \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความหนาแน่นรวมของวัสดุดูดซับรวมกับที่ว่างระหว่างวัสดุดูดซับภายในคอลัมน์มีค่าเท่ากับ 0.065 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.4 ศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย

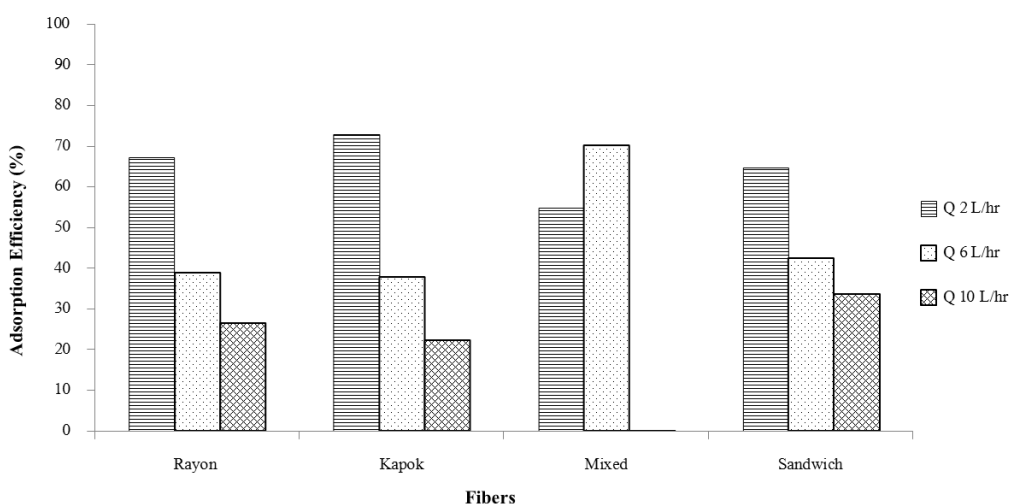
ศึกษาผลของอัตราการไหล ลักษณะการบรรจุคอลัมน์ ปริมาณตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับ โดยบรรจุตัวกลางดูดซับรูปแบบต่างๆลงในคอลัมน์ ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 เส้นใยและวัสดุดูดซับที่ใช้ในการดูดซับไอระเหย

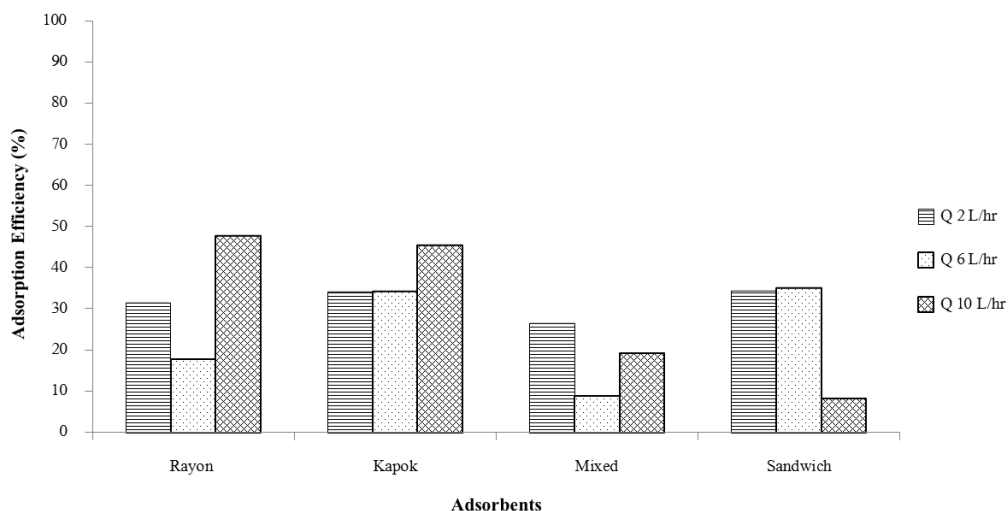
รูปแบบตัวกลางดูดซับ	อัตราส่วนเส้นใยเรยอนต่อเส้นใยนุ่น	ชื่อตัวอย่าง
เส้นใยเรยอน	1:0	S1
เส้นใยนุ่น	0:1	S2
เส้นใยผสม	1:1	S3
เส้นใยแบบสลับ	1:1	S4
วัสดุดูดซับเรยอน	1:0	S5
วัสดุดูดซับนุ่น	0:1	S6
วัสดุดูดซับผสม	1:1	S7
วัสดุดูดซับแบบสลับ	1:1	S8

4.4.1 ผลของอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย

ศึกษาผลของอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ปริมาณตัวกลางดูดซับภายในคอลัมน์ 1 กรัม ปรับอัตราการไหลที่ 2 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง และรูปแบบตัวกลางดูดซับจำนวน 8 แบบคือ S1-S8 เก็บไอระเหยก่อนเข้าคอลัมน์และหลังจากออกจากคอลัมน์เป็นเวลา 1 นาที ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่อัตราการไหล 2 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมงมีค่าประมาณ 60-70% 40-60% และ 0-30% ตามลำดับ และตัวกลางดูดซับ S5-S8 มีประสิทธิภาพการดูดซับที่อัตราการไหล 2 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 25-35% 10-37% และ 10-50% ตามลำดับ ดังภาพที่ 36-37 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกลางดูดซับทั้ง 8 แบบที่อัตราการไหลต่างๆ พบว่าที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมงมีประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยสูงกว่าอัตราการไหล 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างไอระเหยกับตัวกลางดูดซับนานมากพอที่จะทำให้เกิดการดูดซับได้เป็นอย่างดี ในขณะที่อัตราการไหล 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมงมีประสิทธิภาพการดูดซับโดยเฉลี่ยต่ำกว่า โดยประสิทธิภาพของตัวกลางดูดซับ S1-S8 ค่อนข้างต่างกันมาก ค่าที่ได้ไม่คงที่และบางสภาวะมีประสิทธิภาพที่ต่ำมากหรือไม่เกิดประสิทธิภาพในการดูดซับ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากอัตราการไหลที่เร็วเกินไปทำให้ไอระเหยและตัวกลางมีเวลาสัมผัสกันน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกอัตราการไหลที่ 2 ลิตรต่อชั่วโมงมาใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 36 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่อัตราการไหลต่างกัน



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S5-S8 ที่อัตราการไหลต่างกัน

4.4.2 ปริมาณตัวกลางดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

ผลการศึกษาปริมาณตัวกลางดูดซับที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ใช้ตัวกลางดูดซับ ปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม โดยบรรจุภายในคอลัมน์ คอลัมน์ละ 1 กรัมแล้วนำไปต่อเข้ากับชุดการทดลอง สำหรับปริมาณวัสดุดูดซับ 3 และ 5 กรัมทำการต่อคอลัมน์แบบอนุกรมที่บรรจุตัวกลางดูดซับ ปริมาณ 1 กรัมจำนวน 3 คอลัมน์และ 5 คอลัมน์ตามลำดับ ดังภาพที่ 38

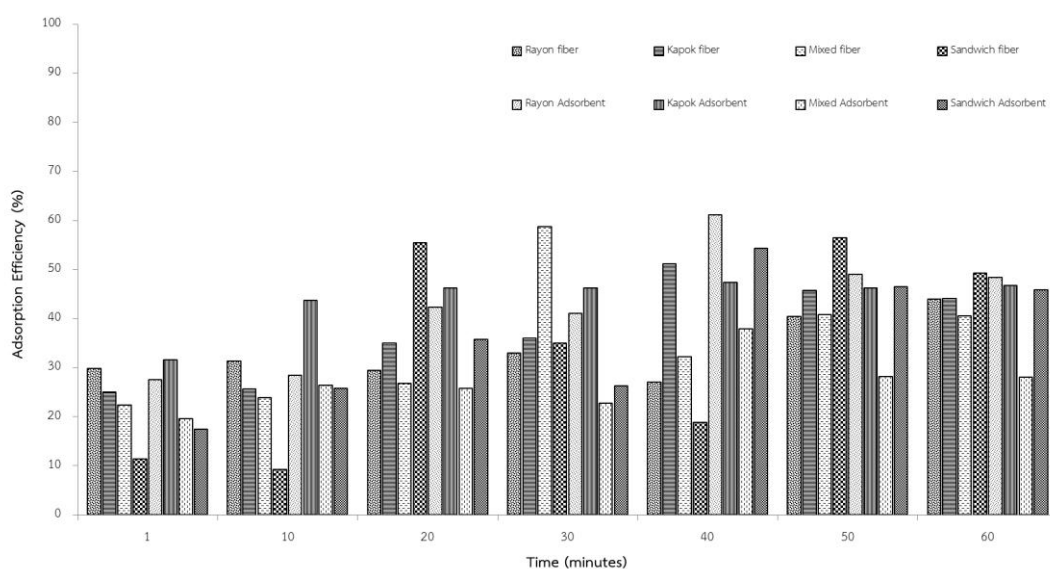


ภาพที่ 38 ตัวกลางดูดซับที่บรรจุในคอลัมน์ปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม

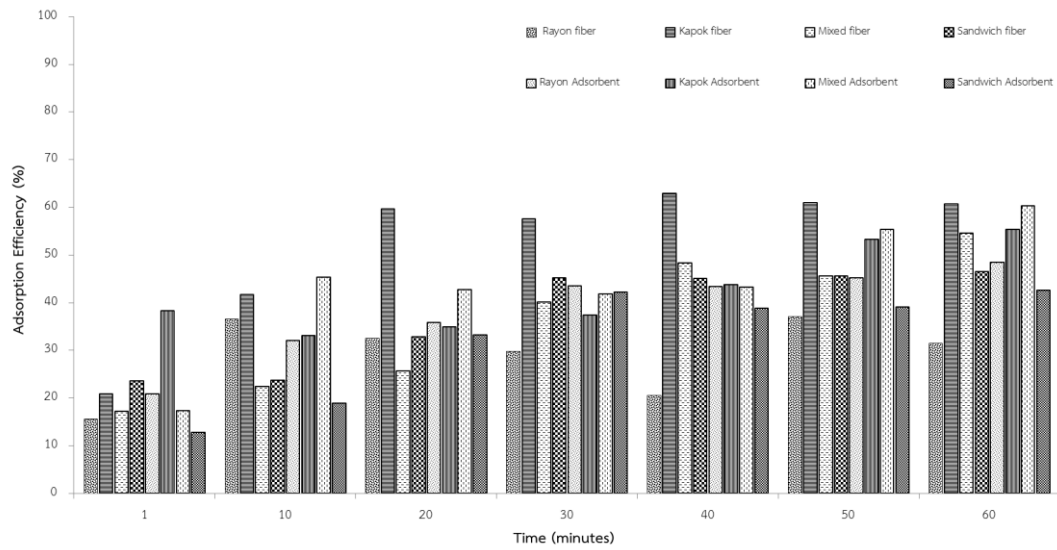
4.4.2.1 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม โดยตรวจวัดไอระเหยเฮกเซนก่อนและหลังผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุดูดซับเป็นเวลา 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที พบว่าที่เวลาผ่านไป 1 นาที วัสดุดูดซับ S6 ปริมาณ 1 3 และ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดมีค่าประมาณ 31, 38 และ 38% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 และ 5 กรัม มีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อยตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 1-60 นาที แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับ 8 รูปแบบ

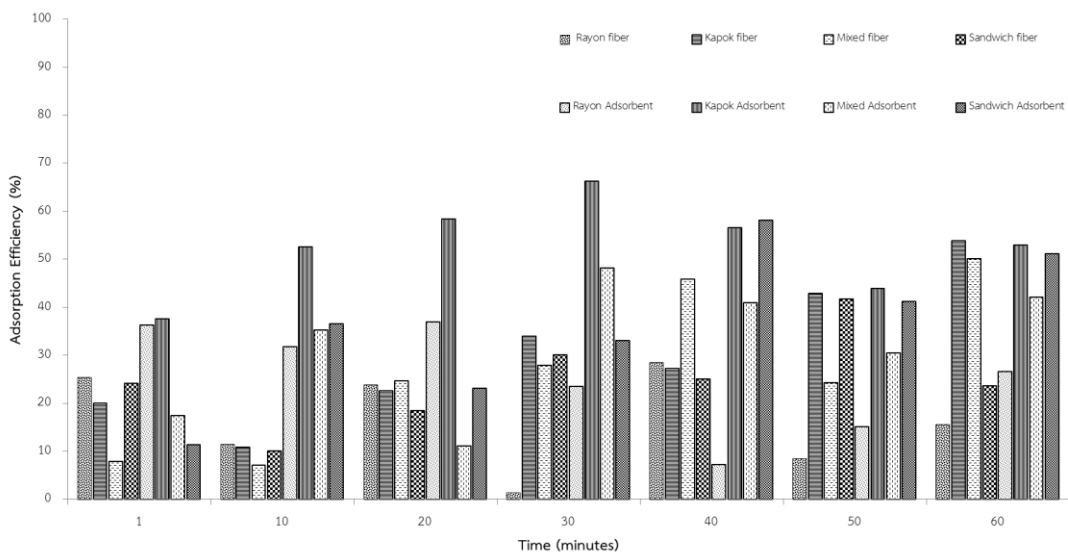
พบว่าที่เวลาเดียวกันประสิทธิภาพการดูดซับไธรมะเหยเฮกเซนของวัสดุดูดซับ 8 รูปแบบมีค่าต่างกัน และพิจารณาวัสดุดูดซับที่ละรูปแบบที่เวลาต่างกันพบว่า วัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพการดูดซับไธรมะเหยเฮกเซนสูงในบางช่วงหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงและกลับมามีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งคาดว่าเกิดจากไธรมะเหยเฮกเซนถูกดูดซับไว้บนผิวของวัสดุดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปไธรมะเหยเข้าสู่คอลัมน์มากขึ้น ไธรมะเหยถูกดูดซับไว้ได้มากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป ในขณะที่กระแสแก๊สไนโตรเจนและไธรมะเหยไหลเข้ามาสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่องจึงทำให้ไธรมะเหยที่ถูกดูดติดไว้ก่อนหน้าเกิดการหลุดออกจากผิวและปนปนออกไปกับกระแสแก๊สไนโตรเจนและไธรมะเหยเฮกเซนทำให้ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำลง เมื่อไธรมะเหยหลุดออกไปกับกระแสแก๊สไนโตรเจนทำให้พื้นที่ผิวที่เคยดูดซับไธรมะเหยเฮกเซนไว้มีพื้นที่ว่างไธรมะเหยที่ไหลเข้ามาใหม่จึงถูกดูดติดสะสมไว้บนผิวของวัสดุดูดซับเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในส่วนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม ประสิทธิภาพเฉลี่ยของวัสดุดูดซับ 8 รูปแบบที่เวลาต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีต่ำที่สุดและค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงนาทีที่ 30 ประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยก็จะเริ่มคงที่ไปจนถึงนาทีที่ 60 โดยวัสดุดูดซับที่สามารถดูดซับ ไธรมะเหยเฮกเซนได้ดีที่สุดคือวัสดุดูดซับ S6 ปริมาณ 3 กรัม ในขณะที่วัสดุดูดซับ S2 และ S6 ปริมาณ 1 กรัมมีประสิทธิภาพในการดูดซับไธรมะเหยเฮกเซนได้ดีที่สุด ส่วนวัสดุดูดซับปริมาณ 5 กรัมมีประสิทธิภาพที่ไม่คงที่มีช่วงที่ประสิทธิภาพสูงและต่ำลงในทุกรูปแบบของวัสดุดูดซับ ดังภาพที่ 39-41



ภาพที่ 39 ประสิทธิภาพการดูดซับไธรมะเหยเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับS1-S8 ปริมาณ 1 กรัม



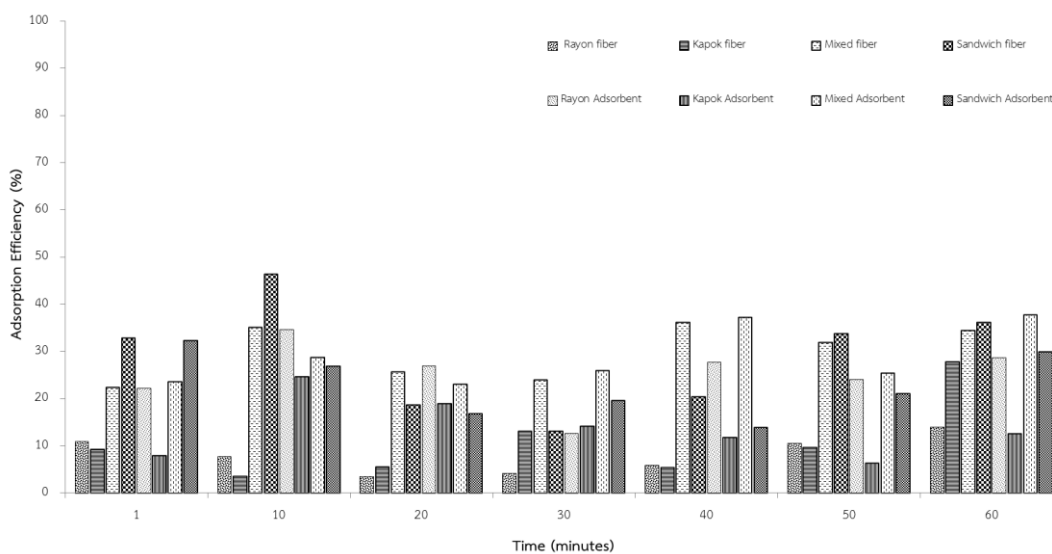
ภาพที่ 40 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับS1-S8 ปริมาณ 3 กรัม



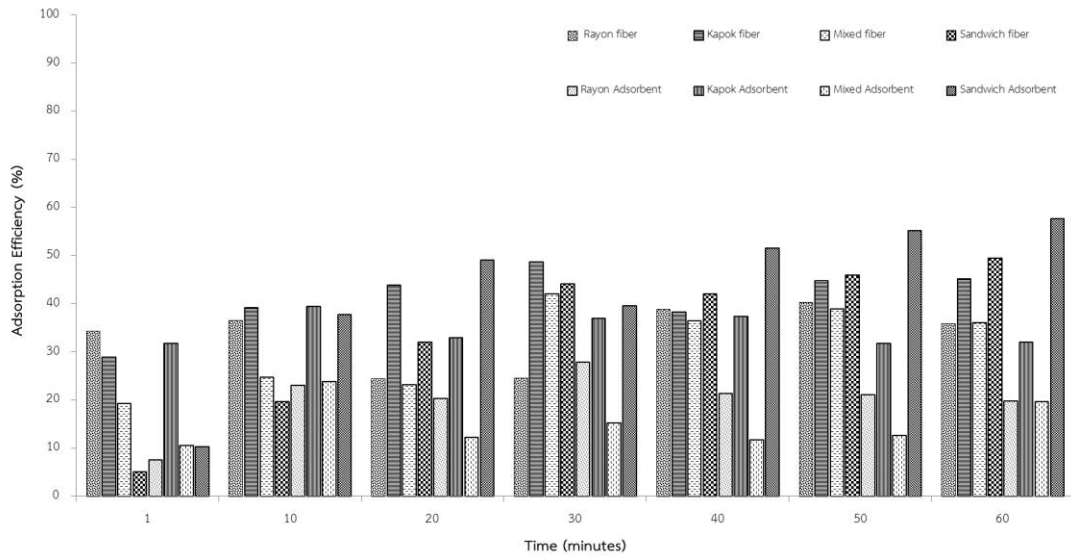
ภาพที่ 41 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 5 กรัม

4.4.2.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ

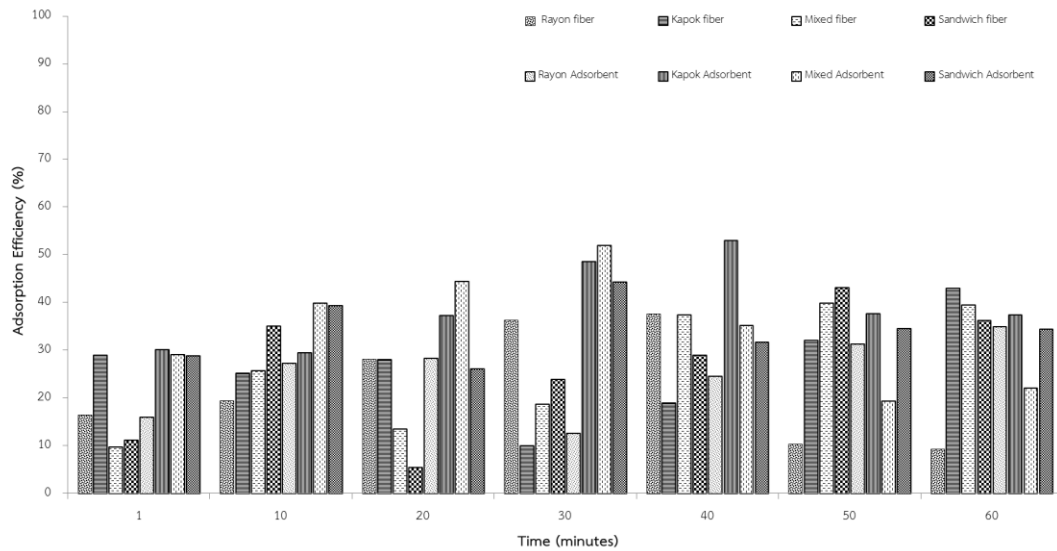
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม โดยตรวจวัดไอระเหยไซโคลเฮกเซนก่อนและหลังผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุดูดซับ S1-S8 เป็นเวลา 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยจะมีค่าต่ำสุดเมื่อไอระเหยไซโคลเฮกเซนผ่านคอลัมน์เป็นเวลา 1 นาทีและจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับแต่ละรูปแบบที่ปริมาณ 1 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับที่เวลา 1 - 60 นาที ของวัสดุดูดซับแต่ละรูปแบบไม่คงที่ โดยวัสดุดูดซับ S1-S8 มีประสิทธิภาพสูงในช่วงเวลา 10 นาทีแรก จากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงแล้วกลับมาสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วง 40-60 นาที เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับที่ละรูปแบบ ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าวัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพไม่คงที่ ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนด้วยวัสดุดูดซับปริมาณ 5 กรัม ดังภาพที่ 41 ซึ่งเกิดการดูดซับไอระเหยและคายไอระเหยที่ถูกดูดซับออกมากับกระแสแก๊สไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์ตลอดเวลาทำให้เกิดช่วงการเพิ่มขึ้นและลดลงของประสิทธิภาพการดูดซับ ในขณะที่วัสดุดูดซับ S4 และ S5 ปริมาณ 3 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับต่ำที่เวลา 1 นาที จากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับจะค่อยๆเพิ่มขึ้นและลดต่ำลงเล็กน้อยที่เวลาดูดซับ 30 นาที เพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 40-60 นาที ดังภาพที่ 42-44



ภาพที่ 42 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 กรัม



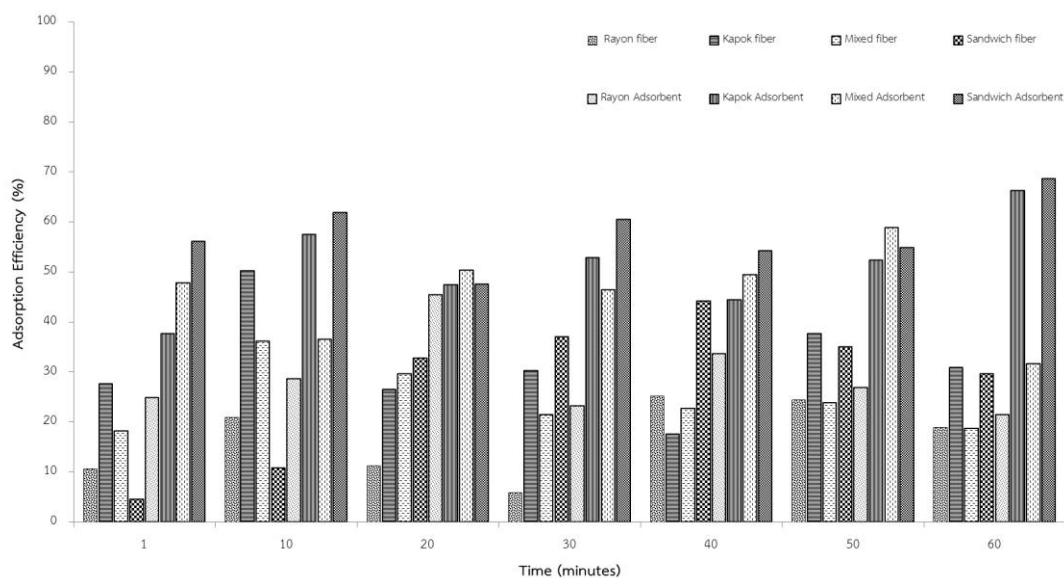
ภาพที่ 43 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม



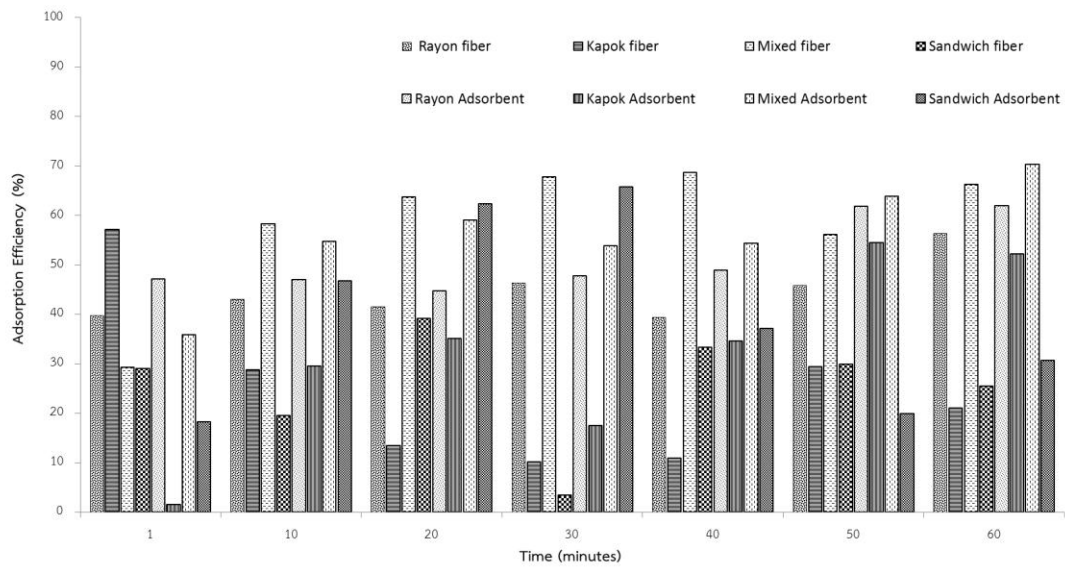
ภาพที่ 44 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 5 กรัม

4.4.2.3 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ

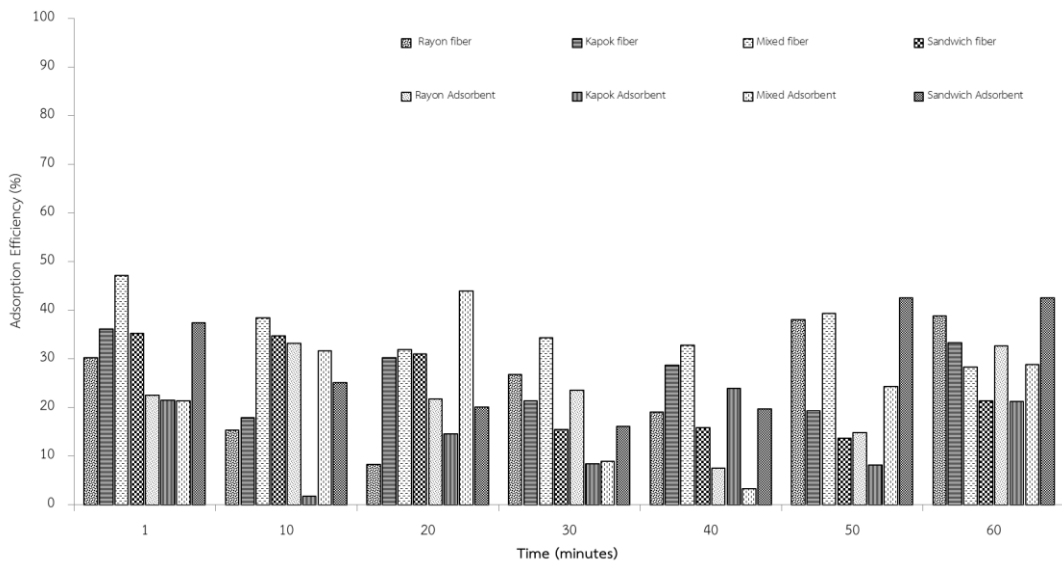
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 กรัม ที่เวลา 1-60 นาทีมีค่าใกล้เคียงกันโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นจาก 1 จนถึง 60 นาที ที่ปริมาณ 3 กรัมพบว่าประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับแต่ละแบบมีค่าไม่คงที่ ประสิทธิภาพบางช่วงเพิ่มขึ้นและบางช่วงต่ำลง เนื่องจากเกิดการดูดซับไว้ปริมาณมากและไอระเหยที่ถูกดูดซับหลุดปะปนออกมากับกระแสแก๊สไนโตรเจนเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณ 1 กรัม ที่ปริมาณวัสดุดูดซับ 5 กรัม พบว่าเส้นใยทุกรูปแบบมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงในช่วง 1 นาทีแรกและเริ่มลดลงที่นาทีที่ 10 ถึงนาทีที่ 40 จากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับก็จะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับที่ละแบบพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับทุกรูปแบบมีค่าไม่คงที่เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับปริมาณ 1 และ 3 กรัมดังภาพที่ 45-47



ภาพที่ 45 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 กรัม



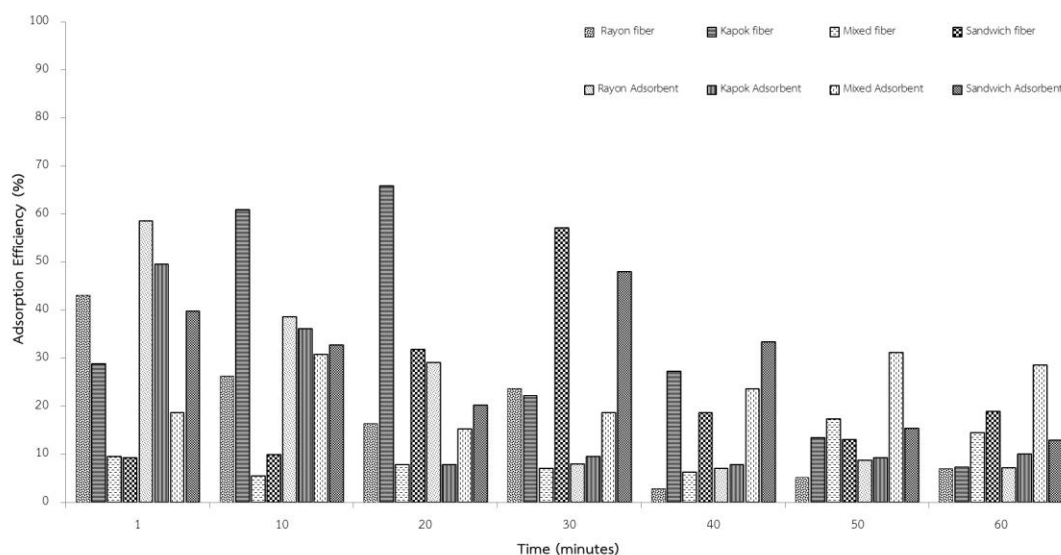
ภาพที่ 46 ประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเอทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม



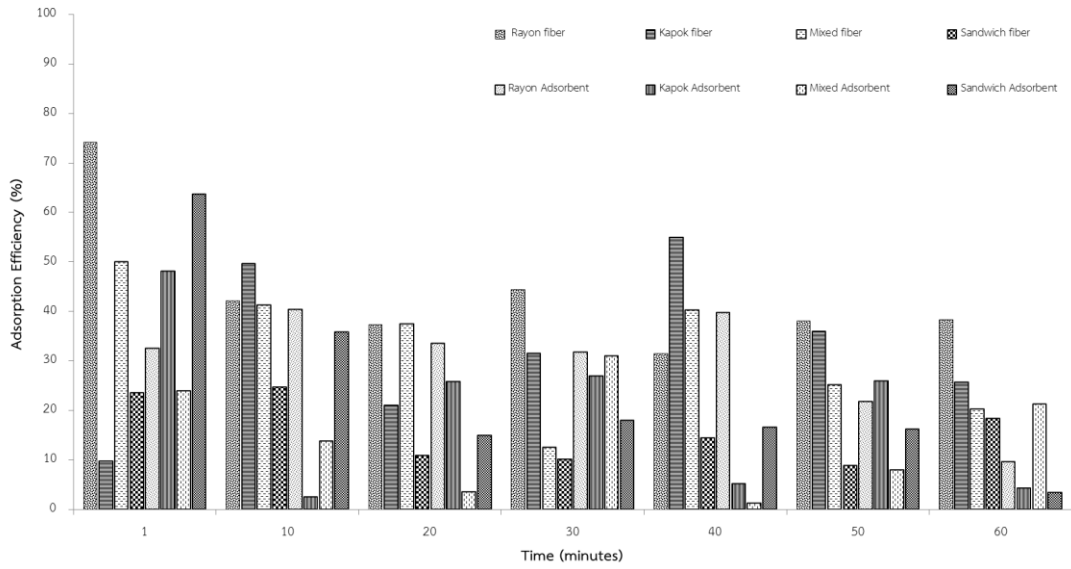
ภาพที่ 47 ประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเอทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 5 กรัม

4.4.2.4 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ที่เวลาต่างๆ

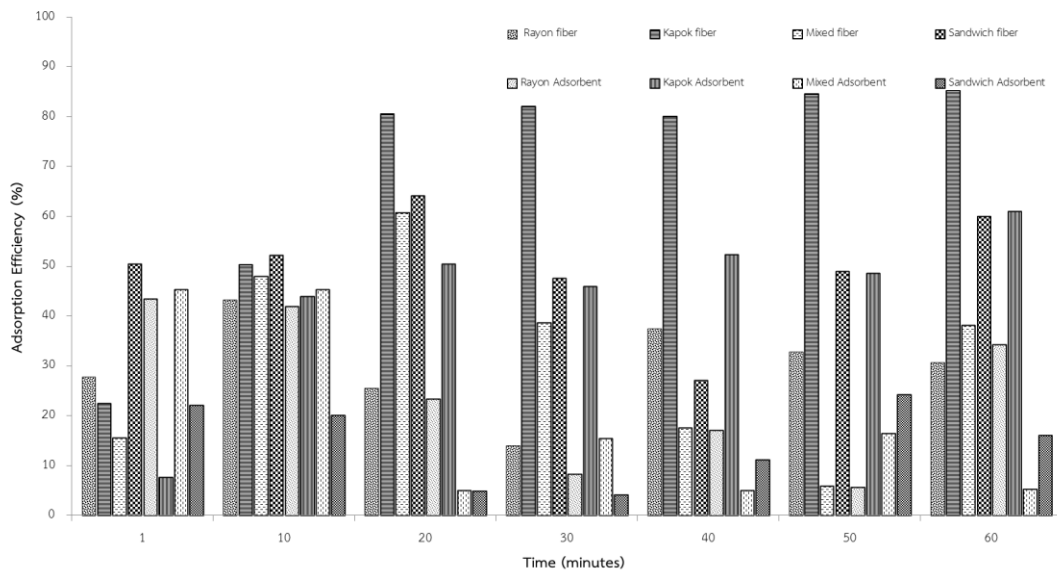
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณ 1 และ 3 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยสูงในช่วง 10 นาทีแรก จากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยจะเริ่มลดลงจากนาทีที่ 20 จนถึงนาทีที่ 60 ที่ปริมาณ 1 กรัมวัสดุดูดซับแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพการดูดซับไม่คงที่และมีค่าแตกต่างกันที่เวลาต่างๆ โดยพบว่าในช่วงที่ประสิทธิภาพสูงและประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับปริมาณ 3 กรัม ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับที่ 5 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับแต่ละรูปแบบมีค่าต่างกันมาก และมีลักษณะเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการดูดซับที่ 1 และ 3 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุดูดซับ S2 เป็นวัสดุดูดซับเพียงชนิดเดียวที่มีประสิทธิภาพคงที่โดยมีประสิทธิภาพต่ำช่วงนาทีแรก จากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้นและมีค่าคงที่ตั้งแต่นาทีที่ 30 จนถึงนาทีที่ 60 ดังภาพที่ 48-50



ภาพที่ 48 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 1 กรัม



ภาพที่ 49 ประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยบิวทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม



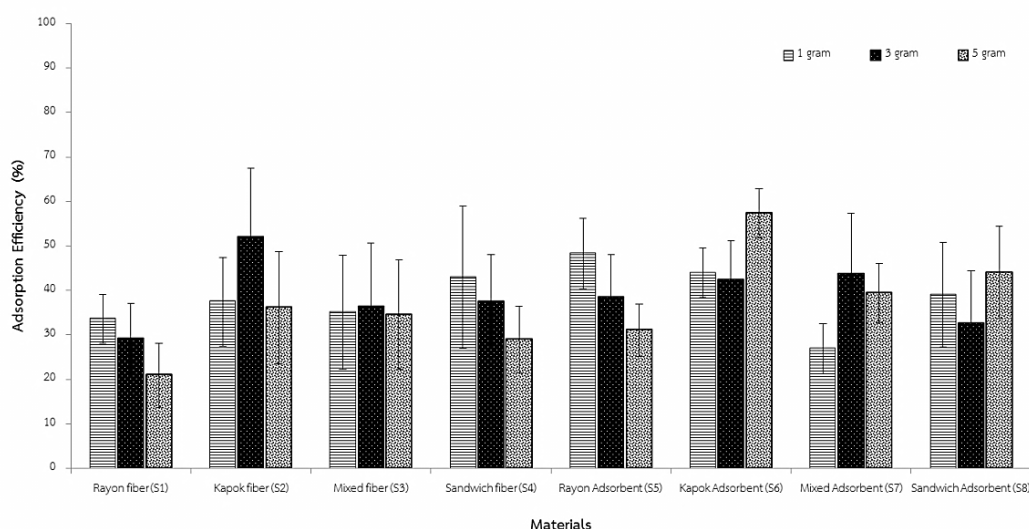
ภาพที่ 50 ประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยบิวทิล อะซิเตทที่เวลาต่างๆของวัสดุดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัม

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ด้วยวัสดุดูดซับปริมาณ 1 3 และ 5 กรัม ที่เวลา 1-60 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับแต่ละรูปแบบ (S1-S8) ที่เวลาต่างๆไม่คงที่และมีค่าแตกต่างกันมาก จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาค้นหาเฉลี่ยเพื่อใช้ในการสรุปหาปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับไอระเหยทั้ง 4 ชนิด

4.4.2.5 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของตัวกลางดูดซับปริมาณ

ต่างกัน

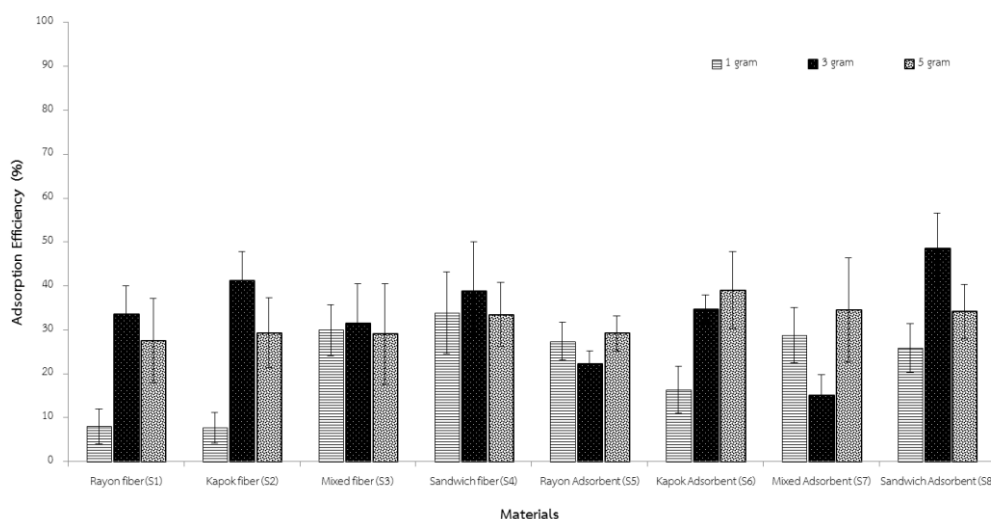
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของตัวกลางดูดซับ S1-S8 ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณตัวกลางดูดซับ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S2 ปริมาณ 3 กรัม และตัวกลางดูดซับ S6 ปริมาณ 5 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด 52 และ 57% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับที่น้ำหนัก 1 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ปริมาณ 1 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 32-42% ที่ 3 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 29-52% ที่ 5 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 21-36% และตัวกลางดูดซับ S5-S8 ปริมาณ 1 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 27-48% ที่ 3 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 32-44% ที่ 5 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 31-57% ตามลำดับ ดังภาพที่ 51 จากผลการทดลองและแนวโน้มของกราฟพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S1-S8 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยตัวกลางดูดซับที่เหมาะสมกับการดูดซับไอระเหยเฮกเซนคือ S2 ปริมาณ 3 กรัม และ S6 ปริมาณ 5 กรัม



ภาพที่ 51 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน

4.4.2.6 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของตัวกลางดูดซับปริมาณต่างกัน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของตัวกลางดูดซับ S1-S8 ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณตัวกลางดูดซับ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S2 และตัวกลางดูดซับ S8 ปริมาณ 3 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด 41% และ 48% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับที่น้ำหนัก 1 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ปริมาณ 1 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 8-34 % ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการดูดซับที่ปริมาณ 3 กรัมที่มีค่าอยู่ในช่วง 31-41% ที่ปริมาณ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 27-33% และตัวกลางดูดซับ S5-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 16-29% 15-48% และ 29-39% ตามลำดับ ดังภาพที่ 52 จากผลการทดลองพบว่าตัวกลางดูดซับ S2 และ S8 ปริมาณ 3 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดและมีค่าใกล้เคียงกัน จึงเหมาะสมสำหรับการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซน

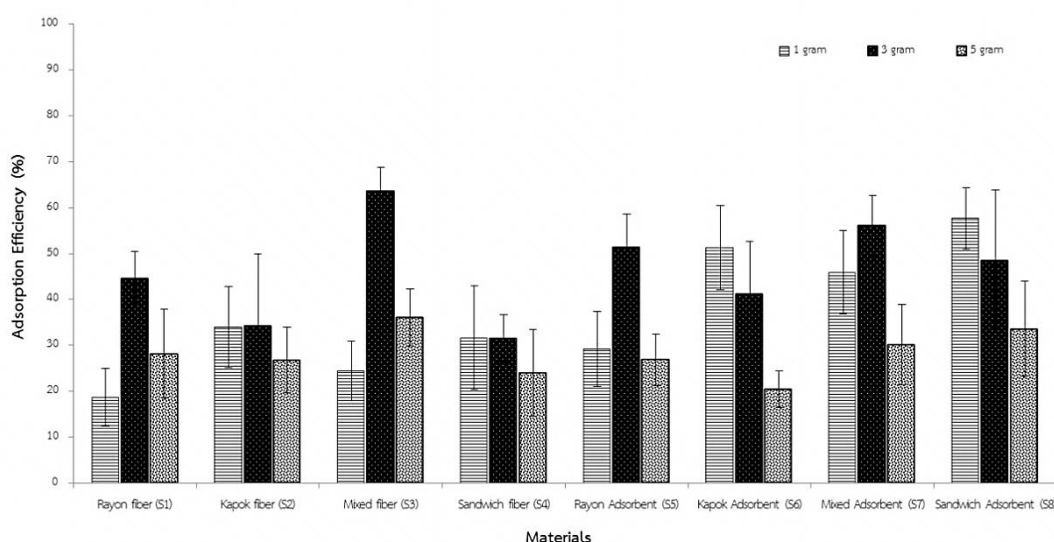


ภาพที่ 52 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน

4.4.2.7 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณต่างกัน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของตัวกลางดูดซับ S1-S8 ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณตัวกลางดูดซับ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S3 ปริมาณ 3 กรัมและ S8 ปริมาณ 1 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 63% และ 57% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับที่น้ำหนัก 1 3

และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ปริมาณ 1 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 19-34% ปริมาณ 3 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 31-62% ปริมาณ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 23-36% เมื่อพิจารณาตัวกลางดูดซับ S5-S8 พบว่าตัวกลางดูดซับปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 29-58% 41-56% และ 26-34% ดังภาพที่ 53 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าตัวกลางดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับโดยเฉลี่ยมากที่สุด โดยตัวกลางดูดซับ S3 และ S7 ปริมาณ 3 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดจึงเหมาะสมกับการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตท

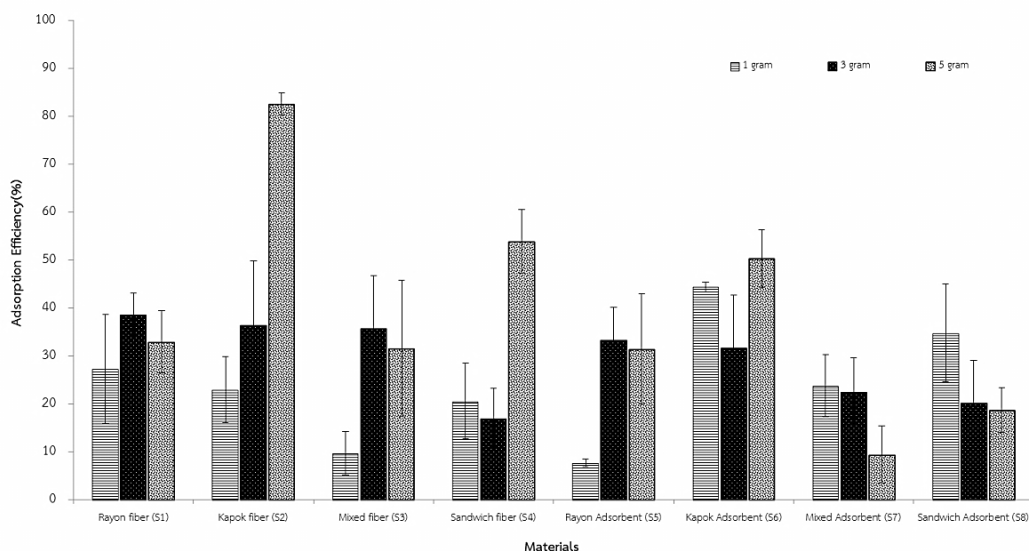


ภาพที่ 53 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน

4.4.2.8 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของวัสดุดูดซับปริมาณต่างกัน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของตัวกลางดูดซับ S1-S8 ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณตัวกลางดูดซับ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S2 และ S4 ปริมาณ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดมีค่า 83% และ 54% เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับที่น้ำหนัก 1 3 และ 5 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ปริมาณ 1 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 10-27% ปริมาณ 3 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 16-38% ปริมาณ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 31-83 % และตัวกลางดูดซับ S5-S8 ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับในช่วง 8-44% 20-33% และ 9-50% ดังภาพที่ 54 เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S1-S8 มีค่าไม่คงที่และแตกต่างกันมาก โดยประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยของตัวกลางดูดซับปริมาณ 5

กรัมมีค่ามากกว่าตัวกลางดูดซับที่ปริมาณ 3 กรัมและ 1 กรัม ดังนั้นตัวกลางดูดซับ S2 และ S4 ปริมาณ 5 กรัมจึงมีความเหมาะสมในการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตท



ภาพที่ 54 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทของตัวกลางดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S8 ปริมาณ 3 และ 5 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และสามารถดูดซับไอระเหยทั้ง 4 ชนิดได้ในระดับใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 21 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกตัวกลางดูดซับปริมาณ 3 กรัม มาใช้ในการทดลองที่ 5 และ 6 เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากงานวิจัยและยังคงมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี

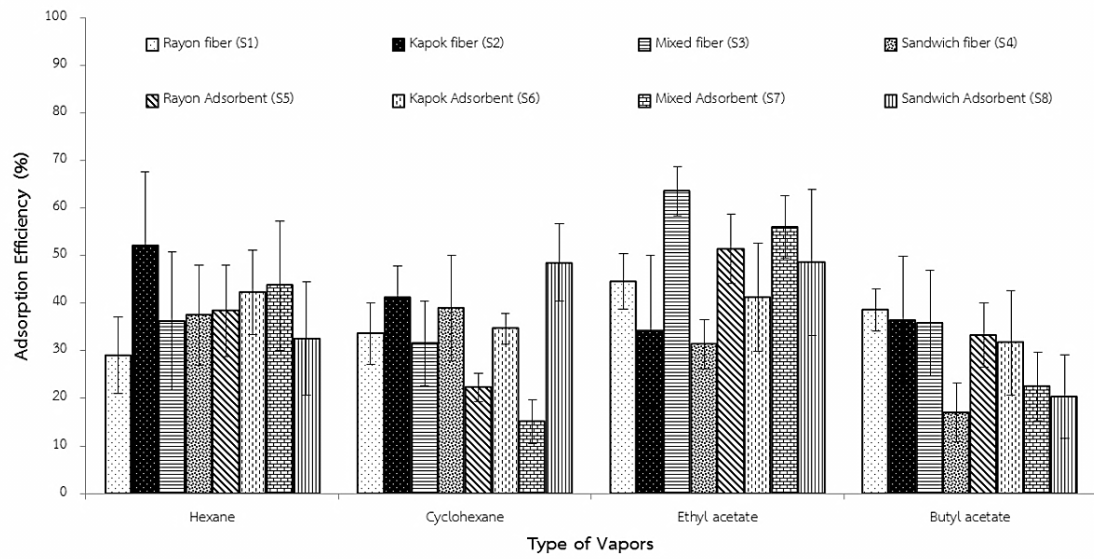
ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของตัวกลางดูดซับปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม

สารระเหย	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของตัวกลางดูดซับ S1-S4 (ร้อยละ)			ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของตัวกลางดูดซับ S5-S8 (ร้อยละ)		
	1 กรัม	3 กรัม	5 กรัม	1 กรัม	3 กรัม	5 กรัม
Hexane	33-42	29-52	21-36	27-48	32-44	31-57
Cyclohexane	8-34	31-41	27-33	16-29	15-48	29-39
Ethyl acetate	19-34	31-62	23-36	29-58	41-56	26-34
Butyl acetate	10-27	16-38	31-83	8-44	20-33	9-50

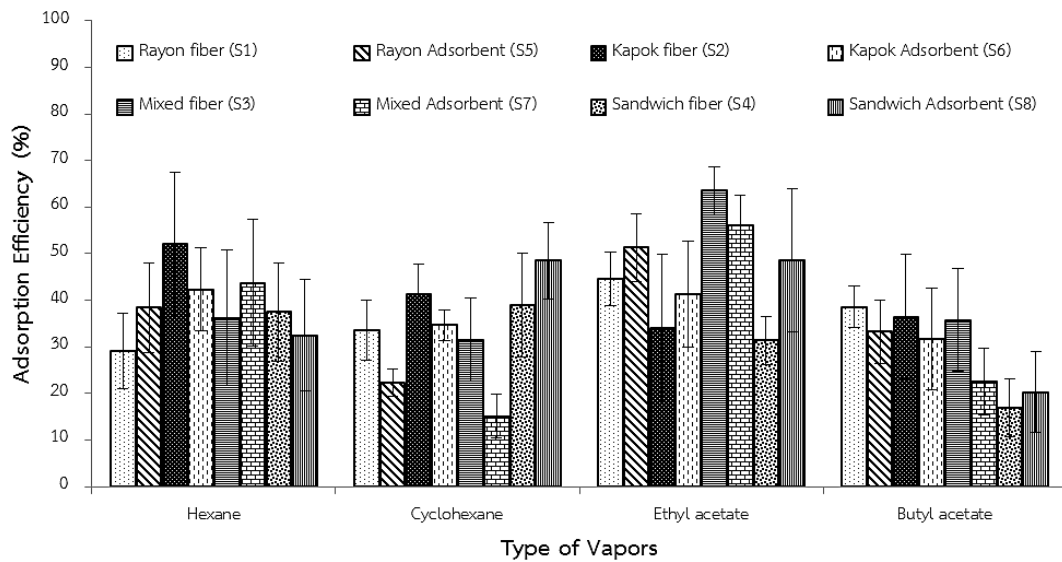
4.4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และ บิวทิล อะซิเตท

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตทด้วยตัวกลางดูดซับ 8 รูปแบบ (S1-S8) ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง และตัวกลางดูดซับปริมาณ 3 กรัม โดยพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดสามลำดับแรก พบว่าตัวกลางดูดซับ S2 S7 และ S6 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซน 52% 44% และ 42% ตัวกลางดูดซับ S8 S4 และ S2 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยไชโคลเฮกเซน 48% 41% และ 39% ตัวกลางดูดซับ S3 S7 และ S5 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเอทิล อะซิเตท 64% 56% และ 51% และตัวกลางดูดซับ S1 S2 และ S3 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยบิวทิล อะซิเตท 39% 36% และ 36% ตามลำดับ ดังภาพที่ 55 ซึ่งพบว่าตัวกลางดูดซับ S2 สามารถดูดซับไอรระเหยเฮกเซนและไชโคลเฮกเซนได้ดีเนื่องจาก เฮกเซนและไชโคลเฮกเซนเป็นสารไม่มีขั้วเช่นเดียวกับตัวกลางดูดซับ S2 (kapok fiber) ที่มีขั้วฝั้งเคลือบอยู่บริเวณผิวของเส้นใยทำให้เส้นใยนุ่มมีสมบัติไฮโดรโฟบิกที่มีความไม่ชอบน้ำและสามารถดูดซับสารไม่มีขั้วได้ดี ในขณะที่ตัวกลางดูดซับ S1 S3 S5 และ S7 สามารถดูดซับไอรระเหยเอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตทได้ดี เนื่องจากตัวกลางดูดซับดังกล่าวมีส่วนผสมของเส้นใยเรยอนซึ่งเป็นเส้นใยที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจึงมีสมบัติความมีขั้วและสามารถดูดซับสารมีขั้วได้ดี (Gericke และ Pol, 2010)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยระหว่างตัวกลางดูดซับ S1-S4 กับ S5-S8 ในการดูดซับไอรระเหย 4 ชนิด พบว่าตัวกลางดูดซับ S1 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซนและเอทิล อะซิเตท น้อยกว่า S5 ประมาณ 7-10% และมีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยไชโคล เฮกเซนและบิวทิล อะซิเตท มากกว่า S5 ประมาณ 5-11% เมื่อพิจารณาตัวกลางดูดซับ S2 กับ S6 พบว่าตัวกลางดูดซับ S2 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน และบิวทิล อะซิเตทมากกว่า S6 ประมาณ 5-10% สำหรับตัวกลาง S3 กับ S7 พบว่า S3 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท มากกว่า S7 ประมาณ 7-16% และตัวกลางดูดซับ S4 มีประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท น้อยกว่า S8 ประมาณ 3-17% เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมพบว่าตัวกลางดูดซับ S5-S8 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกรดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยต่ำกว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ซึ่งอาจมีสาเหตุจากลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของตัวกลางดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน มีกระจายตัวต่ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางดูดซับ S5-S8 ให้มีค่าต่ำกว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่ไม่ได้ผ่านการขึ้นรูป ดังภาพที่ 56 และตารางที่ 22



ภาพที่ 55 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไฮโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของตัวกลางดูดซับ S1-S8



ภาพที่ 56 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไฮโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของตัวกลางดูดซับ S1-S4 เทียบกับ S5-S8

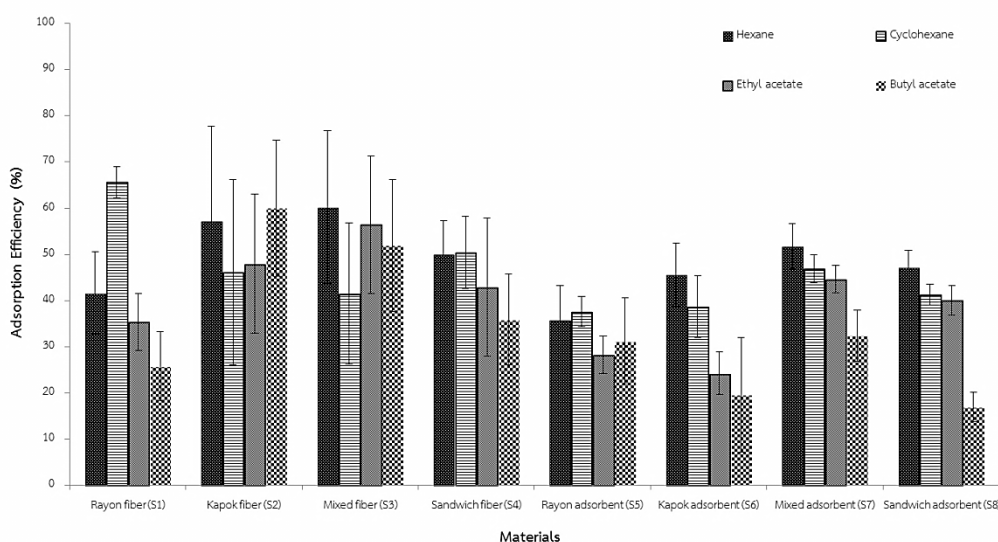
ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และ บิวทิล อะซิเตท ของตัวกลางดูดซับ S1-S8

Adsorbents	Adsorption Efficiency (%)			
	Hexane	Cyclohexane	Ethyl acetate	Butyl acetate
Rayon fiber (S1)	29.0 ± 8.1	33.6 ± 6.5	44.6 ± 5.8	38.6 ± 4.5
Kapok fiber (S2)	52.0 ± 15.5	41.3 ± 6.5	34.1 ± 15.8	36.4 ± 13.4
Mixed fiber (S3)	36.3 ± 14.4	31.6 ± 8.9	63.5 ± 5.2	35.8 ± 11.1
Sandwich fiber (S4)	37.5 ± 10.6	38.9 ± 11.1	31.4 ± 5.2	16.9 ± 6.2
Rayon Adsorbent (S5)	38.4 ± 9.6	22.2 ± 2.9	51.3 ± 7.3	33.3 ± 6.8
Kapok Adsorbent (S6)	42.3 ± 8.9	34.6 ± 3.2	41.2 ± 11.4	31.7 ± 10.9
Mixed Adsorbent (S7)	43.7 ± 13.6	15.1 ± 4.6	56.0 ± 6.6	22.5 ± 7.2
Sandwich Adsorbent (S8)	32.5 ± 11.9	48.5 ± 8.1	48.5 ± 15.3	20.3 ± 8.8

4.5 ศึกษาสมบัติทางเคมีของสารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย

ผลศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย 4 ชนิดซึ่งเป็นสารผสมโดยนำเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท อย่างละ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในภาชนะปิดปริมาตร 60 มิลลิลิตร ตั้งไว้ 3-5 ชั่วโมงเพื่อให้สารเข้าสู่สมดุล นำขวดสารผสมต่อเข้ากับชุดการทดลอง ดำเนินการทดลองโดยใช้อัตราการไหลของแก๊ส 2 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวกลางดูดซับ S1-S8 ปริมาณตัวกลางดูดซับ 3 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 มีประสิทธิภาพดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไโซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท มากกว่าตัวกลางดูดซับ S5-S8 เนื่องจากตัวกลางดูดซับ S1-S4 มีลักษณะฟูและมีน้ำหนักเบา ในขณะที่ตัวกลางดูดซับ S5-S8 ที่ผ่านการขึ้นรูปมีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นใย แม้มีการกระจายตัวแต่ก็ยังคงลักษณะของการเกาะกลุ่ม ลักษณะดังกล่าวทำให้ตัวกลางดูดซับ S5-S8 มีน้ำหนักมากกว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่ไม่ได้ผ่านการขึ้นรูป เมื่อนำมาใช้เป็นตัวกลางดูดซับโดยชั่งน้ำหนักตัวกลางในปริมาณ 1 กรัม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่ไม่ได้ผ่านการขึ้นรูปมีปริมาณมากกว่าเมื่อบรรจุในคอลัมน์ความหนาแน่นของคอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางดูดซับ S1-S4 จึงมากกว่าความหนาแน่นใน

คอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางดูดซับ S5-S8 ส่งผลให้คอลัมน์ที่บรรจุตัวกลาง S1-S4 สามารถดูดซับไอรระเหยได้มากกว่าคอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางดูดซับ S5-S8 โดยประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหย 4 ชนิดของตัวกลางดูดซับ S1-S4 และ S5-S8 ดังตารางที่ 23 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซนโดยรวม พบว่าตัวกลางดูดซับ S1-S8 มีประสิทธิภาพการดูดซับเฮกเซน 35-60% ไชโคลเฮกเซน 38-77% เอทิล อะซิเตท 28-58% และบิวทิล อะซิเตท 15-60% พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยเฮกเซนและไชโคลเฮกเซนมีค่าสูงกว่าเอทิล อะซิเตทและบิวทิล อะซิเตท เนื่องจากเฮกเซนและไชโคลเฮกเซนมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าเอทิล อะซิเตทและบิวทิล อะซิเตท โครงสร้างเป็นโซ่ตรงสายสั้นและเป็นไซคลิกที่ไม่มีหมู่เกาะ มีค่าความดันไอต่ำจึงทำให้เฮกเซนและไชโคลเฮกเซนระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่าเอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท โดยตัวกลางดูดซับ S2 และS3 สามารถดูดซับไอรระเหยเฮกเซนได้ดีที่สุด และตัวกลางดูดซับ S1 สามารถดูดซับไอรระเหยไชโคลเฮกเซนได้ดีที่สุด ส่วนเอทิล อะซิเตทมีมวลโมเลกุลและค่าความดันไอสูงกว่า เฮกเซนและไชโคลเฮกเซนจึงระเหยยากกว่าและมีประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยเป็นอันดับ 3 โดยตัวกลางดูดซับ S3 และ S2 มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิล อะซิเตทมากที่สุด และบิวทิล อะซิเตทเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลมากที่สุดในสารระเหยทั้ง 4 ชนิดและมีค่าความดันไอสูง จึงทำให้ระเหยได้ยากที่สุด ประสิทธิภาพการดูดซับจึงมีค่าต่ำที่สุด โดยตัวกลางดูดซับ S2 มีประสิทธิภาพการดูดซับบิวทิล อะซิเตทสูงที่สุด ดังภาพที่ 57



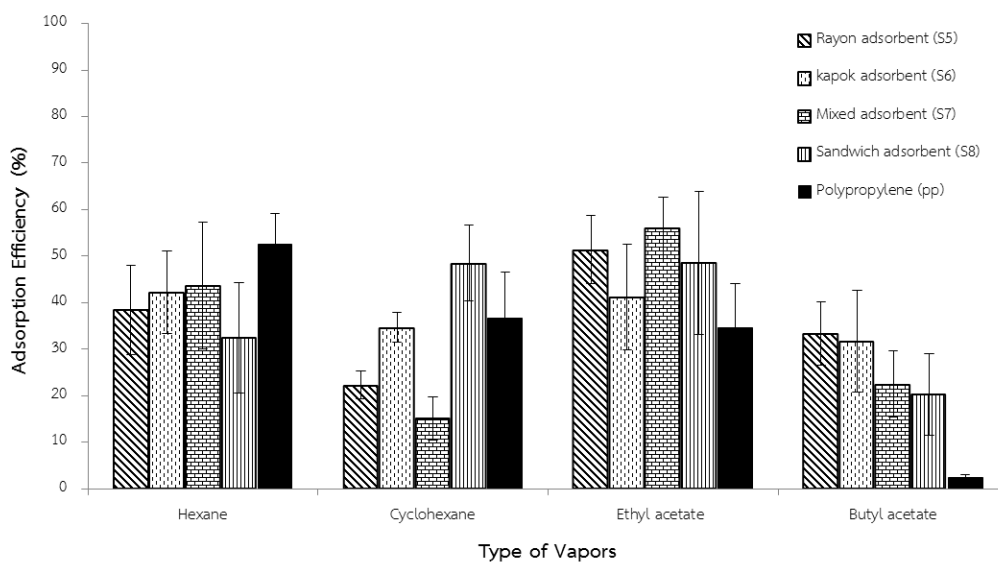
ภาพที่ 57 ประสิทธิภาพการดูดซับไอรระเหยผสมของตัวกลางดูดซับ S1-S8

ตารางที่ 23 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยผสมของตัวกลางดูดซับ S1-S8

สารระเหย	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของตัวกลางดูดซับ S1-S4 (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของตัวกลางดูดซับ S5-S8 (ร้อยละ)
Hexane	42-60%	36-47%
Cyclohexane	42-66%	38-47%
Ethyl acetate	35-56%	24-45%
Butyl acetate	26-60%	17-32%

4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของวัสดุทางการค้ากับวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท บิวทิล อะซิเตทด้วยวัสดุดูดซับทางการค้า โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 4 จากภาพที่ 58 พบว่า วัสดุดูดซับโพลีโพรพิลีนและตัวกลางดูดซับ S6 มีประสิทธิภาพการดูดซับเฮกเซนสูงสุด 52% และ 42% ตามลำดับ เนื่องจากโพลีโพรพิลีนและตัวกลางดูดซับ S6 เป็นเส้นใยที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับไอระเหยเฮกเซนที่เป็นสารไม่มีขั้ว จึงทำให้สามารถดูดซับได้ดี ในขณะที่ตัวกลางดูดซับ S8 มีประสิทธิภาพการดูดซับ ไอระเหยไซโคลเฮกเซนสูงสุด 49% และตัวกลางดูดซับ S5 มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิล อะซิเตทและบิวทิลอะซิเตทมากที่สุด 51% และ 33% ตามลำดับ เนื่องจากตัวกลางดูดซับ S5 เป็นวัสดุดูดซับที่มีขั้วจึงสามารถดูดซับสารระเหยที่มีขั้วได้ดี จากผลการทดลองจะเห็นว่าโพลีโพรพิลีนมีประสิทธิภาพการดูดซับแปรผันตรงกับความมีขั้วของไอระเหย โดยประสิทธิภาพการดูดซับจะต่ำลงเมื่อดูดซับไอระเหยที่มีขั้วมากขึ้น ในขณะที่ตัวกลางดูดซับ S5-S8 ที่เตรียมขึ้นยังคงมีประสิทธิภาพการดูดซับบิวทิล อะซิเตทที่ใกล้เคียงกับไอระเหยชนิดอื่นโดยประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ย ดังตารางที่ 24



ภาพที่ 58 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยของตัวกลางดูดซับ S5-S8 กับวัสดุดูดซับทางการค้า

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และ บิวทิล อะซิเตท ของวัสดุทางการค้าและตัวกลางดูดซับ S5-S8 (%)

Adsorbents	Adsorption Efficiency (%)			
	Hexane	Cyclohexane	Ethyl acetate	Butyl acetate
Rayon adsorbent (S5)	38.4 ± 9.6	22.3 ± 2.9	51.4 ± 7.3	33.3 ± 6.8
kapok adsorbent (S6)	42.3 ± 8.9	34.66 ± 3.2	41.2 ± 11.4	31.7 ± 10.9
Mixed adsorbent (S7)	43.7 ± 13.6	15.1 ± 4.6	56.0 ± 6.6	22.5 ± 7.2
Sandwich adsorbent (S8)	32.5 ± 11.9	48.5 ± 8.1	48.6 ± 15.3	20.3 ± 8.8
Polypropylene (PP)	52.7 ± 6.5	36.6 ± 9.9	34.7 ± 9.3	2.4 ± 0.6

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการเตรียมวัสดุดูดซับจากของเสียอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยเรยอน ได้แก่ เส้นใยเรยอน และเกลือโซเดียมซัลเฟตกับเส้นใยุ่นด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมและวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยชนิดต่างๆ ได้แก่ เฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และ บิวทิล อะซิเตท ภายในคอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางดูดซับรูปแบบต่างๆ ศึกษาปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการไหลของแก๊ส และปริมาณตัวกลางดูดซับ ศึกษาปัจจัยทางเคมี ได้แก่ มวลโมเลกุล ความมีขี้/ไม่มีขี้ ลักษณะโครงสร้าง และค่าความดันไอของสารทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อการดูดซับ รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไอระเหยระหว่างวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นกับวัสดุดูดซับทางการค้า โพลีโพรไพลีน

5.1.1 จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวกลางดูดซับ S5-S8 ระหว่างเส้นใยเรยอนและุ่นในอัตราส่วน 1:0 0:1 และ 1:1 (15 กรัม: 15 กรัม) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวกลางดูดซับ S5-S8 คือเตรียมด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10% และเกลือโซเดียมซัลเฟต 50 กรัม

5.1.2 จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกลางดูดซับที่เตรียมขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด พบว่า พื้นผิวของตัวกลางดูดซับ S1-S4 ที่ไม่ได้ผ่านการขึ้นรูปและตัวกลางดูดซับ S5-S8 ที่ผ่านการขึ้นรูปแตกต่างกันเล็กน้อย และเมื่อผ่านการขึ้นรูปซึ่งมีเคลือบบริเวณผิวของเส้นใยมีค่าลดลงทำให้วัสดุดูดซับมีสมบัติชอบน้ำมากขึ้น

5.1.3 จากการศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับระบบดูดซับ พบว่าอัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวกลางดูดซับปริมาณ 3 กรัม เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวกลางดูดซับที่บรรจุในคอลัมน์รูปแบบต่างๆมีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสูงสุด

5.1.4 จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และ บิวทิล อะซิเตท โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าตัวกลางดูดซับ S2 S8 S3 และ S1 (เส้นใยุ่น วัสดุดูดซับแบบสลับ เส้นใยผสมและเส้นใยเรยอน) มีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ได้สูงสุดตามลำดับ

5.1.5 จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยผสมโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมพบว่าตัวกลางดูดซับ S3 มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเฮกเซนและเอทิล อะซิเตทได้สูงสุด ตัวกลาง

ดูดซับ S2 มีประสิทธิภาพในการดูดซับบิวทิล อะซิเตทได้สูงสุด และตัวกลางดูดซับ S1 มีประสิทธิภาพการดูดซับไซโคลเฮกเซนสูงสุด

5.1.6 จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ด้วยวัสดุดูดซับโพลีโพรพิลีน พบว่าวัสดุดูดซับโพลีโพรพิลีนมีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนและไอระเหยไซโคลเฮกเซนสูงกว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของโพลีโพรพิลีนแปรผันตรงกับความมีขั้วของไอระเหยทำให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น (S5-S8)

5.2 ข้อดีข้อเสีย และการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้เป็นการนำของเสียจากอุตสาหกรรมกลับมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์และวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นสามารถดูดซับไอระเหยชนิดต่างๆได้ระดับหนึ่งและใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับทางการค้า ดังนั้นการฟื้นฟูวัสดุดูดซับเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำอาจไม่คุ้มค่า และต้องนำวัสดุดูดซับที่ผ่านการดูดซับแล้วไปกำจัดอย่างถูกวิธี ซึ่งเป็นการทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย

ซึ่งจากการทำวิจัยพบว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นอาจต้องมีการค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมในเรื่องการเตรียมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ เพื่อให้สามารถดูดซับแก๊สได้ดียิ่งขึ้นและอาจหาวัสดุใหม่ๆที่สามารถดูดซับแก๊สได้หลากหลาย และหาวิธีการขึ้นรูปวัสดุดูดซับให้เหมาะสมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งมีความเข้มข้นสารระเหยน้อยกว่า 500 ส่วนในล้านส่วน แต่วัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นแผ่นกรองที่บรรจุใส่หน้ากากดูดซับสารอินทรีย์ระเหย เนื่องจากในระหว่างการเตรียมต้องผ่านสารเคมีในหลายขั้นตอนซึ่งอาจเป็นอันตรายกับร่างกายได้

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.3.1 เปลี่ยนชนิดเส้นใยโดยเลือกเส้นใยที่มีความแข็งแรงกว่าเส้นใยนุ่มและมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกมาผสมกับเส้นใยเรยอน เพื่อใช้เตรียมวัสดุดูดซับให้มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น และอาจเตรียมวัสดุดูดซับขึ้นหลายๆอัตราส่วน เพื่อให้มีความหลากหลายในการดูดซับสารระเหยต่างๆมากขึ้น

5.2.2 ลดความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกเพื่อให้ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดูดซับไม่เสียหายมากนักและยังคงมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยได้เป็นอย่างดี

5.2.3 พัฒนาการขึ้นรูปวัสดุดูดซับให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีขึ้น และอาจนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อดูดซับไอระเหยที่มีความเข้มข้นต่ำ เพื่อลดปัญหามลพิษอากาศและนำไอระเหยดังกล่าวกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต

รายการอ้างอิง

- Chaowalit, S., Panadda, K., Darathip, P., Supawan, T. and Sutha, K. 2013. Effect of the composition and the preparation methods on oil sorption capacity of recycled rayon waste-kapok mixtures (PRWK) sorbent. International Journal of environmental science and development 4: 246-250.
- Corbman, B. P. 1975. Fiber to Fabric. The Murray Printing Company, United states of America.
- Das, D., Gaur, V. and Verma, N. 2004. Removal of volatile organic compound by activated carbon fiber. Carbon 42: 2942-2962.
- Durust, N. and Meyerhoff, M. E. 2001. Determination of pentosan polysulfate and its binding to polycationic species using polyion-sensitive membrane electrodes. Analytica chemica acta 432: 253-260.
- Gericke, A. and Pol, J.V.D. 2010. A comparative study of regenerated bamboo, cotton and viscose rayon fabrics. Part 1 : selected comfort properties. Journal of Family Ecology and Consumer Science. 38 :63-73.
- Gurudatt, K. and Tripathi, V. S. 1998. Studies on change in morphology during carbonization and activation of pretreated viscoserayon fabrics. Carbon 36: 1371-1377.
- Hori, K., Flavier, M. E., Kuga, Shigenori., Lam, T. B. T. and Liyama, K. 2000. Excellent oil absorbent kapok [Ceiba pentandra (L.) Gaertn.] fiber: fiber structure, chemical characteristics, and application. The Japan Wood Research Society 46: 401-404.
- Huang, X. and Lim, T. T. 2006. Performance and mechanism of a hydrophobic-oleophilic kapok filter for oil/water separation. Desalination 190: 295-307.
- Hall, A. J. 1975. The standard handbook of textile. Newnes-Butterworths, London.

- Kadoph, S. J. 2007. Textiles. Courier, United States of America.
- Khan, F. I. and Ghoshal, A. Kr. 2000. Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air. Journal of Loss Prevention in the process industries 13: 527-545
- Kapich, A.N., Korneichik, T. V., Hatakka, A. and Hammel, K. E. 2010. Oxidizability of unsaturated fatty acids and of a non-phenolic lignin structure in the manganese peroxidase-dependent lipid peroxidation system. Enzyme and Microbial Technology 46: 136-140.
- Lee, M. G., Lee, S. W. and Lee, S. H. 2006. Comparison of vapor adsorption characteristic of acetone and toluene based on polarity in activated carbon fixed-bed reactor. Chem Eng 23: 773-778.
- Lee, S. W., Cheon, J. K., Park, H. J. and Lee, M. G. 2008. Adsorption characteristics of binary vapors among acetone, MEK, benzene, and toluene. Chem Eng 25: 1154-1159.
- Likon, M., Remskar, M., Ducman, V. and Svegl, Franc. 2012. Populus seed fibers as a natural source for production of oil super absorbents. Journal of Environmental Management 114: 158-167.
- Lin, C. L., Cheng, Y. H., Liu, Z. S. and Chen, J. Y. 2012. Adsorption and oxidation of high concentration toluene with activated carbon fibers. Journal of Porous Material [Online]. Available fro <http://link.springer.com/article/10.1007/s10934-012-9665-z> [2013, July 20]
- Lim, T. T. and Huang, X. 2007. Evaluation of hydrophobicity/oleophilicity of kapok and its performance in oily water filtration: comparison of raw and solvent-treated fibers. Industrial crops and products 26: 125-134.
- Noll, K. E., Gounaris, V. and Hou, W. S. 1992. Adsorption Technology. Lewis, United States of America.
- Rafson, H. J. 1998. Odor and VOC control handbook. R.R. Donnelley & Sons, United States of America.

- Reynolds, T. D. and Richards, P. A. 1996. Unit operations and process in environmental engineering. Cengage Learning, United States of America.
- Robert, B., Devlin, William F., McDonnell, Richard Mann, Becker, S., Dennis E., House, Schreinemachers, D. and Koren, H. S. 1991. Exposure of Humans to Ambient Levels of Ozone for 6.6 Hours Causes Cellular and Biochemical Changes in the Lung", American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology. 4: 72-81.
- Sarkhosh, M. Mahvi, A.H. Zare, M.R. Fakhri, Y. and Shamsolahi, H.R. 2012. Indoor contaminants from hardcopy devices: characteristics of voc in photocopy centers. Atmospheric Environment 63: 307-312
- Schnelle, K. B. and Brown, C. A. 2000. Air pollution control technology handbook. CRC Press LLC, United States of America.
- Standeker, S., Novak, Z. and Knez., Z 2009. Removal of BTEX vapours from waste gas streams using silica aerogels of different hydrophobicity. Hazardous Materials 165: 1114-1118.
- Sun, F.X., Sun, R.C. and Sun, J.X. 2002, Acetylation of Rice Straw with or without Catalysts and its Characterization as a Natural Sorbent in Oil Spill Cleanup. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 6428-6433.
- Tejeda, A., Ortega, J., Magna, I. and Guzman, R. 1999. Optimal design of affinity membrane chromatographic columns. Journal of Chromatography A 830: 293-300.
- U.S. Department of health and human services. 1978. Occupational Health Guideline for Ethyl Acetate. [Online]. Available from: www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0260.pdf [2013, June 25]
- Velasco, R. A. 2005. German Wool Fabric and Manufacturing of World War Two. [Online]. แหล่งที่มา: <http://lostbattalions.com/Resources/RayonArticle.html>. [2013, July 5]

- Wang, J., Zheng, Y. and Wang, A. 2012. Effect of kapok fiber treated with various solvents on oil absorbency. Industrial crops and products 40: 178-184.
- Wisniewska, S.K., Nalaskowski, J., Witka-Jezewska, E., Hupka, J. and Miller, J.D. 2003. Surface properties of barley straw. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 29: 131-142.
- Yang, R.T. 1987. Gas separation by adsorption processes. Butterworth Publishers, United States of America.
- Yuso, A. M. D., Lzquierdo, M. T., Valenciano, R. and Rubio, B. 2013. Toluene and n-hexane adsorption and recovery behavior on activated carbons derived from almond shell wastes. Fuel Processing Technology 110: 1-7.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. [ออนไลน์]. 2538. แหล่งที่มา: <http://www.fda.moph.go.th/psiond/moit.htm> [2556 กรกฎาคม 1]
- ควบคุมมลพิษ. กรม. ระบบดูดซับ. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/l4adsorption.htm. [2556, มิถุนายน 24]
- จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. อุปกรณ์ควบคุมมลพิษชนิดก๊าซและไอ. [ออนไลน์]. 2552 แหล่งที่มา: www.stou.ac.th/Schools/sh [2556, กรกฎาคม 1]
- ดาราธิป เพ็ชรพรหม. 2555. การดูดซับบีทีเอจากนุ่นและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัทไทยเรยอน จำกัด (มหาชน). การผลิตเส้นใยเรยอน. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: www.thairayon.com [2556, มิถุนายน 24]
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณิชย์. ถ่านปลุกฤทธิ. [ออนไลน์]. 2004. แหล่งที่มา: http://www.neutron.rmut-physics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=1606 [2556, มิถุนายน 25]
- ปนัดดา คงศรีเจริญ. 2555. การพัฒนาวัสดุดูดซับน้ำมันจากเส้นใยนุ่นและของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- แม่น้ำ อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2534. Principles and techniques of instrumental analysis. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ชวนพิมพ์.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2550. ตำร่าบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2542. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ปรีชา แสงธีระปิติกุล นฤมล ศรีวิฑูรย์ และทศพล ประเสริฐเดชาโต. 2547. การผลิตเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจากวัสดุเหลือใช้เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับและ/หรือตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. เอทิล อะซิเตท. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=135> [2556, มิถุนายน 24]
- สุภาภรณ์ มั่นไทรทอง. 2541. การดูดซับไอของโทลูอินและไซลีนบนถ่านกัมมันต์ซึ่งเตรียมจากซังข้าวโพดโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, กรม. คู่มือสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา: www.env.anamai.moph.go.th/ewt_dl_link.php?nid=362 [2556, มิถุนายน 22]
- สุวิทย์ วงศ์จิราวาณิชย์. “นุ่น” วัสดุธรรมชาติและเส้นทางการขึ้นชีพสู่ตลาดร่วมสมัย. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา: <http://www.tcdcconnect.com/content/Know-What/4952-Kapok-Fiber-Ratchaburi>. [2556, กรกฎาคม 2]



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์ความหนืดของของเหลวหนืดวิสโคส

Viscosity of viscose liquid

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

- 1.1 อุปกรณ์วัดความหนืด (Viscose meter type cannon fenske)
- 1.2 จุกยาง
- 1.3 นาฬิกาจับเวลา
- 1.4 เข็มฉีดยาปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร
- 1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. วิธีการทดลอง

- 2.1 นำของเหลวหนืดวิสโคสใส่ลงในอุปกรณ์วัดความหนืด
- 2.2 นำอุปกรณ์วัดความหนืดไปติดตั้งในอุปกรณ์ที่มีน้ำบรรจุอยู่ภายในโดยให้ระดับน้ำอยู่เหนือขีดบอกระดับบนอุปกรณ์วัดความหนืด
- 2.3 นำจุกยางอุดของเหลวหนืดขึ้นด้านบนให้เหนือขีดบอกระดับ กดนาฬิกาจับเวลาทันทีที่ของเหลวหนืดวิสโคสไหลลงมาพอดีกับขีดบอกระดับ จับเวลาไปจนกว่าของเหลวหนืดวิสโคสจะไหลผ่านขีดบอกระดับด้านล่าง
- 2.4 ทำซ้ำจำนวน 3 ครั้งแล้วนำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนืด

3. วิธีการคำนวณ

ครั้งที่	เวลา (นาท)	เวลา (วินาที)
1	23.24	1394.4
2	23.13	1387.8
3	23.20	1392
Average	23.22	1391.4

ค่า K ของอุปกรณ์วัดความหนืด = 0.01606 cst/sec

$$\begin{aligned} \text{ความหนืด} &= \text{เวลา (วินาที)} \times K \\ &= 1391.4 \text{ sec} \times 0.01606 \text{ cst/sec} \\ &= 22.34 \text{ cst} \end{aligned}$$

หาความหนาแน่นของของเหลวหนืดวิสโคสจาก

$$\begin{aligned} d &= m/v \\ &= 0.2639 \text{ g} / 0.25 \text{ ml} \\ &= 1.0556 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

หาค่าความหนืดในหน่วยเซนติพ้อยส์จาก

$$\begin{aligned} \text{ความหนืด (csp)} &= \text{ความหนืด (cst)} \times \text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} \\ &= 22.34 \text{ cst} \times 1.0556 \text{ g/cm}^3 \\ &= 23.58 \text{ Centipoise} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ความชื้นของวัสดุดูดซับ
Moisture content of sorbent
(Hot air oven method)

1. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

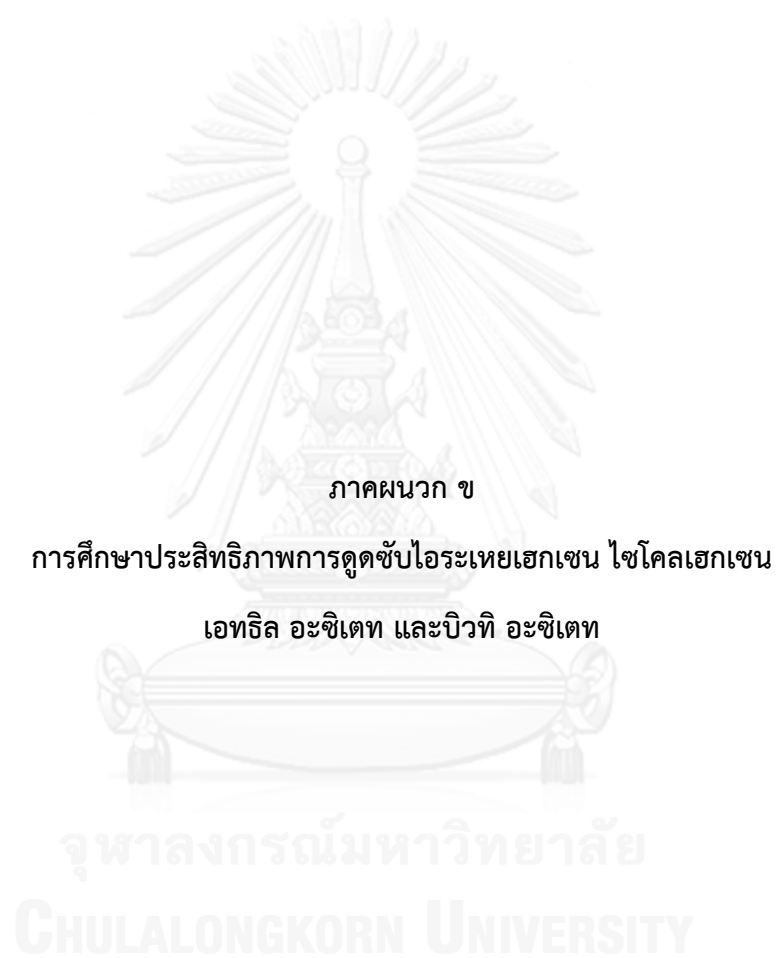
- 1.1 ภาชนะอลูมิเนียม (มีฝาปิด)
- 1.2 โถดูดความชื้น
- 1.3 ตู้อบความร้อน
- 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. วิธีการทดลอง

- 2.1 นำภาชนะอลูมิเนียม (เปิดฝา) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำภาชนะที่อบเรียบร้อยแล้วใส่ลงในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกค่าที่แน่นอน
- 2.2 ชั่งน้ำหนักวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นปริมาณ 2-5 กรัม ใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียม และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 2.3 นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนเย็น
- 2.4 นำวัสดุดูดซับที่ผ่านการอบเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื้นในวัสดุดูดซับ

3. การคำนวณ

$$\text{ค่าความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุดูดซับก่อนอบ} - \text{น้ำหนักวัสดุดูดซับหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุดูดซับหลังอบ}} \times 100$$



ภาคผนวก ข

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน

เอทธิล อะซีเตท และบิวทิ อะซีเตท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1. ผลการดูดซับไอระเหยเฮกเซนด้วยปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน

fiber/Adsorbent	% Removal			STD	STD	STD
	1 gram	3 gram	5 gram			
Rayon fiber	33.5	29.0	20.9	± 5.5	± 8.1	± 7.1
Kapok fiber	37.5	52.0	36.1	± 9.9	± 15.5	± 12.5
Mixed fiber	35.0	36.3	34.5	± 12.8	± 14.4	± 12.3
Sandwich fiber	42.9	37.5	28.9	± 16.0	± 10.5	± 7.6
Rayon Adsorbent	48.3	38.4	31.0	± 7.9	± 9.6	± 5.9
Kapok Adsorbent	43.9	42.3	57.4	± 5.6	± 8.8	± 5.5
Mixed Adsorbent	26.9	43.7	39.4	± 5.7	± 13.6	± 6.7
Sandwich Adsorbent	39.0	32.5	44.0	± 11.7	± 11.9	± 10.4

ตารางที่ 2. ผลการดูดซับไอระเหยไซโคลเฮกเซนด้วยปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน

fiber/Adsorbent	% Removal			STD	STD	STD
	1 gram	3 gram	5 gram			
Rayon fiber	8.0	33.6	27.5	± 3.9	± 6.5	± 9.6
Kapok fiber	7.7	41.3	29.4	± 3.5	± 6.5	± 8.0
Mixed fiber	29.9	31.6	29.0	± 5.7	± 8.9	± 11.4
Sandwich fiber	33.8	38.9	33.4	± 9.3	± 11.1	± 7.3
Rayon Adsorbent	27.4	22.2	29.2	± 4.3	± 2.9	± 3.9
Kapok Adsorbent	16.4	34.6	39.0	± 5.4	± 3.2	± 8.8
Mixed Adsorbent	28.7	15.1	34.5	± 6.2	± 4.6	± 11.8
Sandwich Adsorbent	25.9	48.5	34.1	± 5.5	± 8.1	± 6.1

ตารางที่ 3 ผลการดูดซับไอระเหยเอทิล อะซิเตทด้วยปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน

fiber/Adsorbent	% Removal			STD	STD	STD
	1 gram	3 gram	5 gram			
Rayon fiber	18.6	44.6	28.1	± 6.3	± 5.8	± 9.6
Kapok fiber	33.9	34.1	26.7	± 8.9	± 15.8	± 7.2
Mixed fiber	24.4	63.5	36.0	± 6.4	± 5.2	± 6.2
Sandwich fiber	31.6	31.4	23.9	± 11.3	± 5.1	± 9.5
Rayon Adsorbent	29.1	51.4	26.8	± 8.2	± 7.3	± 5.7
Kapok Adsorbent	51.3	41.2	20.4	± 9.2	± 11.3	± 4.0
Mixed Adsorbent	45.9	56.0	30.0	± 9.0	± 6.6	± 8.7
Sandwich Adsorbent	57.7	48.6	33.6	± 6.7	± 15.3	± 10.3

ตารางที่ 4 ผลการดูดซับไอระเหยบิวทิล อะซิเตทด้วยปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน

fiber/Adsorbent	% Removal			STD	STD	STD
	1 gram	3 gram	5 gram			
Rayon fiber	27.3	38.6	32.9	± 11.3	± 4.5	± 6.5
Kapok fiber	22.9	36.4	82.5	± 6.9	± 13.4	± 2.3
Mixed fiber	9.7	35.7	31.5	± 4.5	± 11.0	± 14.3
Sandwich fiber	20.6	16.9	53.9	± 7.9	± 6.2	± 6.6
Rayon Adsorbent	7.7	33.	31.4	± 0.7	± 6.8	± 11.5
Kapok Adsorbent	44.4	31.6	50.3	± 1.0	± 10.9	± 6.0
Mixed Adsorbent	23.8	22.4	9.4	± 6.4	± 7.1	± 5.9
Sandwich Adsorbent	34.7	20.3	18.7	± 10.2	± 8.7	± 4.7

ตารางข.5 ผลการดูดซับสารผสมของเส้นใยและวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

Solution/ Adsorbent	% Removal				STD	STD	STD	STD
	Hexane	Cyclo hexane	Ethyl acetate	Butyl acetate				
Rayon fiber	41.6	65.6	35.4	25.7	± 8.9	± 3.3	± 6.1	± 7.5
Kapok fiber	57.2	46.0	47.9	60.0	± 20.6	± 20.0	± 15.1	± 14.7
Mixed fiber	60.2	41.5	56.4	51.9	± 16.5	± 15.3	± 14.9	± 14.3
Sandwich fiber	49.9	50.4	42.8	35.8	± 7.4	± 7.8	± 14.9	± 9.8
Rayon adsorbent	35.7	37.6	28.2	31.2	± 7.4	± 3.3	± 4.1	± 9.4
Kapok adsorbent	45.6	38.7	24.2	19.6	± 6.9	± 6.7	± 4.6	± 12.4
Mixed adsorbent	51.7	46.9	44.6	32.4	± 4.9	± 3.0	± 2.9	± 5.6
Sandwich adsorbent	47.2	41.3	40.0	16.9	± 3.6	± 2.2	± 3.3	± 3.2

ตารางข.6 ผลการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ของเส้นใยและวัสดุดูดซับชนิดต่างๆเทียบกับวัสดุดูดซับทางการค้า

Adsorbent	% Removal				STD	STD	STD	STD
	Hexane	Cyclo hexane	Ethyl acetate	Butyl acetate				
Rayon adsorbent	38.4	22.3	51.4	33.3	± 9.6	± 2.9	± 7.3	± 6.8
kapok adsorbent	42.3	34.6	41.2	31.7	± 8.9	± 3.2	± 11.4	± 10.9
Mixed adsorbent	43.7	15.1	56.0	22.5	± 13.6	± 4.6	± 6.6	± 7.2
Sandwich adsorbent	32.5	48.5	48.6	20.3	± 11.99	± 8.1	± 15.3	± 8.8
Polypropylene	52.6	36.6	34.7	2.4	± 6.5	± 9.9	± 9.3	± 0.6

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบการทดลองและวิธีการทดลองการดูดซับไอระเหยของเฮกเซน

ไซโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพประกอบการทดลองการดูดซับไอระเหยเฮกเซน ไฮโคลเฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล
อะซิเตท

1. ภาพประกอบการทดลองการดูดซับไอระเหยของสาร 4 ชนิด



ภาพที่ ค.1 วัสดุดูดซับนุ่นและเรยอนที่เตรียมขึ้นปริมาณ 1 กรัมที่บรรจุภายในคอลัมน์



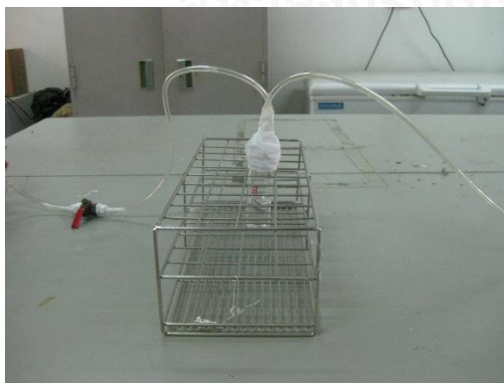
ภาพที่ ค.2 วัสดุดูดซับแบบสลับและแบบผสมที่เตรียมขึ้นปริมาณ 1 กรัมที่บรรจุภายใน
คอลัมน์



ภาพที่ ค.3 โพลีโพรไพลีนปริมาณ 1 กรัมที่บรรจุภายในคอลัมน์



ภาพที่ ค.4 Mass flow meter



ภาพที่ ค.5 การต่อระบบดูดซับ



ภาพที่ ค.6 ถุงเก็บแก๊ส



ภาพที่ ค.7 การต่อระบบดูดซับ



ภาคผนวก ง

การหาเวลาในการเข้าสู่สมดุลและผลของอัตราการใช้
ต่อประสิทธิภาพการดูดซับของเฮกเซน ไซโคลเฮกเซน
เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง.1 ผลการศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสของเหลวกับเฟสอากาศของเฮกเซน

Time	Hexane			STD	STD	STD
	1 hour	3 hours	5 hours			
0	71785.3	27117.3	37785.3	± 37964.9	± 3004.0	± 1195.4
10	37024.3	25737.4	34524.3	± 15000.1	± 3246.5	± 2677.5
20	47905.2	22301.9	41405.2	± 39577.9	± 4384.6	± 2101.3
30	54310.8	29941.3	39310.8	± 18717.4	± 1967.6	± 2495.7
40	21040.1	20994.7	31040.1	± 10733.1	± 3691.9	± 3408.9
50	31114.1	20788.2	41114.1	± 6449.2	± 3933.6	± 6449.2
60	15086.9	23040.4	38586.9	± 6952.3	± 3804.6	± 2002.5

หมายเหตุ: ค่าที่รายงานเป็นค่าพื้นที่ใต้พีค (ไม่มีหน่วย)

ตาราง.2 ผลการศึกษาปริมาณไอระเหยที่เวลาต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อตั้งเฮกเซน ไฮโคล เฮกเซน เอทิล อะซิเตท และบิวทิล อะซิเตท ทั้งไว้ในภาชนะปิดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้เข้าสู่สมดุลระหว่างเฟสของเหลวกับเฟสอากาศ

Time	Hexane	Cyclo hexane	Ethyl acetate	Butyl acetate	STD	STD	STD	STD
0	27117.4	19019.2	20428.6	4705.9	± 3004.0	± 2289.0	± 814.4	± 564.0
10	25737.5	17723.6	19900.6	3112.3	± 3246.5	± 2448.5	± 5238.5	± 180.7
20	22301.9	16824.0	15823.1	1886.7	± 4384.6	± 3149.6	± 6754.9	± 452.6
30	29941.3	18156.7	21534.7	2077.7	± 1967.6	± 3130.5	± 1477.0	± 243.9
40	20994.7	18132.1	17004.6	3075.9	± 3691.9	± 2675.1	± 3470.9	± 471.6
50	20788.3	20652.5	18277.1	2141.7	± 3933.6	± 3830.1	± 2505.9	± 1142.8
60	23040.5	17202.9	20268.8	2893.2	± 3804.6	± 5433.8	± 1889.0	± 1353.8

หมายเหตุ: ค่าที่รายงานเป็นค่าพื้นที่ใต้พีค (ไม่มีหน่วย)

ตาราง.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเก็บไอระเหยเฮกเซนด้วยถุงเก็บแก๊ส

Sampling Time (min)	จำนวนครั้งในการเก็บตัวอย่าง					Mean	Average	STD
	1	2	3	4	5			
0.5	25967.0	17797.7	25943.8	21497.7	19137.7	21497.7	22068.8	± 3787.2
1	27666.4	25007.1	24635.3	28854.2	22349.5	25007.1	25702.5	± 2581.4
2	32012.0	37609.2	36506.3	33644.1	35285.4	35285.4	35011.4	± 2231.8

หมายเหตุ: ค่าที่รายงานเป็นค่าพื้นที่ใต้พีค (ไม่มีหน่วย)

ตาราง.4 ผลของอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของเส้นใยชนิดต่างๆ

Fiber	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน (ร้อยละ)		
	Q 2 L/hr	Q 6 L/hr	Q 10 L/hr
Rayon	67.1 ± 23.8	38.8 ± 19.4	26.5 ± 11.5
Kapok	72.8 ± 37.2	37.7 ± 14.6	22.3 ± 9.2
Mixed	54.6 ± 25.1	70.1 ± 30.3	0.2 ± 0.07
Sandwich	64.6 ± 33.7	42.3 ± 26.9	33.7 ± 16.3

ตาราง.5 ผลของอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซนของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

Adsorbent	ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเฮกเซน (ร้อยละ)		
	Q 2 L/hr	Q 6 L/hr	Q 10 L/hr
Rayon	31.6 ± 21.7	17.9 ± 12.5	47.7 ± 20.2
Kapok	66.9 ± 12.0	29.3 ± 18.5	40.7 ± 17.3
Mixed	26.5 ± 10.8	8.9 ± 6.9	19.4 ± 9.1
Sandwich	34.4 ± 16.3	35.1 ± 24.6	8.4 ± 3.0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรัตนา ธนบูรณ์กาญจน์ เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2528 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2551 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติในหัวข้อการกำจัดไอระเหยเฮกเซนด้วยวัสดุดูดซับที่เตรียมจากเส้นใยนุ่มและของเสียจากอุตสาหกรรม การผลิตเส้นใยเรยอน (Hexane Vapors Adsorption by Kapok and Rayon Industrial Waste) ในงาน International Conference on Advances in Civil, Structural, Environmental and Bio-Technology ระหว่างวันที่ 8-9 มีนาคม 2557 ณ G tower Kuala Lumpur, Malaysia



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY