



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยธูปฤาษี
และกกกลม

Adsorption of Fat and Oil from Canteen Wastewater in Kasetsart University
by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb.

นามผู้วิจัย นางสาวจงกร มหาดเล็ก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ด้วยธูปฤาษีและกกกลม

Adsorption of Fat and Oil from Canteen Wastewater in Kasetsart University
by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb.

โดย

นางสาวจงกร มหาดเล็ก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

จงกร มหาดเล็ก 2555: การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายใน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่ายและกกกลม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.
84 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยรูปถ่ายและกกกลม โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไขมันและน้ำมัน ซึ่งได้แก่ พีเอช (3-10) ความเร็วรอบการเขย่า (50-200 รอบ/นาที) ระยะเวลาเขย่า (10-120 นาที) ระยะเวลาสัมผัส (10-120 นาที) ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (5,000-25,000 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณของตัวดูดซับ (0.5-3 กรัม) ผลการศึกษาพบว่า รูปถ่าย 0.5 กรัม และกกกลม 1 กรัม มีสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไขมันและน้ำมันที่ พีเอช 7 ความเร็วรอบการเขย่า 150 และ 100 รอบ/นาที ตามลำดับ ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับของรูปถ่ายและกกกลม ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณน้ำมัน 5,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 63.71 และ 87.49 ตามลำดับ กระบวนการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิดศึกษาโดยวิธีแบบเบดส์สอดคล้องกับสมการไอโซเทอรัมของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ รูปถ่าย และกกกลมมีประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการทดลองแบบเบดส์ ได้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 32.23 และ 43.80 ตามลำดับ สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง พบว่า รูปถ่าย 140 กรัม และกกกลม 80 กรัม สามารถบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ปริมาตร 10 ลิตร ได้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 50.27 และ 86.26 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ารูปถ่ายและกกกลมสามารถบำบัดมลสารอื่นๆ ได้ด้วย คือ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด สารแขวนลอย และค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น

Jongporn Mahadlek 2012: Adsorption of Fat and Oil from Canteen Wastewater in Kasetsart University by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Enviroment. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 84 pages.

This research was to study the fat and oil removal from canteen wastewater in Kasetsart University using low-cost bioadsorbents as *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb. Several factors influencing the fat and oil adsorption were including pH (3-10), mixing speed (50-200 rpm), shaking time (10-120 min), contact time (10-120 min), concentration of fat and oil (5,000-25,000 mg/L) and adsorbent dose (0.5 -3 g/L). It was found that the optimal conditions for fat and oil adsorption by 0.5 gram of *Typha angustifolia* Linn. and 1 gram of *Cyperus corymbosus* Rottb. were pH 7, 100 rpm of mixing speed for *Cyperus corymbosus* Rottb. and 150 rpm of mixing speed for *Typha angustifolia* Linn., 30 min of shaking time, 30 min of contact time, Under the conditions, the adsorption efficiency of oil in 5,000 mg/L of synthetic wastewater by *Typha angustifolia* Linn. was 63.71% and in 15,000 mg/L of synthetic wastewater by *Cyperus corymbosus* Rottb. was 87.49 %. The adsorption in batch process for both absorbents followed Freundlich isotherms and Langmuir isotherm. Under this adsorption process, *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb. can remove fat and oil in canteen wastewater from Kasetsart University at 32.23 % and 43.80 % respectively. For application, the adsorption efficiency of oil by *Typha angustifolia* Linn. 140 g and *Cyperus corymbosus* Rottb. 80 g in 10 L of canteen wastewater in Kasetsart University was 50.27% and 86.26% respectively. Both *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb can be used to remove not only oil in wastewater but also other parameters such as COD, TDS, TSS and conductivity can be reduced.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ดิฉันขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ท่านได้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ให้คำแนะนำมาโดยตลอด ทำให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์คันติดา ตั้งคณาภิรักษ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ท่านได้ให้ความรู้ความเข้าใจ ให้คำแนะนำ ความเมตตา เอาใจใส่ ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องและแก้ปัญหาต่างๆ ขณะทำการทดลอง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อนุเคราะห์สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ โดยผ่านทางโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อบรรจง และคุณแม่ดวงจันทร์ มหาเด็ก ที่ให้การอบรมสั่งสอนสนับสนุน และให้กำลังใจอย่างดี ขอขอบคุณพี่สาวจงจันท์ มหาเด็ก ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ สิ่งแวดล้อม รุ่น 33 ที่ให้ความรัก ช่วยเหลือทั้งกำลังใจและกำลังใจในการศึกษาวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

จงกร มหาเด็ก

ตุลาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	45
สรุปและข้อเสนอแนะ	64
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	70
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สภาวะที่เหมาะสมเพื่อบำบัดไขมันและน้ำมัน	53
2	ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	60
3	การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่าย และกกลมโดยทำการทดลองแบบเบตซ์	61
4	คุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์หลังผ่านการดูดซับด้วยรูปถ่ายและกกลมโดยการประยุกต์การทดลองเพื่อใช้งานจริง (มอเตอร์พร้อมใบพัด)	63
ตารางผนวกที่		
1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและค่าพีเอช	71
2	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกลมและค่าพีเอช	71
3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและความเร็วรอบการเขย่า	72
4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกลมและความเร็วรอบการเขย่า	72
5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและระยะเวลาเขย่า	73
6	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกลมและระยะเวลาเขย่า	73
7	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล	74
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและปริมาณน้ำมันในน้ำ	75
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและปริมาณน้ำมันในน้ำ	75
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและปริมาณรูปถ่าย	76
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและปริมาณกกกลม	76
13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของรูปถ่ายสำหรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันมาตรฐานประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำสังเคราะห์ด้วยรูปถ่าย	77
14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของรูปถ่ายสำหรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันมาตรฐานประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำสังเคราะห์ด้วยกกกลม	77
15 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำสังเคราะห์ด้วยรูปถ่ายและกกกลม โดยทำการทดลองแบบเบตซ์	78
16 ผลการหาน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	78
17 ปริมาณรูปถ่ายที่ใช้ในการดูดซับไขมันและน้ำมันโดยการประยุกต์ใช้งานจริง	79
18 ปริมาณกกกลมที่ใช้ในการดูดซับไขมันและน้ำมันโดยการประยุกต์ใช้งานจริง	80
19 การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่ายและกกกลม โดยทำการทดลองประยุกต์ใช้งานจริง	80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงสูตรโครงสร้างของไขมันและน้ำมัน	6
2	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	12
3	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	14
4	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	14
5	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว	15
6	การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น	17
7	การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ	17
8	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	20
9	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	22
10	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง	23
11	กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	25
12	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรูนดิช	26
13	แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	26
14	การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	27
15	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	28
16	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท	29
17	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท	30
18	รูปถ่าย <i>Typha angustifolia</i> Linn.	32
19	กกกลม <i>Cyperus corybosus</i> Rottb.	33
20	รูปถ่าย	39
21	การศึกษาอิทธิพลความเร็วรอบในการเขย่า	41
22	ถุงตาข่ายสำหรับการใช้ในการทดลอง	43
23	แสดงการศึกษาการดูดซับด้วยเครื่องกวนใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม	46
25	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม	47
26	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเขย่ากับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม	48
27	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเข้าสู่สมดุลหรือระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม	49
28	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไขมันและน้ำมันกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม	50
29	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปถ่ายและกกกลมกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม	51
30	ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของแลงเมียร์ด้วยรูปถ่าย	54
31	ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของฟรุนดลิชด้วยรูปถ่าย	54
32	ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของแลงเมียร์ด้วยกกกลม	57
33	ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของฟรุนดลิชด้วยกกกลม	57
34	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่ายและกกกลมโดยทำการทดลองแบบประยุกต์ใช้งานจริง(มอเตอร์พร้อมใบพัด)	62
ภาพผนวกที่		
1	แผนผังการวิเคราะห์ไขมันและน้ำมันโดยวิธีใช้กรวยสกัดแยก	83

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DO	=	Dissolve Oxygen
COD	=	Chemical Oxygen Demand
BOD	=	Biological Oxygen Demand
TS	=	Total Solids
TSS	=	Total Suspended Solids
TDS	=	Total Dissolve Solution
SS	=	Settleable Solids
EC	=	Electrical Conductivity

การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วย ธูปฤาษีและกกกลม

Adsorption of Fat and Oil from Canteen Wastewater in Kasetsart University

by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb.

คำนำ

น้ำทิ้งจากโรงอาหารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีส่วนก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำที่อยู่โดยรอบในมหาวิทยาลัยได้เป็นอย่างมาก โดยก่อให้เกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำโดยตรงและยังมีผลต่อดินได้ด้วย แม้ว่าทางมหาวิทยาลัยจะมีขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นโดยใช้ตะแกรงดักและกรองพวกเศษอาหารก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำแล้ว พวกน้ำมันและไขมันก็ยังคงหลุดรอดออกมาปะปนอยู่ในน้ำทิ้งปริมาณมาก สังเกตได้จากคุณภาพของน้ำเปลี่ยนไป

น้ำทิ้งจากโรงอาหารจะมีน้ำมันและไขมัน (oil and fat) ที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารจากการล้างทำความสะอาดเนื้อสัตว์ที่จะนำมาใช้ประกอบอาหารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การต้ม ผัด ลวก นึ่ง เป็นต้น น้ำมันและไขมันที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารอยู่ในรูปของเหลว จะไหลไปยังท่อระบายน้ำทิ้งและไหลต่อไปยังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงอาหารและลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่อน้ำทิ้งอุณหภูมิลดลงไขมันและน้ำมันที่ปนมาจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งกึ่งเหลว เป็นชั้นฟองสบู่ที่ผิวหน้าน้ำเสีย หากความหนาของชั้นไขมันมีมากและสะสมเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง เพราะอากาศที่อยู่เหนือชั้นน้ำมันและไขมันไม่สามารถละลายผ่านชั้นไขมันและน้ำมันลงไปในน้ำได้ ปกติน้ำทิ้งจากโรงอาหารมีน้ำมันและไขมันอยู่ถึง 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่โรงอาหาร ยิ่งโรงอาหารใหญ่มีขนาดใหญ่ก็จะทำให้มีปริมาณไขมันและน้ำมันมากตามไปด้วย หากมีการปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมันและน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยที่ไม่มีการบำบัดเสียก่อนจะทำให้น้ำสาธารณะเน่าเสียได้

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงได้ทำการศึกษาการบำบัดไขมันและน้ำมันโดยใช้วิธีการดูดซับ (adsorption) โดยเลือกใช้วัสดุดูดซับธรรมชาติ คือ ธูปฤาษีและกกกลม ซึ่งเป็นพืชที่หาง่ายตามธรรมชาติโดยนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในที่นี้ธูปฤาษีและกกกลมที่นำมาศึกษาได้รับความ

อนุเคราะห์จากแปลงปลูกพืชเพื่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลม
ผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายีและกกกลม
2. เพื่อนำสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันและน้ำมันจากรูปถ่ายีและกกกลมที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. นิยามและความหมาย

น้ำทิ้ง (drain water) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม หมายถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

มลพิษทางน้ำหรือน้ำเสีย (water pollution) หมายถึง น้ำที่เสื่อมคุณภาพหรือน้ำที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากปกติหรือตามธรรมชาติ เนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงปรารถนาปนเปื้อน จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อการใช้ประโยชน์ (พูนศิริ, 2539)

น้ำทิ้ง (wastewater) คือ น้ำโสโครกที่ผ่านการใช้ประโยชน์หรือสภาวะที่น้ำเสื่อมคุณภาพหรือน้ำมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่เคยเป็นอยู่ตามธรรมชาติ (สุธิลา, 2548) อันเกิดจากกิจกรรมทั้งหลายของมนุษย์ เช่น น้ำทิ้งจากบ้านเรือน ภัตตาคาร ร้านอาหาร โรงแรม และโรงงานอุตสาหกรรม (สิทธิชัย, 2549) จึงทำให้น้ำทิ้งมีสิ่งต่าง ๆ เจือปนอยู่มากมาย กลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการของคนทั่วไปและอาจกลายเป็นน้ำเสียได้ด้วย โดยน้ำเสียมักมีสิ่งต่าง ๆ ปนเปื้อนอยู่มาก ลักษณะน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณ และรูปแบบของเสียในน้ำเสียนั้น ๆ ทั้งในรูปของสารแขวนลอย สารละลายในน้ำ สึกกลืน สีไม่น่าใช้ (พัฒนา, 2539)

น้ำเสียชุมชนหรือน้ำทิ้งชุมชน (municipal wastewater, domestic wastewater, sewage) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชนนั้นๆ หรือบ้านพักอาศัย โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานต่างๆ น้ำเสียประเภทนี้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแล้ว จะมีมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนใหญ่ของเสียจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการล้างจานชาม ภาชนะหรือการปรุงอาหาร พื้นอาคาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการชะล้าง ทำความสะอาดเสื้อผ้า รถ บ้านเรือน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

ไขมันและน้ำมัน (fat and oil) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ประเภทไลปิด(lipid) ที่ได้จากเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ เป็นสารที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นสาร โมเลกุลโคเวเลนต์ ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างไขมัน น้ำมัน wax สเตอรอยด์ มีหมู่ฟังก์ชันเหมือนเอส

เทอร์ ถ้าเป็นสารไฮโดรคาร์บอนได้แก่ น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเตา น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล (กรรณิการ์ , 2525; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549)

2. ไขมันและน้ำมัน

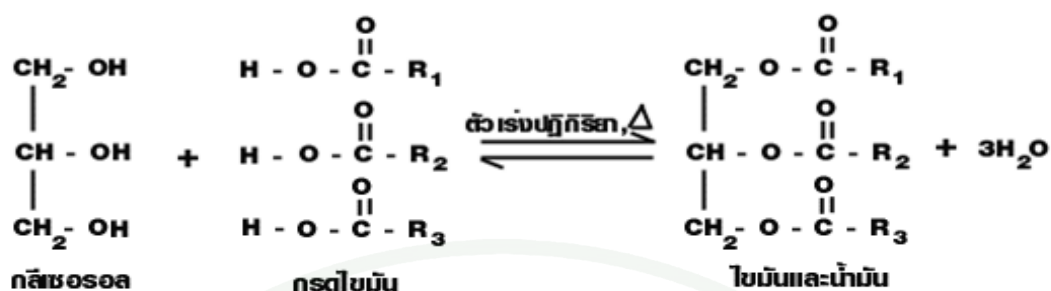
ไขมันและน้ำมัน (fat and oil) เป็นสารกลุ่มเดียวกันชนิดที่เรียกว่า ไลปิด (lipid) โดยทั้งไขมันและน้ำมันเป็นสารที่มีสมบัติใกล้เคียงกัน คือ เป็นสารที่มีธาตุประกอบหลักเป็นธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ไม่ละลายน้ำ เมื่ออยู่ในน้ำจะแยกออกจากน้ำเป็นชั้น ลอยอยู่เหนือน้ำ เพราะเบากว่าน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารที่เป็นน้ำมันหรือในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ เฮกเซน เป็นต้น

2.1 ความแตกต่างระหว่างไขมันและน้ำมัน

ไขมันเป็นไลปิดที่มีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันจะมีสถานะเป็นของเหลว โดยทั้งไขมันและน้ำมันจะเป็นสารที่มีบทบาทต่อชีวิตของเราเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสารที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติของอาหาร ทำให้อาหารมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน ไขมันและน้ำมันสามารถพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชมักจะเป็นส่วนประกอบในเมล็ด เช่น มะพร้าว มะกอก ปาล์ม ถั่วเหลือง งา เมล็ดฝ้าย เป็นต้น ส่วนในสัตว์จะมีการสะสมไขมันไว้ตามเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังบริเวณช่องท้องและส่วนอื่น เช่น ไขมันโค ไขมันหมู ไข่แดง เป็นต้น

2.2 องค์ประกอบและโครงสร้างของไขมัน

ไขมันและน้ำมันมีลักษณะเป็นสารประกอบที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ เกิดจากกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 3 โมเลกุล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อนร่วมด้วย โดยกลีเซอรอลและกรดไขมันเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไขมันและน้ำมัน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของไขมันและน้ำมัน

ที่มา: วิเชษฐ์ (2539)

2.2.1 กลีเซอรอล เป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีรสหวาน มีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$

2.2.2 กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ประเภทหนึ่ง มีลักษณะเป็นโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของธาตุคาร์บอน และธาตุไฮโดรเจนมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว มีปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่ $-\text{COOH}$ (หมู่คาร์บอกซิล) โดยกรดไขมันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนี้

กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่ในหมู่ไฮโดรคาร์บอนมีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนทั้งหมดเป็นพันธะเดี่ยว โมเลกุลจึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนเพิ่มได้อีก กรดไขมันชนิดนี้มีอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม พบได้มากในไขมันสัตว์ และน้ำมันมะพร้าว กรดไขมันอิ่มตัวเหล่านี้ได้แก่ กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก กรดลอริก เป็นต้น กรดไขมันอิ่มตัวมีสมบัติแข็งตัวง่าย มีจุดหลอมเหลวสูง ไม่เหม็นหืน เนื่องจากไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ แต่มีผลเสียคือ หากรับประทานเข้าไปมากอาจทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดได้

กรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดไขมันที่ในหมู่ไฮโดรคาร์บอนมีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนบางพันธะเป็นพันธะคู่ และผลจากการที่มีพันธะคู่ ทำให้โมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนน้อยกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดไลโนเลอิก กรดโอเลอิก เป็นต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีสมบัติแข็งตัวยาก มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อ

ตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน จะเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้เพราะก๊าซออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาด้วย

กรดไขมันบางชนิดร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ แต่บางชนิดร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ จึงต้องรับจากอาหารที่เรารับประทานเข้าไปเท่านั้น เราเรียกว่า กรดไขมันที่จำเป็น (Essential Fatty Acids : EFAs) เช่น กรดแกมมาไลโนเลนิก กรดไลโนเลอิก เป็นต้น โดยมนุษย์จำเป็นต้องรับประทานกรดไขมันที่จำเป็นประมาณวันละ 2-4 กรัมอยู่เสมอ ถ้าหาร่างกายของเราได้รับปริมาณกรดไขมันไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้ร่างกายชะงักการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในเด็กหากได้รับกรดไขมันที่จำเป็นพวกกรดไลโนเลอิกน้อยเกินไป จะทำให้ไม่เติบโตเท่าที่ควร มีอาการผิวหนังอักเสบ คิดเชื่อง่าย นอกจากนี้กรดไขมันจำเป็นยังเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันและลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในร่างกายของผู้ใหญ่ และช่วยป้องกันโรคหัวใจขาดเลือดได้ (กุลยา, 2533)

3. แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ

แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ กำหนดเป็นแหล่งใหญ่ ๆ ได้ 4 แหล่ง ดังนี้

3.1 มลพิษทางน้ำตามแหล่งชุมชนและแหล่งธุรกิจการค้า ได้แก่ น้ำทิ้งหรือน้ำที่ใช้แล้ว รวมทั้งสิ่งปฏิกูลและของเสียอื่นๆ น้ำเสียจากชุมชนประกอบด้วยของเสียจากร่างกายคน น้ำทิ้งจากการประกอบกิจการอื่นๆ ในบ้านเรือน เช่น น้ำทิ้งจากห้องน้ำ ห้องครัว โรงอาหาร เป็นต้น โดยน้ำเสียชุมชนอาจแบ่งได้ 4 ประเภท (พัฒนา, 2539) ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านพักอาศัย น้ำเสียจากสถานประกอบการ น้ำเสียจากสถานที่นันทนาการ และน้ำเสียจากสถานที่ประกอบธุรกิจการค้า ซึ่งโดยทั่วไปแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทนี้จะเป็นแหล่งที่กระจุกกระจายเป็นบริเวณกว้าง แต่ยังสามารถจะรวบรวมน้ำเสียไปบำบัดได้ก่อนจะระบายลงแหล่งน้ำสาธารณะได้

3.2 มลพิษทางน้ำจากอุตสาหกรรม น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เกิดจากประกอบกิจกรรมอุตสาหกรรมต่าง ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบ น้ำล้างวัสดุอุปกรณ์ น้ำล้างทำความสะอาดโรงงาน น้ำเสียจากระบวนการการผลิต น้ำเสียที่ใช้ในการหล่อเย็นอุปกรณ์ทำความร้อน เป็นต้น ลักษณะและปริมาณของน้ำเสียนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของอุตสาหกรรม ขนาดของกิจการอุตสาหกรรม และการควบคุมกำกับกับการดำเนินการอุตสาหกรรม (ฉัตรไชย, 2539) เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ จะต้องใช้น้ำทุกขั้นตอนการผลิต

ตั้งแต่ย่อยไม้ให้เป็นเชื้อ จากเชื้อไปเป็นกระดาศ ซึ่งกว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อกระดาศออกมา 1 ตัน ต้องใช้น้ำถึง 50,000 แกลลอน (นิวัติ, 2546)

3.3 มลพิษทางน้ำทางการเกษตร กิจกรรมทางการเกษตรก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำได้จากการใช้ปุ๋ย การใช้สารเคมี ยาฆ่าแมลง สารกำจัดศัตรูพืช ตลอดจนซากสัตว์ มูลสัตว์และกากของเสียจากการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งที่กระจายกระจาย พื้นที่กว้างขวางไม่มีระบบรวบรวมน้ำเสียในพื้นที่เกษตร ทำให้การรวบรวมของเสียมากำจัดได้ยากกว่าชุมชนและอุตสาหกรรม

3.4 มลพิษทางน้ำจากการคมนาคมทางเรือ แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำประเภทนี้เป็นแหล่งหนึ่งที่ถูกละเลยไป สารมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้เรือ ได้แก่ น้ำมันที่รั่วกับเครื่องจักรกล การเกิดอุบัติเหตุของเรือทั้งขนาดเล็กขนาดใหญ่ และของเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากกิจกรรมในเรือ

4. ผลกระทบจากการปนเปื้อนของน้ำมันที่อยู่ในแหล่งน้ำ

น้ำมันและไขมันเมื่อเกิดการไหลลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำทั่วไปไม่ว่าเป็นแม่น้ำ ลำคลอง ทะเล และมหาสมุทร จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่เป็นพืชและสัตว์ในระบบนิเวศน์ น้ำมันจะเกิดการย่อยสลาย การระเหย เกิดปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในน้ำบางส่วนทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื้อค่อนข้างมาก ผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นได้ดังนี้

4.1 ผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ได้แก่ สัตว์น้ำชนิดต่างๆ พืชน้ำ ปะการัง สัตว์ที่มีผลกระทบ เช่น สัตว์จำพวกหอย ปู ปลา ปลาพะยูน ปลาโลมา เป็นต้น ลักษณะความเป็นพิษอาจเกิดจากการสัมผัสกับน้ำมันโดยตรง หรือเกิดจากแหล่งน้ำขาดออกซิเจนจากการที่น้ำมันไปขัดขวางการละลายน้ำของก๊าซออกซิเจน ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงระดับหนึ่ง ขณะเดียวกันน้ำมันบางประเภทก็จะปิดกั้นแสงสว่างที่ส่องลงมาถึงพื้นท้องน้ำ มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช น้ำ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเฉพาะพวกสิ่งมีชีวิตที่เป็นต้นของห่วงโซ่อาหาร ได้แก่ แพลงตอนพืชและแพลงตอนสัตว์ ซึ่งทำให้ลดปริมาณอาหารของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารลง นอกจากนี้พืชน้ำบริเวณชายฝั่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของนกและสัตว์น้ำอื่น ๆ อาจได้รับพิษจากการดูดซึมน้ำมัน น้ำมันประเภทที่มีจุดเดือดต่ำจะก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันได้ง่าย สามารถทำให้สัตว์น้ำขนาดเล็กตายทันที หรือน้ำมันที่มีจุดเดือดสูงอาจก่อให้เกิดพิษเรื้อรังต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อดูดซึมเอาหยดน้ำมันเล็กเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อ และพิษเหล่านี้สามารถถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระบบนิเวศน์ของ

แหล่งน้ำได้

4.2 ทำลายแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากน้ำมันและไขมันทำให้แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลา กุ้ง หอย ฯลฯ อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ถ้าเกิดการปนเปื้อนของน้ำมันในปริมาณความเข้มข้นระหว่าง 1-3 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลานานกว่า 96 ชั่วโมง นอกจากนี้ เมื่อคราบน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่งบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดความเสียหายอย่างมากต่อการเพาะเลี้ยงหอย การเลี้ยงปลาในกระชัง เนื่องจากสัตว์น้ำเหล่านี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

4.3 ทำลายระบบนิเวศป่าชายเลน ป่าชายเลนเป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ เป็นที่อยู่ของสัตว์น้ำและสัตว์บก เป็นแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ เป็นแหล่งวางไข่ และแหล่งอนุบาลสัตว์ในวัยอ่อน ถ้าคราบน้ำมันเคลื่อนตัวเข้าสู่ป่าชายเลน การกำจัดน้ำมันจะกระทำไม่ได้ยากมาก เนื่องจากการใช้เครื่องมือถูกจำกัด ทำให้คราบน้ำมันคงตัวอยู่นาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิดรวมทั้งป่าชายเลน ป่าชายเลนมีความอ่อนไหวต่อน้ำมันเพราะรากต้นไม้ในบริเวณป่าชายเลนไม่สามารถหายใจได้ ทำให้ต้นไม้ตายในเวลาอันรวดเร็ว หรือส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโต

4.4 ทำลายด้านสุนทรียภาพแหล่งท่องเที่ยว คราบน้ำมันที่ถูกพัดพาขึ้นสู่ฝั่งไปติดตามชายหาด จะทำให้เกิดสภาพสกปรกไม่น่าดู กระทบต่อเศรษฐกิจการท่องเที่ยว ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการพักผ่อน ก่อความรำคาญและทำลายทรัพย์สินและรายได้ของชุมชน

4.5 ผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสัตว์ที่อาศัยพื้นท้องทะเล โดยคราบน้ำมันจะเคลือบปีก ขาคำตัว ของสัตว์และถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย บางส่วนเข้าไปกับอาหาร นอกจากนี้ น้ำมันจะส่งผลกระทบต่อสัตว์ที่สืบพันธุ์ รวมทั้งการหยุดยั้งการเจริญเติบโต น้ำมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหารในร่างกายผิดปกติ พิษของน้ำมันทำให้การเจริญเติบโตลดลง การสืบพันธุ์สัตว์ผิดปกติ และพฤติกรรมการกินอาหารเปลี่ยนแปลงไป

5. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุล หรืออนุภาคที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับ และติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการดูดซับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent)

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพราะความพรุนจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายในให้มากขึ้น คุณสมบัติอื่น ๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมาได้ โดยให้ตัวถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับจนอิ่มตัว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน

กระบวนการดูดซับจึงเป็นการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมบนพื้นผิวของตัวดูดซับ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในแม่น้ำ ทะเล และมหาสมุทร กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้าน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับ สารฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดการเคลื่อนย้าย โดยจะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ ส่วนโมเลกุลอิสระที่ไม่ถูกดูดซับอาจเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมีเช่น การย่อย

สลายด้วยแสง หรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์และกนิศา, 2550)

5.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ
- 2) การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ
- 3) ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ แต่อาจมีแรงต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวดัง

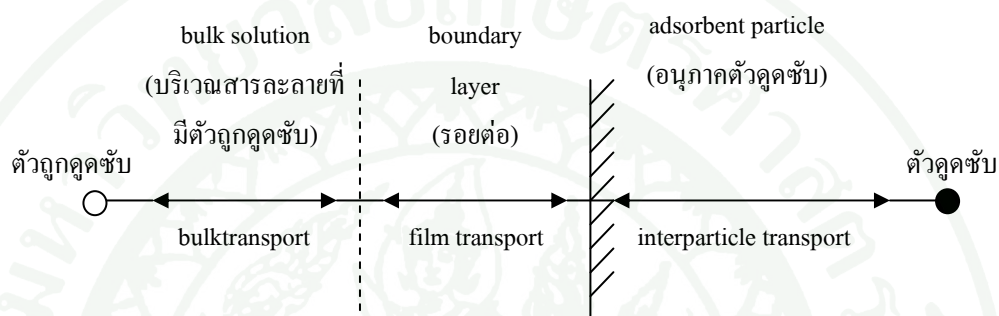
5.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่เก็ดช้าที่สุด จะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

- 1) การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าชั้นของของเหลวบาง ๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ
- 2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัว

ถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้

3) การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบรวมกัน

5.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (intermolecular force)

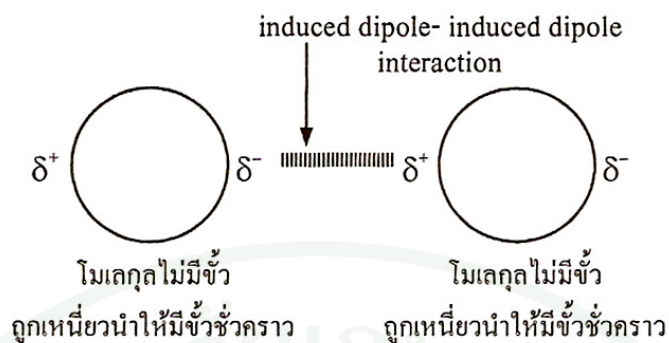
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (physical force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบพร้อม ๆ กันก็ได้

1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van derwaal force) คือเป็นแรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุลแบบโควาเลนต์ เพื่อให้โมเลกุลโควาเลนต์รวมอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มก้อน มีทั้งโมเลกุลแบบมีขั้วและโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว

แรงแวนเดอร์วาลส์ที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมวลโมเลกุลของสารเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

1.1) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว เรียกว่า แรงลอนดอน (london force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งในขณะใดขณะหนึ่งกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ในลักษณะที่ไม่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากกว่าปกติ ส่วนอีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก กล่าวได้ว่าทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราว (induce dipole) ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นจะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงให้มีขั้วตรงข้ามขึ้นมา ถ้าโมเลกุลมีขั้วหันขั้วบวกไปทางโมเลกุลใด ก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไป จนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (induced dipole-induced dipole attraction) ตลอดทั้งก้อนของสาร ดังภาพที่ 3

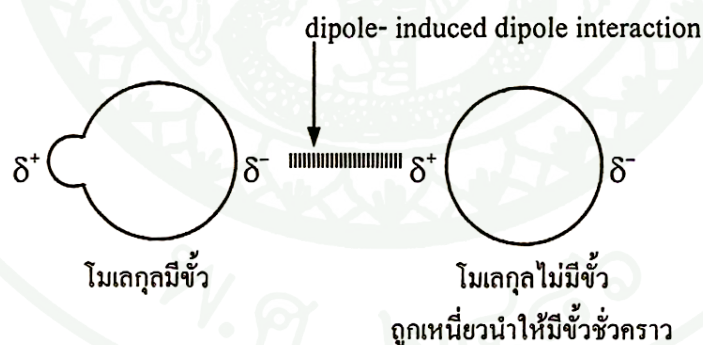
แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้น เมื่อมีอิเล็กตรอนจำนวนมากและมีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ หรือหนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าลบ และจะเหนี่ยวนำด้านตรงข้ามให้มีอำนาจไฟฟ้าบวก แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้ว รูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย



ภาพที่ 3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิดา (2550)

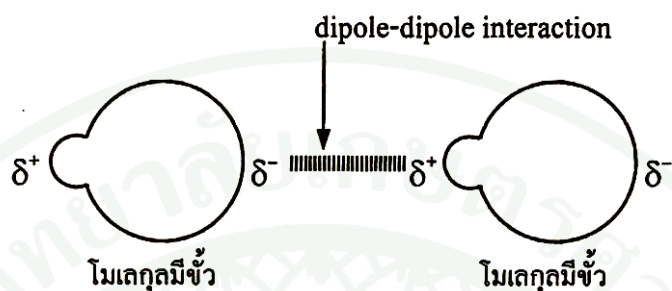
1.2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับ โมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจาก โมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลไม่มีขั้วกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (dipole-induced dipole attraction) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิดา (2550)

1.3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน เรียกว่า แรงไดโพล-ไดโพล(dipole-dipole attraction) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ได้แก่ ธาตุฟลูออรีน ออกซิเจน และไนโตรเจน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวกจึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

แรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงที่ไม่แข็งแรง เมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่น ๆ การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน(Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ $\text{Cl}-\text{Cl}$ ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูล/โมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับ คือเกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (desorption) อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวชนิดแรงแวนเดอร์วาลส์ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

2) แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์

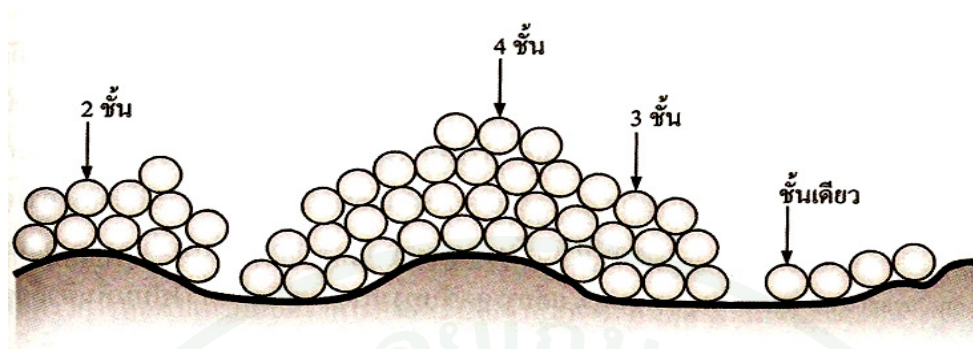
การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุลระหว่างแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ การดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayered) มีผลทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible process) จึงไม่เกิดการคายสารออก (desorption)

5.4 รูปแบบของการดูดซับ

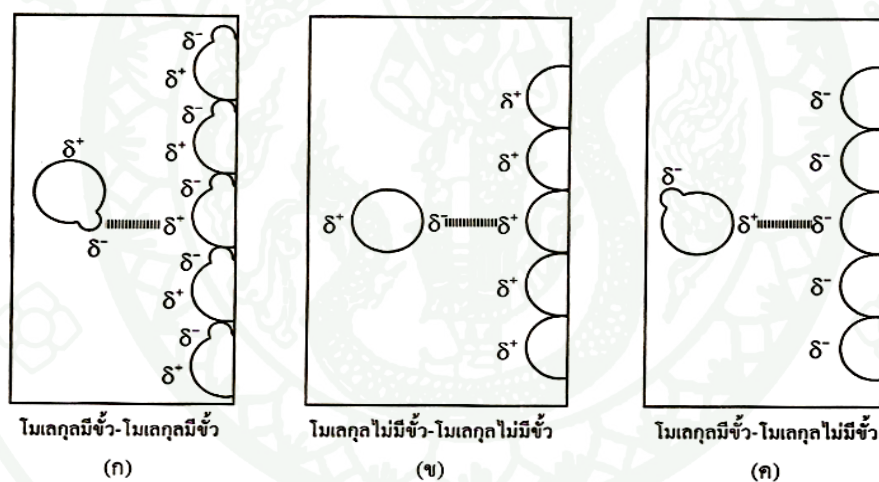
สำหรับรูปแบบของการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) การดูดซับทางกายภาพ (physisorption หรือ physical adsorption หรือ van der waals adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับ ในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซับก่อนหน้านั้น และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยกันในระหว่างชั้นจะเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น



ภาพที่ 6 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 7 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงทางกายภาพ

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

2) การดูดซับทางเคมี (chemisorption) จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยการสร้างพันธะไอออนิก หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันจากการสร้างพันธะโควาเลนต์ ทำแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะ

เดียวกัน การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะเจาะจงเท่านั้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่จะเป็นแบบชั้นเดียว (monolayer) และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงแต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำประมาณเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 20-100 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา (2550))

5.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1) อัตราการเขย่า การดูดซับจะขึ้นอยู่กับปัจจัยการแพร่ผ่านฟิล์มน้ำหรือการแพร่เข้าสู่โพรง ถ้าอัตราการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารถูกดูดซับเข้าไปหาสารดูดซับ ดังนั้น การแพร่ผ่านชั้นฟิล์มน้ำเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ในตรงกันข้าม ถ้าอัตราการปั่นกววนสูง จะเกิดฟิล์มบางกว่า ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ลักษณะเช่นนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้มากกว่าที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

3) ขนาดและลักษณะของสารถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายใน เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง กล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

4) ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี

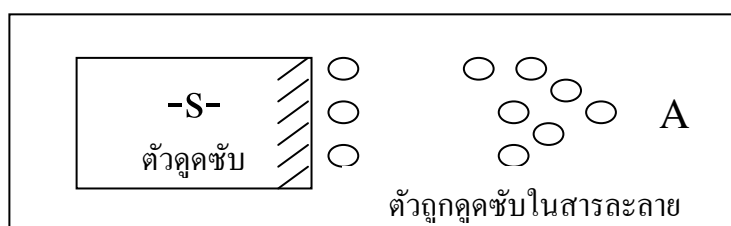
5) พิเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดซับได้ดี

6) อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบกระบวนการคายความร้อน

7) เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนั้นไปแล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

5.6 สมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกละลายเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้น โมเลกุลตัวถูกละลายบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกละลายบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่า อัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย ณ สถานะสมดุลของการดูดซับ จะทำให้จำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าไปและจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายที่คายออกมามีปริมาณคงที่



ภาพที่ 8 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

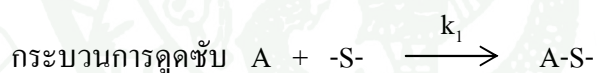
ที่มา: นิพนธ์ และกนิดา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมล/ลิตรในสารละลาย

$-S-$ เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

Q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

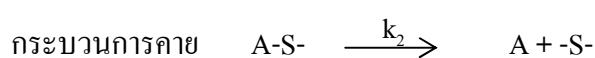
$(1 - q)$ เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_1 = k_1[C](1-q)$$



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$\begin{aligned}
 r_2 &= k_2(q) \\
 \text{ณ สภาวะสมดุล } r_1 &= r_2 \\
 k_1[C](1-q) &= k_2(q) \\
 \frac{q}{(1-q)} &= \frac{k_1}{k_2} [C] = K[C] \\
 q &= \frac{K[C]}{1+K[C]} \quad \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

$$qW = V(C_i - C_e) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ หน่วยเป็นโมลต่อกิโลกรัม (mol/kg) หรือ โมลต่อกรัม (mol/g)

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็น มิลลิกรัม (mg) กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (kg)

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) หรือ ลิตร (l)

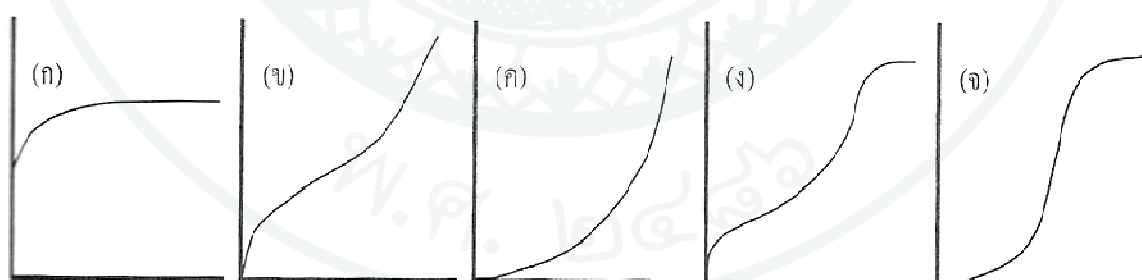
C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลาย หน่วยเป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

5.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550) อ้างโดย Maronand Prutton (1961)

จากภาพที่ 9 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอรั่มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอรั่มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

สมการไอโซเทอรั่มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ใน ที่นี้จะกล่าวถึง 4 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

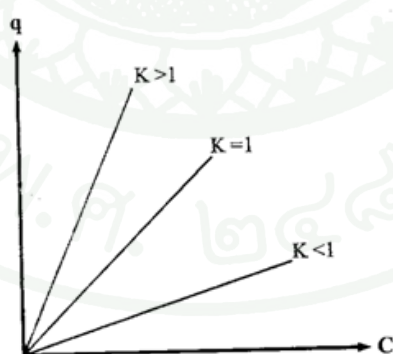
1) สมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear equation) จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และ C ตามสมการที่ (2)

$$K = \frac{q}{C}$$

จะได้

$$q = KC$$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลายในสถานะสมดุล โดยกำหนดว่า พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีบริเวณให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัด แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำ



ภาพที่ 10 ไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

$K > 1$ แสดงว่า ปริมาณตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้ได้มากบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่า ปริมาณตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่า การดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล

2) สมการการดูดซับของฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm) ใช้อธิบายไอโซเทอรั่มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface) หรือพื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนดลิช (freundlich constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอรั่มของการดูดซับโดยทั่วไป n จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (9) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots(5)$$

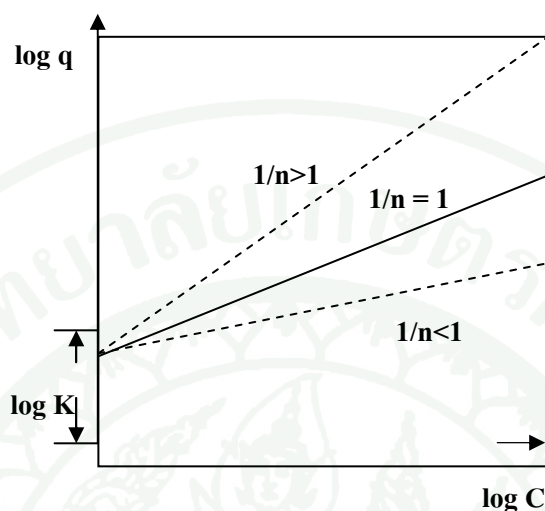
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กรัม

K คือค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$



ภาพที่ 11 กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

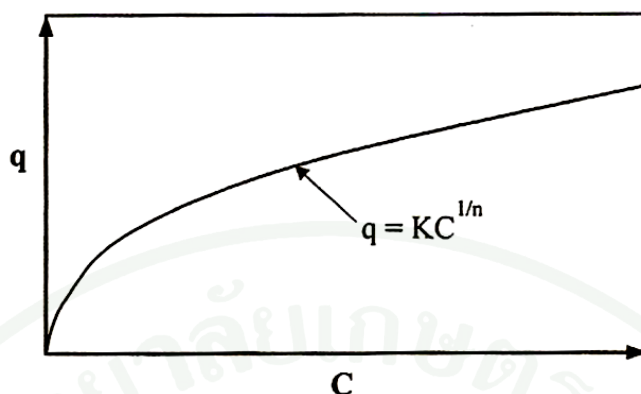
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ถ้า $\frac{1}{n} = 1$ ไอโซเทอรัมของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

ถ้า $\frac{1}{n} < 1$ บอกถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือกล่าวว่า มีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกถึงความสามารถของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีค่ามาก

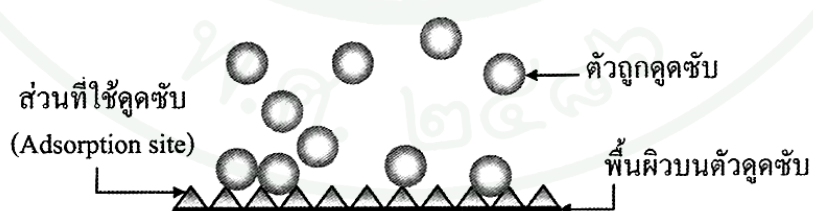
เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (9) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้



ภาพที่ 12 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรุนดิช

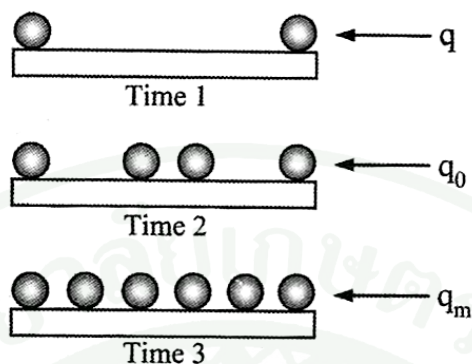
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

3) สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) มีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกัน (homogeneous adsorption surface) จะมีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่ซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งกับตัวถูกดูดซับอื่น พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 14 การดูดซับของแก๊สเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ และจากสมการที่ (1) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแก๊สจะใช้สมการที่ (1) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กรัม)

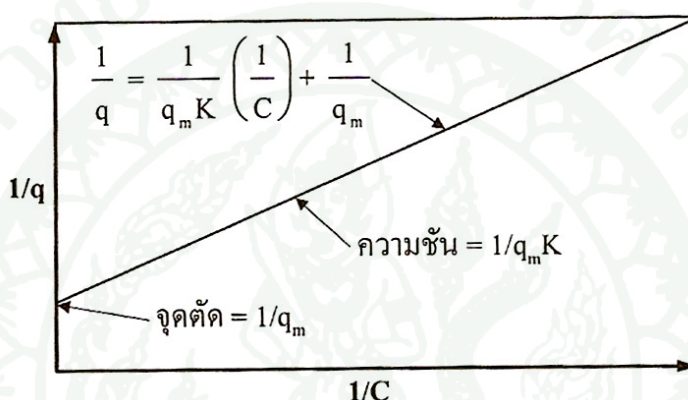
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{Kq_m}$

และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

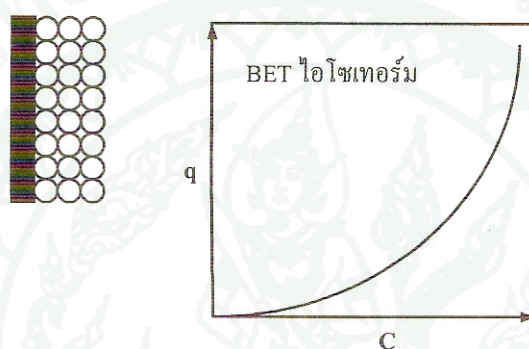
4) สมการการดูดซับแบบเบท(Brunauer Emmett Teller หรือ BET adsorption isotherm) ถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 3 ท่าน ในปี ค.ศ.1938 Stephen Brunauer, Paul Emmett และ Edward Teller โดยมีสมมติฐานดังนี้

- 4.1) การดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบหลายชั้น (multi-layer adsorption)
- 4.2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ
- 4.3) ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน
- 4.4) แต่ละชั้นของการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับต่อไป

สมการการดูดซับแบบเบทถูกพัฒนามาจากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{(C_0 - C)[1 + (K-1)C/C_0]} \dots\dots\dots(8)$$

กราฟที่เขียนระหว่าง q กับ C เป็นดังนี้



ภาพที่ 16 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท

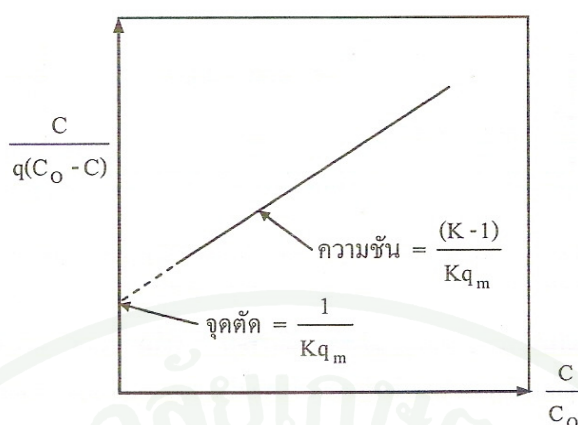
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (13) ใหม่จะได้สมการดังนี้

$$\frac{C}{q(C_0 - C)} = \frac{1}{q_m K q_m K} + \frac{(K-1)}{q_m K q_m K} \left(\frac{C}{C_0} \right) \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\frac{C}{q(C_0 - C)}$ จะได้ $\frac{C}{C_0}$ กราฟเส้นตรงมี

ความชันเท่ากับ $\frac{(K-1)}{Kq_m}$ เบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{Kq_m}$



ภาพที่ 17 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

จากที่กล่าวมาทั้งหมด พอสรุปได้ว่า สมดุลการดูดซับเป็นการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ที่สภาวะสมดุลความสัมพันธ์ระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับจะอธิบายด้วยไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งจะบอกด้วยอัตราส่วนปริมาณของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง

5.8 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

1) ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอกติเวเตดซิลิกา(zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก แต่ก็มีข้อเสีย คือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์ เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม

3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

4) วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จี้เลื่อย เปลือกกุ้ง (นำมาทำไคโตซาน) กากกาแฟที่ใช้แล้ว ซาและซาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) เถ้าแกลบดำ ชังข้าวโพด ถ่านจากการเผาต้นรูปถ่าน ถ่านกบกลม ต้นพุทธรักษา และผักตบชวา เป็นต้น

5) สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือ ราสายพันธุ์ต่าง ๆ และสาหร่าย

6. วัสดุดูดซับ

6.1 รูปถ่าน

6.1.1 การจัดอนุกรมวิธาน รูปถ่านเป็นวัชพืชชนิดหนึ่งมีการจัดอนุกรมวิธาน (Kartesz, 2002) ดังนี้

Division Magnoliophyta

Class Liliopsida

Subclass Commelinidae

Order Typhales

Family Typhaceae

Genus *Typha*

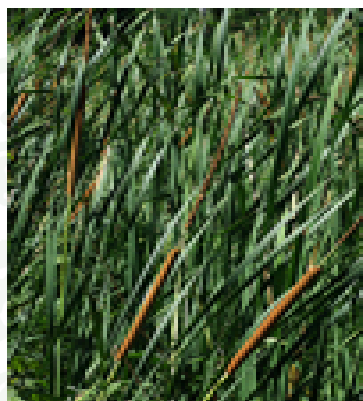
Species *angustifolia*

6.1.2 พฤกษศาสตร์ของรูปถ่าน

- ชื่อสามัญ รูปถ่าน กกช้าง กกรูป ฟื้อง หญ้ากกช้าง หญ้าปรือ หญ้าเฟื้อง ปรือ หญ้าสลาบลวง หญ้าสะลาบลวง ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Typha angustifolia* Linn.

- ลักษณะทั่วไป รูปถ่านเป็นวัชพืชที่แข็งแรงทนทานมีอายุข้ามปี มีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปและอเมริกา ลำต้นใต้ดินเป็นแบบ rhizome ลำต้นเหนือดินแข็งแรงประกอบด้วยใบแตกออกเป็นแผงสองแนวด้านข้างใบเดี่ยวโคนใบแผ่เป็นกาบใบหนาหุ้มประกบกันไว้ ใบแก่หุ้มใบอ่อนไว้ข้างในกาบใบด้านในมีเมือกเหนียว ๆ (สุชาติ, 2542) ดอกออกเป็นช่อแบบ Spike แน่นรูป

ทรงกระบอก ช่อดอกมองดูเหมือนรูปใหญ่ ๆ ดอกแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ด้านบน ส่วนตัวเมียอยู่ด้านล่าง เมล็ดมีขนาดเล็กมาก ปกคลุมด้วยขนสีขาว จึงทำให้สามารถปลิวไปกับลมได้ดี เมล็ดจะงอกบนดินเหนียวระดับน้ำเท่านั้น (Grace, 1985)



ภาพที่ 18 รูปฤาษี *Typha angustifolia* Linn.

ที่มา: สุชาดา (2542)

6.1.3 แหล่งที่พบ

พบได้ทุกภาคของประเทศไทย โดยจะเห็นตามริมถนน ริมคลอง หนองน้ำ บึง อ่างเก็บน้ำ และที่มีน้ำท่วมขัง แพร่กระจายทั้งในที่ลุ่มทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม สามารถทนความเป็นกรด-เบสและความเค็มได้ดี (Grace and Hallquist, 1981)

6.1.4 ประโยชน์และโทษของรูปฤาษี

ต้นรูปฤาษีจัดเป็นวัชพืชที่มีทั้งโทษและประโยชน์ เป็นโทษต่อแหล่งกักเก็บน้ำ เพราะต้นรูปฤาษีจะแพร่กระจายขึ้นเต็มพื้นที่ที่มีน้ำขัง ในที่ขึ้นและยากต่อการกำจัดให้หมดสิ้นไป ส่วนที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ การนำส่วนต่าง ๆ ของต้น เช่น กาบใบอ่อนนำมาทำกระดาดสา ใช้มุงหลังคากระท่อม ทำเครื่องสานอย่างหยาบ ดอกตัวเมียเมื่อแก่ใช้ทำดอกไม้แห้งประดับ หรือใช้ยัดไส้หมอนได้ ช่อดอกรูปฤาษีมีลักษณะคล้ายรูป ส่วนบนเป็นดอกตัวผู้ยาว 15-30 เซนติเมตร ส่วนล่างเป็นดอกตัวเมียยาว 7-28 เซนติเมตร เมื่อเจริญเต็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0-2.5 เซนติเมตร

สามารถนำมาตกแต่งเป็นดอกไม้ประดับได้ แต่ต้องมีวิธีการเก็บรักษาเนื่องจาก ดอกย่อยมีจำนวนมากหลุดร่วงง่าย และยังสามารถป้องกันการกัดเซาะของตลิ่งและป้องกันการชะล้างพังทลายได้ (Fassett and Calhoun, 1952)

6.2 กกกลม หรือ กกจันทบูรณ์

6.2.1 การจัดอนุกรมวิธานกกกลม เป็นวัชพืชชนิดหนึ่งมีการจัดอนุกรมวิธาน(ภาควิชาพืชศาสตร์, 2550) ดังนี้

Kingdom ae

Division Magnoliophyta

Class Liliopsida

Subclass Commelinidae

Order Poales

Family Cyperaceae

Genus Cyperaceae Juss.

Species Cyperus corymbosus



ภาพที่ 19 กกกลม *Cyperus corymbosus* Rottb.

ที่มา: ภาควิชาพืชศาสตร์ (2550)

6.2.2 พฤกษศาสตร์ของกกกลม

- กกกลม หรือ กกจันทบูรณ์ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cyperus corymbosus* Rottb. จัดอยู่ในวงศ์ CYPERACEAE

- ลักษณะทั่วไป ลักษณะของลำต้นแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ลำต้นใต้ดิน มีลักษณะเป็นแงสั้น ๆ หรือเหง้าคล้ายเหง้าชิงสีน้ำตาลดำ เรียกว่า rhizome ลำต้นที่ทอดยาวอยู่บนพื้นดิน มีลักษณะเป็นท่อนขนาดเล็กสีน้ำตาล มีความยาวตามชนิดของกก เรียกว่า stolon บางครั้งลำต้นส่วนนี้จะบวมโตขึ้นเป็นที่สะสมอาหาร แต่ขยายพันธุ์ไม่ได้ ลำต้นที่เป็นก้านยาว สีเขียว ชูขึ้นไปในอากาศ เรียกว่า arial stem บริเวณปลายสุดเป็นจุดที่ให้กำเนิดดอก ด้านหน้าตัดขวางของลำต้น ส่วนนี้จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมกลม หรือเกือบกลม เช่น กกลังคามีรูปร่างกลม กกสามเหลี่ยมใหญ่มีรูปร่างสามเหลี่ยม เป็นต้น ใบมีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ มีรูปร่างต่างกัน และมีจำนวนใบเพียงเล็กน้อยอยู่ติดกับปลายกาบหุ้มใบ (leaf sheath) ซึ่งห่อหุ้มส่วนของลำต้นสีเขียวอยู่ ดอกของกกมีทั้งดอกสมบูรณ์เพศและไม่สมบูรณ์เพศ แต่ส่วนใหญ่เป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรตัวผู้มีตั้งแต่ 1 ถึง 6 อัน โดยมากจะมี 3 อัน เกสรตัวเมียมี 1 อัน ยอดเกสรตัวเมียแยกออกเป็น 2 ถึง 3 แฉก กลีบเลี้ยงและกลีบดอกมักเปลี่ยนรูปไปเป็นขนหรือเป็นเส้นเล็ก หรืออาจไม่ปรากฏให้เห็นเลยก็ได้ ในแต่ละดอกจะมีแผ่นใบประดับรองรับอยู่ เรียกว่า glume ดอกมีขนาดเล็กรวมเป็นช่อดอกย่อย แต่ละช่อดอกย่อยจะติดอยู่กับแกนกลางของช่อดอกรวมกันเป็นช่อใหญ่ ซึ่งด้านใต้ของช่อดอกนี้จะมีใบประดับที่มีลักษณะเป็นแผ่นใบยาวรองรับอีกทีหนึ่ง ใบประดับเหล่านี้มีความยาวแตกต่างกันไปตามชนิดของกก อาจยาวหรือสั้นกว่าความยาวของช่อดอกก็ได้

กกกลมมีลักษณะลำต้นกลม เฉพาะลำต้นส่วนปลายใกล้ ๆ กับดอกเป็นสามเหลี่ยมลำต้นสีเขียวเข้มเป็นมัน สูงประมาณ 1-2 เมตร ดอกมีขนาดเล็กเป็นฝอยอยู่รวมกันเป็นช่อดอก เมื่อยังอ่อนมีสีเขียวอ่อน พออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ใบประดับช่อดอกเป็นแผ่นใบยาวเรียวสั้นกว่าความยาวของช่อดอก

6.2.3 แหล่งที่พบ

กกกลมเป็นกกที่นิยมใช้ทำเสื่อจันทบูร มีมากในจังหวัดแถบภาคตะวันออก คือจันทบุรี ตราด ระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา ริมแม่น้ำบางปะกง และตามลำคลองทั่วไป นครนายก อำเภองครักษ์ แถวประตูน้ำเสาวภาผ่องศรี และสมุทรปราการ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นต้น

6.2.4 ประโยชน์และโทษของกกกกลม

ประโยชน์ของกกกกลม มีดังนี้

6.2.4.1 ทำเป็นเสื้อสำหรับนอนและปูพื้นในห้องรับแขกแทนพรม และปูลาดตามพื้นโบสถ์ วิหาร เพื่อความสวยงามเป็นต้น

6.2.4.2 ทำเป็นกระเป๋าแทนกระเป๋าหนัง ซึ่งสามารถทำได้หลายแบบตามแต่ประดิษฐ์ เช่น ทำเป็นกระเป๋าใส่สตางค์ กระเป๋าหัวของสตรี กระเป๋าใส่เอกสาร เป็นต้น แต่มาปัจจุบันนี้มีผู้ทำกันน้อยมาก เพราะราคากระเป๋าหนัง กระเป๋าพลาสติกราคาถูกลงมาก การทำไม่ค่อยคุ้มค่าแรงงาน

6.2.4.3 ทำเป็นหมอน เช่นหมอนรองที่นั่ง หมอนพิงพนักเก้าอี้เรียกว่าหมอนเสือ

6.2.4.4 ทำเป็นเชือกสำหรับมัดห่อของ ร้านค้าทั่วไปนิยมใช้เชือกกกเพราะราคาถูก

6.2.4.5 นิยมทำกระสอบ เรียกว่า กระสอบกก

โทษของกกกกลม

กกกกลม เป็นวัชพืชในนาข้าว โดยมักเป็นพืชที่เกษตรกรไม่ต้องการ ขึ้นในนาข้าว กำจัดยาก และไม่ค่อยได้นำไปใช้ประโยชน์ โดยมักขึ้นในนาที่เป็นที่ลุ่มปานกลาง มีน้ำขัง

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธิดา และ ชลธิชา (2545) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของดอกธูปฤาษีเพื่อการบำบัดน้ำมันในน้ำเสีย ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบคทีเรียและระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง ด้วยวิธี Partition Gravimetric Method ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของ American Public Health Association พบว่า ดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมัน ร้อยละ 86-94 และร้อยละ 63-83 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบคทีเรีย และแบบไหลต่อเนื่อง ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นเยื่อที่ทำจากดอกธูปฤาษีไม่สามารถกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียได้ เนื่องจากไม่มีความพรุน ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดน้ำมัน คือระบบแบคทีเรีย ที่ใช้ปริมาณดอกธูปฤาษีมากกว่า 20 กรัมขึ้นไป ระยะเวลาสัมผัสในการบำบัดน้ำเสีย 30 นาที และเมื่อปริมาณดอกธูปฤาษีเพิ่มมากขึ้นจะสามารถกำจัดน้ำมันได้เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดอกธูปฤาษีกับระยะเวลาในการกักพัก โดยมีค่านัยสำคัญที่ 0.01

สนั่น (2545) ได้ทำการศึกษาการดูดซับไขมันและน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำเสียจากร้านอาหารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ปุยดอกธูปฤาษี ผลการทดลองพบว่า ปุยดอกธูปฤาษีที่ใช้ในการทดลองมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.0097-0.0139 กรัมต่อมิลลิลิตร ในการทดลองทำการแปรผันปริมาณปุยดอกธูปฤาษีที่ 2 กรัม 2.5 กรัม 3 กรัม ตามลำดับ และแปรผันกับระยะเวลาดูดซับไขมันและน้ำมันที่ 20, 30, 40, 60, 90 นาที ตามลำดับ พบว่า ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับได้ขึ้นอยู่กับปริมาณปุยดอกธูปฤาษีที่ใช้ และระยะเวลาดูดซับได้ดีในช่วงระยะเวลา 20-40 นาที แต่ที่ระยะเวลา 60 และ 90 นาที ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับไขมันและน้ำมันค่อนข้างคงที่

สุภาพร และพิชญ์ (2537) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของวัชพืชน้ำ 3 ชนิดได้แก่ ธูปฤาษี ผักตบชวา และแขม ในการบำบัดน้ำเสียโดยนำธูปฤาษีใบกว้างและใบแคบ โดยศึกษาถึงน้ำหนักของผลผลิตในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนัก พบว่าธูปฤาษีสามารถใช้น้ำบำบัดน้ำเสียได้ โดยดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำได้ปริมาณสูงเมื่อเทียบกับผักตบชวาและแขม และธูปฤาษีใบกว้างสามารถดูดซับแร่ธาตุ N, P, K, Ca, Mg, Zn และ Cu ได้ปริมาณสูงกว่าธูปฤาษีใบแคบ และดูดซับธาตุอาหารปริมาณสูงสุดของส่วนที่อยู่ใต้ดิน คือ Na, Zn และ Cu

สุชาดา และคณะ(2537) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบดินหรือแปลงดินมาทำการศึกษาพร้อมกับพืชหลายชนิด คือ กกกลม กกสามเหลี่ยม แห้วกระดาน และธูปฤาษี พบว่าการ

บำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบดินร่วมกับพืชนั้น ควรใช้กกกล่ม กกสามเหลี่ยม หัวกระดาน และ ฐปฤยาธิ เพราะเป็นพืชทดลองพบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์พืชทั้ง 3 ชนิดได้โดยไม่มีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารของมนุษย์

นนท์ และ สุวฤทธิ์ (2540) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของวัสดุต่างๆ เพื่อเป็นวัสดุรองของระบบบำบัดน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์เป็นน้ำที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่เลือกใช้ในการกรองได้แก่ กาบมะพร้าว แกลบเผา และขี้เลื่อย ตัววัดลักษณะของน้ำเสีย คือ pH COD Suspended Solid และ Oil and Grease จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำวัสดุ กาบมะพร้าวใช้ร่วมกับแกลบเผา สามารถลดค่า COD, Suspended Solid และ Oil and Grease ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ สามารถลดค่า COD ได้ต่ำกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (70.80-91.77%) ลด Suspended Solid ได้ร้อยละ 80.0 และลด Oil and Grease ได้ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

Boyde (1970) พบว่า ฐปฤยาธิเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพกำจัดและบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากว่ารากฐปฤยาธิสามารถดูดซับธาตุอาหาร อันได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่กระจายอยู่ในน้ำเสียได้ มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง และสามารถดูดซับธาตุโลหะหนักอื่นๆ ได้ เช่น โปรท ตะกั่ว แคดเมียม นอกจากนี้ ฐปฤยาธิยังนำมาใช้ประโยชน์ในด้านจักสาน มุงหลังคาบ้าน และทำกระดาดสา เนื่องจาก ก้านฐปฤยาธิมีเชื้อไฟเบอร์จำนวนมาก ทำให้มีความเหนียว ฐปฤยาธิมีองค์ประกอบที่เป็นธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม คิดเป็นร้อยละ 2.33, 0.51 และ 2.35 ตามลำดับ หากนำมาทำปุ๋ยหมักจะมีปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักสูงด้วย (สุภาพร และเมธิ, 2537)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 pH meter บริษัท Thermo Orion Co.,Ltd.

1.2 เครื่องเขย่า (shaker) Model VRN-480 บริษัท GEMMY Orbit Shaker

1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด อ่านค่าละเอียด 0.0001g รุ่น WB-0250003
บริษัท KERM & Sohn GmbH

1.4 ตู้อบ (Oven) รุ่น OF-11E บริษัท JEIO TECH, KOREA

1.5 เครื่องเคาะ

1.6 เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (ล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นจนสะอาด)

1.7 ถุงตาข่าย เบอร์ 20

1.8 เครื่องกวน (ใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์)

2. สารเคมี

2.1 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดเทคนิคพิเศษ บริษัท Uni chem chemical Reagents

2.2 เฮกเซน (n – Hexane) เกรดเทคนิคพิเศษ บริษัท Ajax Finrchem Pty Ltd.

3. น้ำมันพืช

4. วัสดุชุบ

4.1 รูปถ่าย

4.2 กกกลม

วิธีการ

1. การเตรียมตัวชุบ

1.1 ตัวชุบรูปถ่าย

นำต้นรูปถ่ายที่ตัดส่วนรากทิ้ง มาตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 20 และตากแดดให้แห้งประมาณ 3 วัน อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บรูปถ่ายที่ผ่านการอบในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป



ภาพที่ 20 รูปถ่าย

1.2 ตัวชุบกกลม

วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ ข้อ 1.1

2. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณน้ำมันปริโกค 0.5 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร(5000 ppm)

3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยรูปถ่ายและกล้อง โดยทำการทดลองแบบเบตซ์

3.1 ศึกษาอิทธิพลของพีเอช (pH) เริ่มต้น

ทำการทดลองโดยชั่งรูปถ่าย ปริมาณ 0.5 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีการปรับพีเอชให้มีค่าต่าง ๆ กัน คือ 3, 5, 7, 9 และ 10 ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำมากรอง นำตัวดูดซับที่อยู่บนกรวยกรองเทใส่ถ้วยกระเบื้อง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเคสติกเตอร์นำไปชั่ง และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน ดังวิธีวิเคราะห์ที่แสดงในภาพภาคผนวกที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

นำกกกลมมาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับรูปถ่าย

3.2 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1 โดยใช้พีเอชเริ่มต้นที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดที่ได้ศึกษาได้จากข้อ 3.1 และแปรผันความเร็วรอบในการเขย่าเป็น 50, 100, 150, 200 รอบ/นาที ดังแสดงในภาพที่ 21 ทำการปรับความเร็วรอบในการเขย่าให้มีความเร็วรอบในการเขย่าให้เท่ากับความเร็วยรอบที่ต้องการศึกษา

นำกกกลมมาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับรูปถ่าย



ภาพที่ 21 การศึกษาอิทธิพลความเร็วรอบในการเขย่า

3.3 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2 โดยใช้ น้ำเสียดังเคราะห์ที่ปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 และแปรผันระยะเวลาเขย่าเป็น 10, 30, 60, 90, 120 รอบ/นาที

นำกกกลมาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับรูปถ่าย

3.4 ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุล (ระยะเวลาสัมผัส)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3 โดยใช้ระยะเวลาเขย่าในการเขย่าที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.3 และผันแปรระยะเวลาเข้าสู่สมดุลที่ 10, 30, 60, 90, 120 นาที

นำกกกลมาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับรูปถ่าย

3.5 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไขมันและน้ำมัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4 โดยแปรผันปริมาณไขมันและน้ำมันเป็น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร

นำกกกลมาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับรูปถ่าย

3.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณรูปถ่ายและกกกลม และไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.5 โดยแปรผันปริมาณของรูปถ่ายที่มีปริมาณ 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 กรัม ตามลำดับ

นำกกกลมมาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับรูปถ่าย และนำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

4. การเก็บน้ำตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง คือ บริเวณด้านหลังของโรงอาหารเป็นที่รวมน้ำทิ้งจากการล้างภาชนะและการประกอบอาหารของร้านอาหารต่างๆ ที่อยู่ภายในโรงอาหาร ซึ่งมีการกำจัดเศษอาหารโดยใช้ตะแกรงดัก แต่น้ำทิ้งก็ยังคงมีคราบไขมันและน้ำมันหลงเหลืออยู่

นำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น เช่น พีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น ซีไอดี บีไอดี ไขมันและน้ำมัน ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ความเค็ม เป็นต้น เพื่อทราบคุณภาพน้ำก่อนที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

5. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำตัวอย่างด้วยวิธีแบบเบตซ์

นำน้ำตัวอย่างมา 100 มิลลิลิตร มาทำการทดลองด้วยสภาวะการดูดซับที่ดีที่สุดที่ศึกษาได้จากข้อที่ 3.1 ถึง 3.6

6. ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน โดยประยุกต์การทดลองเพื่อนำไปใช้งานได้จริง

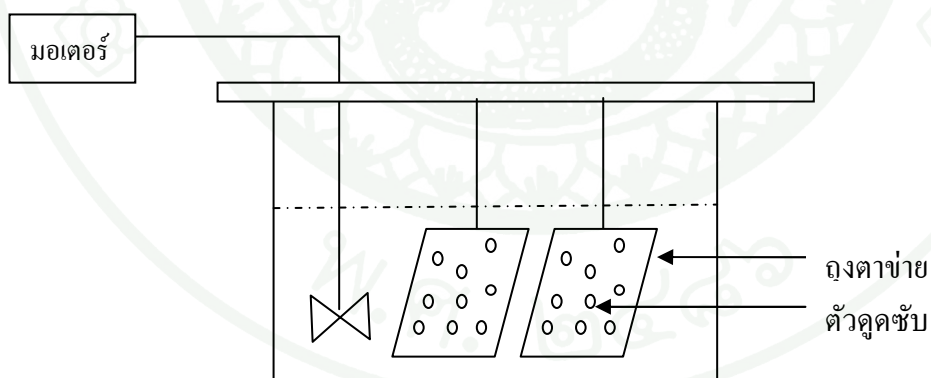
เตรียมถุงตาข่ายพลาสติก เบอร์ 20 เย็บให้มีขนาดประมาณ 11x21 ตารางเซนติเมตร สำหรับบรรจุตัวดูดซับ (ดังแสดงในภาพที่ 22) นำถุงที่ได้ศึกษาไปศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับไขมันและน้ำมัน



ภาพที่ 22 ถุงตาข่ายสำหรับใช้ในการทดลอง

นำถุงตาข่ายพลาสติกที่บรรจุตัวดูดซับรูปถั่วลิสงละ 10 กรัม ใส่ลงในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำที่จากโรงอาหารปริมาตร 10 ลิตร ทำการกวนด้วยเครื่องกวนใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 23 และทำการเพิ่มตัวดูดซับรูปถั่วลิสง 20 กรัม ทำการทดลองซ้ำจนได้ร้อยละการดูดซับคงที่ โดยใช้ระยะเวลาเท่ากับที่ศึกษาได้จากวิธีแบบเบตซ์

นำกกกลมมาทำการทดลองเช่นเดียวกับรูปถั่วลิสง



ภาพที่ 23 แสดงการศึกษการดูดซับด้วยเครื่องกวนใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์

6. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในอาคารของวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาทำการศึกษาวิจัย 12 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554



ผลและวิจารณ์

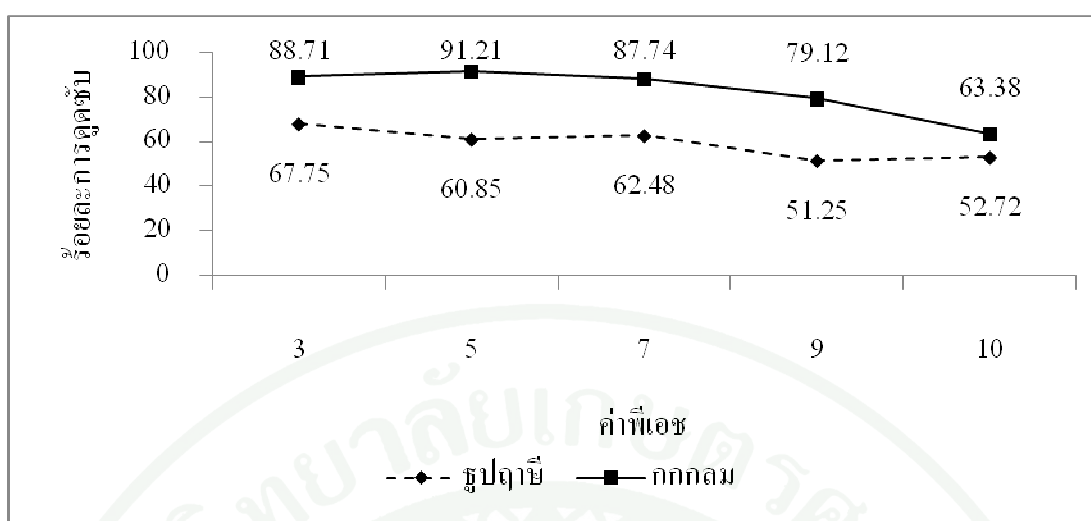
การศึกษาการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยรูปถ่ายและกกกลม ด้วยวิธีทดลองแบบเบตซ์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่จะมีผลต่อสถานะการดูดซับ ได้แก่ พีเอช (pH) ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาเขย่า ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (contact time หรือ equilibrium time) ความเข้มข้นไขมันและน้ำมันในน้ำ และ ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร โดยมีการประยุกต์การทดลองเพื่อนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยรูปถ่ายและกกกลม โดยทำการทดลองแบบเบตซ์

1.1 ศึกษาอิทธิพลของพีเอช

จากการทดลองข้อที่ 3.1 ใช้ปริมาณตัวดูดซับรูปถ่าย 0.5 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณน้ำมัน 0.5 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร พีเอชที่ศึกษา คือ 3 ,5, 7, 9, 10 พบว่าที่พีเอช 3 รูปถ่ายสามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุด โดยให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 67.75

ส่วนตัวดูดซับกกกลม ทำการทดลองเช่นเดียวกับตัวดูดซับรูปถ่าย พบว่าที่พีเอช 5 ให้ผลร้อยละการดูดซับที่ดีที่สุด คือ ร้อยละ 91.21 ดังแสดงในภาพที่ 24

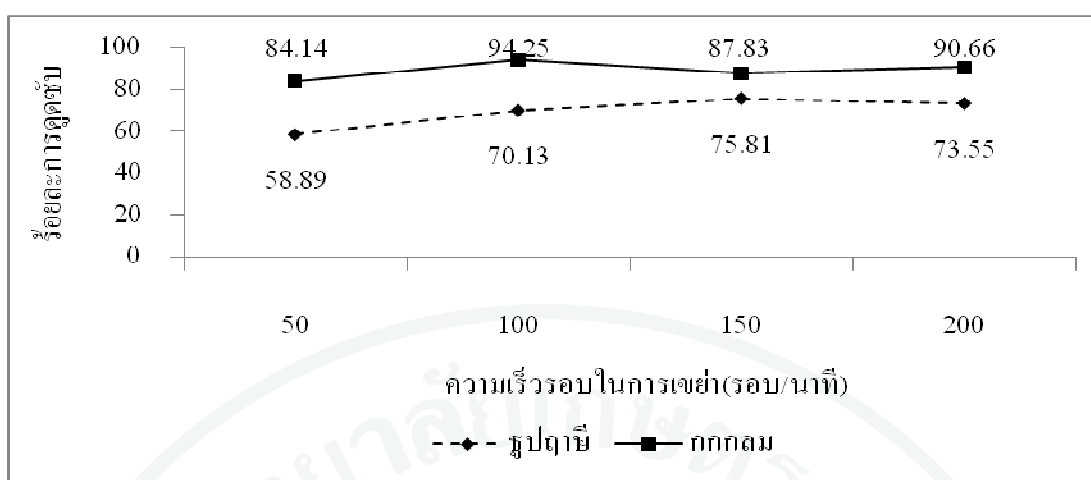


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ้วยและกกกลม

การดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยตัวดูดซับชีวภาพทั้งสองชนิดนี้เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal force) ดังนั้น ในสภาวะกรดและกลางไขมันและน้ำมันไม่เกิดการแตกตัว จึงทำให้เกิดการดึงดูดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ได้ดี แต่ที่สภาวะเบสการดูดซับไขมันและน้ำมัน ด้วยตัวดูดซับรูปถ้วยและกกกลม มีแนวโน้มลดลงเนื่องจาก สภาวะเบสทำให้หมู่ไฮดรอกซิลที่โครงสร้างเซลล์ของตัวดูดซับแตกตัวใหม่ให้ไฮโดรเจนไอออน และเซลล์มีสภาพเป็นลบ จึงมีการดูดซับไขมันและน้ำมันที่เป็นโมเลกุลโควาเลนต์ที่มีอิเล็กตรอนอยู่มากหรือมีสภาพลบเหมือนกันได้ไม่ดี ดังนั้น จากผลการทดลอง ในช่วง pH ที่เป็นกรดจนถึงเป็นกลางให้ผลร้อยละการดูดซับไม่ต่างกันมากนัก เพื่อความสะดวก และลดการใช้สารเคมี ผู้วิจัยจึงเลือกที่พีเอช 7 ในการทดลองต่อไป

1.2 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า

จากการทดลองในข้อที่ 3.2 ปริมาณรูปถ้วยหรือกกกลม 0.5 กรัม พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7 ทำการแปรผันความเร็วรอบการเขย่าให้เท่ากับ 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที

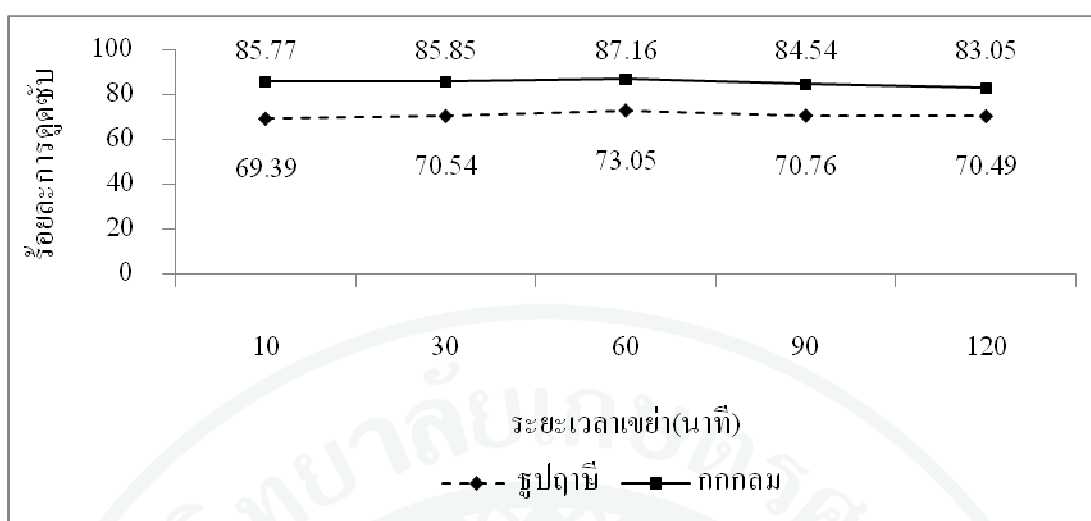


ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการแช่กับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม

จากภาพที่ 25 พบว่า ความเร็วรอบในการแช่ที่ให้ผลร้อยละการดูดซับสูงสุด สำหรับตัวดูดซับรูปถ่ายและกกกลม เท่ากับ 150 และ 100 รอบ/นาที ตามลำดับ ซึ่งการแช่ที่ความเร็วรอบต่ำจะส่งผลให้ฟิล์มน้ำ ที่ล้อมรอบสารดูดซับยังมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับ หรือโมเลกุลของไขมันและน้ำมันเข้าไปหาตัวดูดซับ ทำให้การดูดซับลดลง ส่วนการแช่ที่ความเร็วรอบสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็วขึ้น (นิพนธ์และกนิดา, 2550)

1.3 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาแช่

จากการทดลองในข้อที่ 3.3 ใช้ปริมาณรูปถ่ายหรือกกกลม 0.5 กรัม พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 7 ความเร็วรอบการแช่ของรูปถ่ายและกกกลมที่ 150 และ 100 รอบ/นาที ตามลำดับ และแปรผันระยะเวลาแช่ที่ 10, 30, 60, 90 และ 120 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 26

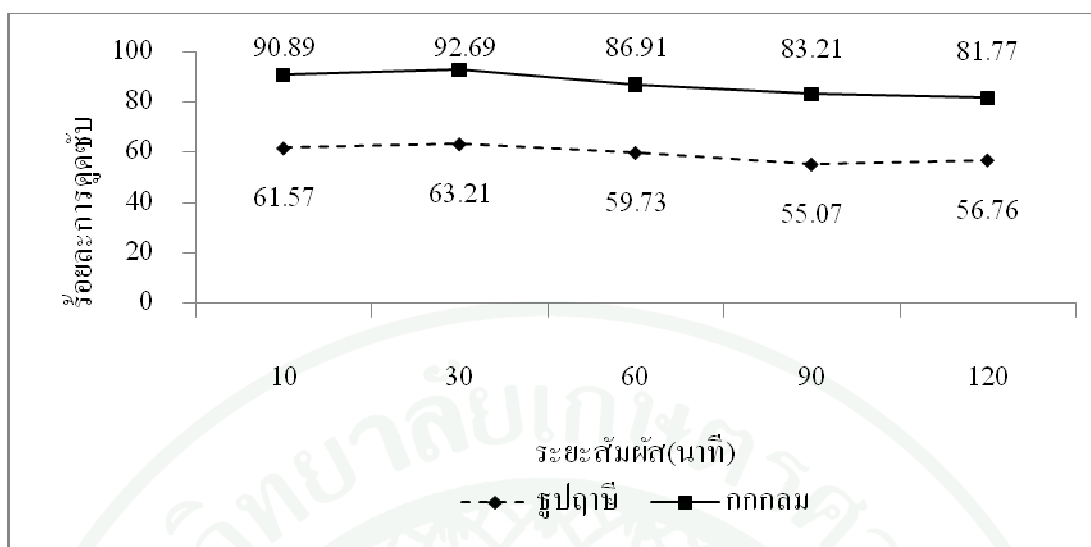


ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาแช่กับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปดาณีและกกกลม

จากภาพที่ 26 พบว่า ร้อยละการดูดซับน้ำมันของตัวดูดซับทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาแช่จาก 10 เป็น 30 และ 60 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มอัตราแช่เป็นการช่วยลดความหนาชั้นฟิล์มของน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ และทำให้โมเลกุลของน้ำมันเคลื่อนที่ได้มาก ทำให้น้ำมันเข้าถึงตัวดูดซับได้มากขึ้น ที่ระยะเวลาแช่ 60 นาทีของรูปดาณีและกกกลม พบว่า ให้ร้อยละการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 73.05 และ 87.16 ตามลำดับ แต่เนื่องจากที่ระยะเวลาแช่ของรูปดาณีและกกกลมที่ 30 นาที ให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 70.54 และ 85.85 ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลาแช่ 60 นาทีมากนัก ดังภาพที่ 26 เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและพลังงาน ผู้วิจัยจึงเลือกระยะเวลาแช่ที่ 30 นาที ในการทดลอง และเมื่อแช่เป็นระยะเวลา 90 และ 120 นาที ร้อยละการดูดซับลดลง อาจเนื่องจากผิวของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยน้ำมันจนเต็มพื้นที่การแช่ เมื่อทำการแช่เพิ่มทำให้โมเลกุลน้ำมันที่ถูกดูดซับหลุดออกมาได้

1.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่สมดุล หรือระยะเวลาสัมผัส

จากการทดลองในข้อที่ 3.4 ใช้ปริมาณรูปดาณีและกกกลมชนิดละ 0.5 กรัม พิเศษของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7 ความเร็วรอบการแช่ของรูปดาณีและกกกลมที่ 150 ,100 รอบ/นาที ตามลำดับ ระยะเวลาแช่ที่ 30 นาที และแปรผันระยะเวลาเข้าสู่สมดุลเป็น 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 27

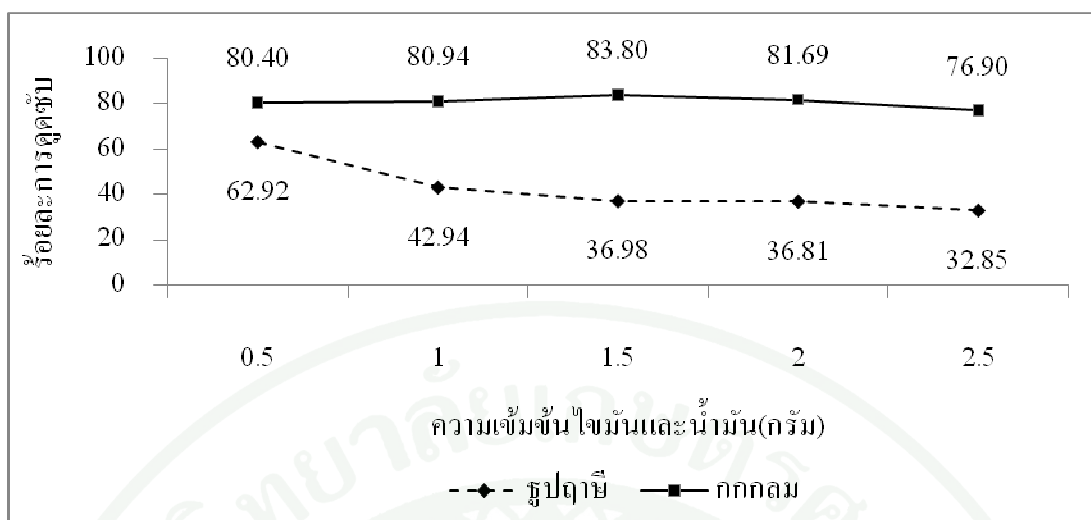


ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเข้าสู่สมดุลหรือระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกอกกลม

จากการทดลองพบว่า ภายหลังจากการเขย่าและตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของทั้งรูปถ่ายและกอกกลมมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 63.21 และ 92.69 ตามลำดับ ดังภาพที่ 27 ซึ่งเป็นเวลาที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับอิ่มตัวด้วยน้ำมันที่ถูกดูดซับ และเข้าสู่ภาวะสมดุล และเมื่อตั้งทิ้งไว้นานขึ้นทำให้เกิดการคายซับ (desorption) มากขึ้น จึงทำให้ร้อยละการดูดซับลดลง

1.5 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไขมันและน้ำมัน

จากการทดลองในข้อที่ 3.5 พบว่า ใช้ปริมาณรูปถ่ายและกอกกลมชนิดละ 0.5 กรัม พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7 ความเร็วรอบการเขย่าของรูปถ่ายและกอกกลมที่ 150 ,100 รอบ/นาที ตามลำดับ ระยะเวลาเขย่าที่ 30 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที และแปรผันความเข้มข้นน้ำมันและไขมันของน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 กรัม หรือเทียบเท่ากับ 5,000 ,10,000, 15,000, 20,000, 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 28

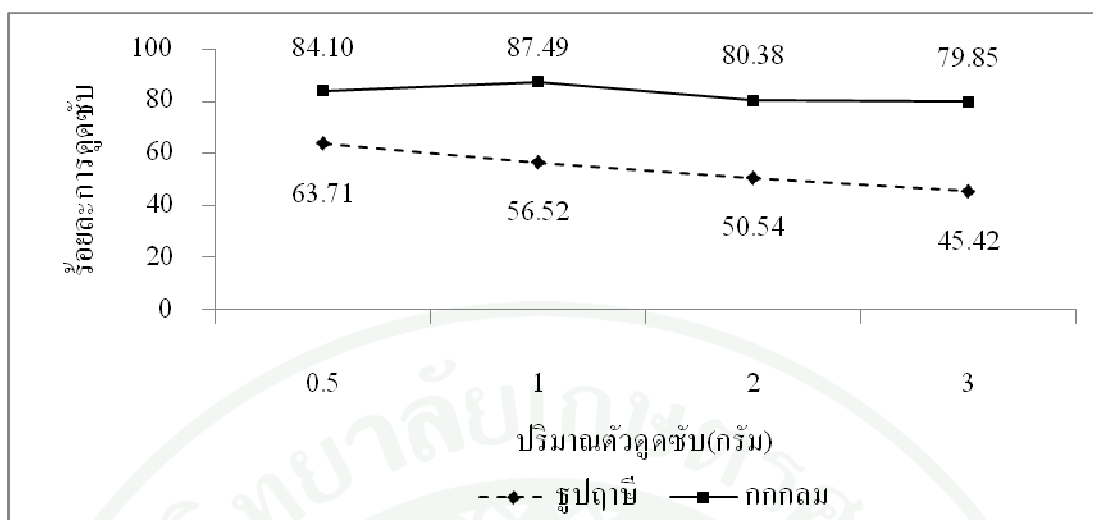


ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไขมันและน้ำมันกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม

จากภาพที่ 28 พบว่า รูปถ่าย 0.5 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันปริมาณ 0.5 กรัม (หรือ 5 ppm) ได้ดีที่สุด ร้อยละการดูดซับ 62.92 ส่วนกกกลม 0.5 กรัมสามารถดูดซับน้ำมันและไขมันปริมาณ 1.5 (หรือ 15 ppm) ได้ดีที่สุดและร้อยละ 83.80 และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันสูงจะมีจำนวนโมเลกุลของไขมันและน้ำมันมาก และพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด ตัวถูกดูดซับจึงไม่สามารถดูดซับไว้ที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับได้ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง (นิพนธ์และคณะ, 2550)

1.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณรูปถ่ายและกกกลม และไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมัน

จากการทดลองในข้อที่ 3.5 พบว่า ปริมาตรรูปถ่ายหรือกกกลมชนิดละ 0.5 กรัม ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ 7 ความเร็วรอบการเขย่าของรูปถ่ายและกกกลมที่ 150 ,100 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่าที่ 30 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาทีตามลำดับ น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 5 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการแปรผันปริมาณของตัวดูดซับรูปถ่ายหรือกกกลมเป็น 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 กรัม ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปถ่ายและกกกลมกับร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและกกกลม

จากภาพที่ 29 พบว่า รูปถ่ายและกกกลมที่มีปริมาณต่าง ๆ กันมีผลต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันของรูปถ่ายและกกกลม โดยรูปถ่ายและกกกลมสามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดปริมาณ 0.5 กรัม และ 1 กรัมตามลำดับ ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 63.71 และร้อยละ 87.49 ตามลำดับ แสดงว่า ณ สภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับของตัวดูดซับรูปถ่ายและกกกลม มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 640 มิลลิกรัมต่อกรัม และกกกลม 870 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

คำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับของตัวดูดซับรูปถ่ายและกกกลม

สภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับของตัวดูดซับรูปถ่าย

รูปถ่าย 0.5 กรัม ต่อ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร มีร้อยละการดูดซับ เท่ากับ 63.71

รูปถ่าย 0.5 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ คิดเป็นร้อยละ 63.71

รูปถ่าย 0.5 กรัม ดูดซับน้ำมันได้ $\frac{63.71}{100} \times 0.5 = 0.32$ กรัม

รูปถ่าย 1.0 กรัม ดูดซับน้ำมันได้ $0.32 \times 2 = 0.64$ กรัม

$$\text{รูปถ่าย 1.0 กรัม ดูดซับน้ำมันได้} \quad 0.64 \times 1000 = 640 \text{ มิลลิกรัม}$$

ดังนั้น รูปถ่าย 1 กรัม ดูดซับน้ำมันได้เท่ากับ 640 มิลลิกรัม

สภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับของตัวดูดซับกกกลม

กกกลม 1.0 กรัม ต่อ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร มีร้อยละการดูดซับ เท่ากับ 87.49

กกกลม 1.0 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ คิดเป็นร้อยละ 87.49

$$\text{กกกลม 1.0 กรัม ดูดซับน้ำมันได้} \quad \frac{87.49}{100} \times 1.0 = 0.87 \text{ กรัม}$$

$$\text{กกกลม 1.0 กรัม ดูดซับน้ำมันได้} \quad 0.87 \times 1000 = 870 \text{ มิลลิกรัม}$$

ดังนั้น กกกลม 1 กรัม ดูดซับน้ำมันได้เท่ากับ 870 มิลลิกรัม

จากการศึกษาหาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้ด้วยวิธีการแบบเบคค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สามารถสรุปได้ว่า รูปถ่ายและกกกลมที่ปริมาณต่างกัน คือ รูปถ่าย 0.5 กรัมและกกกลม 1 กรัม มีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไขมันและน้ำมันที่พีเอช 7 ความเร็วรอบการเขย่า คือ 150 และ 100 รอบ/นาทีตามลำดับ ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 5,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ รูปถ่ายและกกกลมสามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ ร้อยละ 63.71 และ 87.49 ดังแสดงในตารางที่ 1

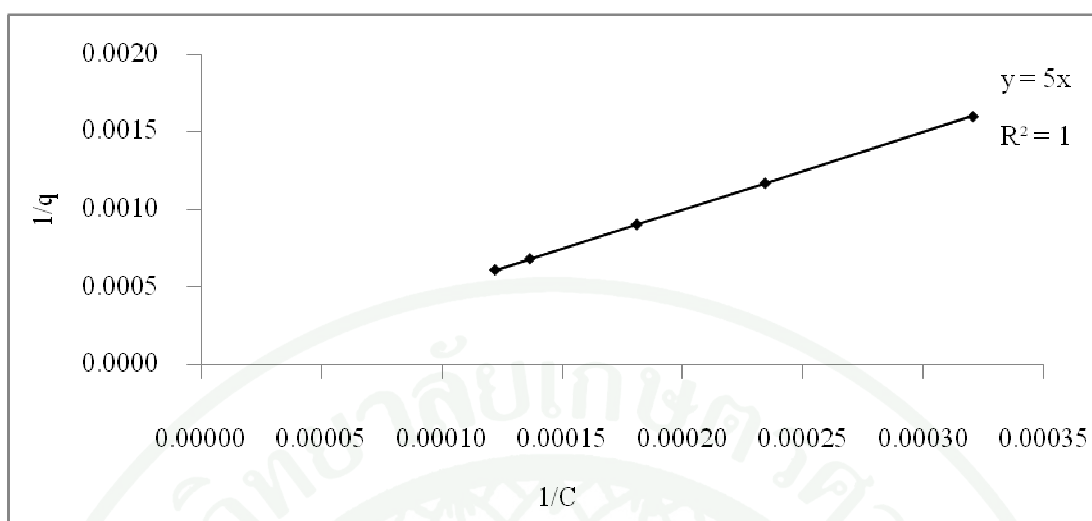
ตารางที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมเพื่อบำบัดไขมันและน้ำมัน

ตัวดูดซับ	pH	ปริมาณ ตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณ น้ำมัน (กรัม)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ระยะเวลา ปั่นกวน (นาที)	ระยะเวลา สัมผัส (นาที)	ร้อยละ การดูดซับ
รูปถ่าย	7	0.5	0.5	150	30	30	63.71
กกกลม	7	1	1.5	100	30	30	87.49

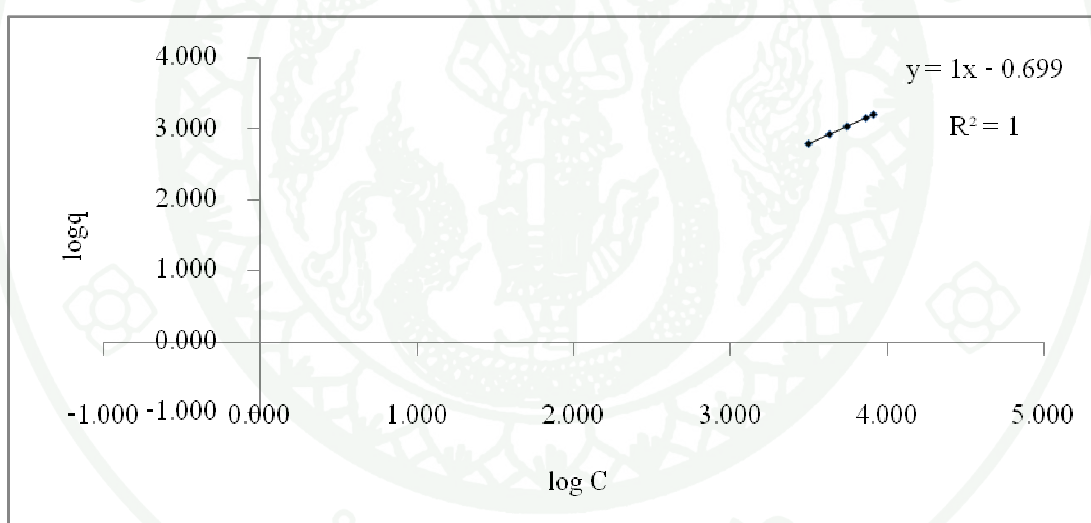
จากการศึกษา รูปถ่ายและกกกลมสามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ ร้อยละ 63.71 และ 87.49 ตามลำดับ จะเห็นว่า กกกลมมีประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันและน้ำมันมากกว่ารูปถ่าย เนื่องจากกกกลมมีโครงสร้างเซลล์โลสเรียงตัวสม่ำเสมอ และอัดตัวกันแน่น มีความพรุนมากกว่า ดังนั้นรูพรุนของโครงสร้างเซลล์โลสของตัวดูดซับกกกลมจึงมากกว่ารูปถ่าย ทำให้ความสามารถในการดูดซับสูงกว่า นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีผลต่อการดูดซับเช่นกัน คือ ถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง จากการทดลองขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ(น้ำมัน)กับ ตัวดูดซับ (รูปถ่าย และกกกลม) ขนาดโมเลกุลน้ำมันมีขนาดที่พอเหมาะกับรูพรุนของตัวดูดซับกกกลม มากกว่าขนาดรูพรุนของตัวดูดซับรูปถ่าย จึงส่งผลทำให้ร้อยละการดูดซับของกกกลมมากกว่ารูปถ่ายนั่นเอง

สำหรับการหาไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของตัวดูดซับ นำผลจากการศึกษา อิทธิพลของไขมันและน้ำมันของรูปถ่ายและกกกลมที่เหมาะสม มาทำการศึกษาหาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันจากสารละลายน้ำมันมาตรฐานของรูปถ่าย เมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 30 ,31 ตามลำดับ



ภาพที่ 30 ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของแลงเมียร์ด้วยรูปถ่าย



ภาพที่ 31 ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของฟรอนด์ชด้วยรูปถ่าย

ผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับไขมันและน้ำมันจากสารละลายน้ำมันมาตรฐานทั้งสองไอโซเทอร์มมีค่าเท่ากัน เท่ากับ 1 ตามลำดับ ค่าทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และค่าที่ได้นี้มีค่าความสัมพันธ์กันสูงมาก (0.90-1.00) ดังนั้น การดูดซับไขมันและน้ำมันจากสารละลายน้ำมันมาตรฐานจึงสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรอนด์ช กลไกการดูดซับของแลงเมียร์นั้น พื้นผิวบนตัวดูดซับจะเป็นแบบเดียวกันหมดมีกลไก

การดูดซับที่เหมือนกัน โดยตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับชั้นเดียว มีการเรียงตัวที่เหมือนกัน ไม่ซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ不会再มีการเคลื่อนที่ ส่วนกลไกการดูดซับฟรอนดิช เป็นพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบวិวิพันธ์ พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ตลอด การดูดซับไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับได้ และตัวถูกดูดซับจะสามารถเคลื่อนที่ได้

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของแลงเมียร์โดยทั่วไป คือ $q = \frac{q_m KC}{1+KC}$

นำมาเขียนสมการใหม่ในรูปสมการเส้นตรงได้ ดังสมการที่ (12)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \text{..... (12)}$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\frac{1}{q} = 0 + \left(\frac{1}{5c} \right) \quad \text{..... (13)}$$

จากสมการที่ 13 เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความ

ชันเท่ากับ 5 นั่นคือ

$$\frac{1}{Kq_m} = 5$$

$$\frac{1}{q_m} = 0$$

ดังนั้น $K = 0$

จากไอโซเทอร์มสมการการดูดซับของแลงเมียร์ พบว่าค่า K มีค่า 0 แสดงว่า ปริมาณน้ำมัน (ตัวถูกดูดซับ) ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ(รูปถาณ)

สำหรับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของฟรุณดิช โดยทั่วไป คือ $q = KC^{1/n}$ นำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึม ได้ดังสมการที่ 14

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(14)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\log q = -0.699 + 1 \log C \quad \dots\dots\dots(15)$$

จากสมการที่ 15 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log c$ ได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1 และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ -0.699 นั่นคือ

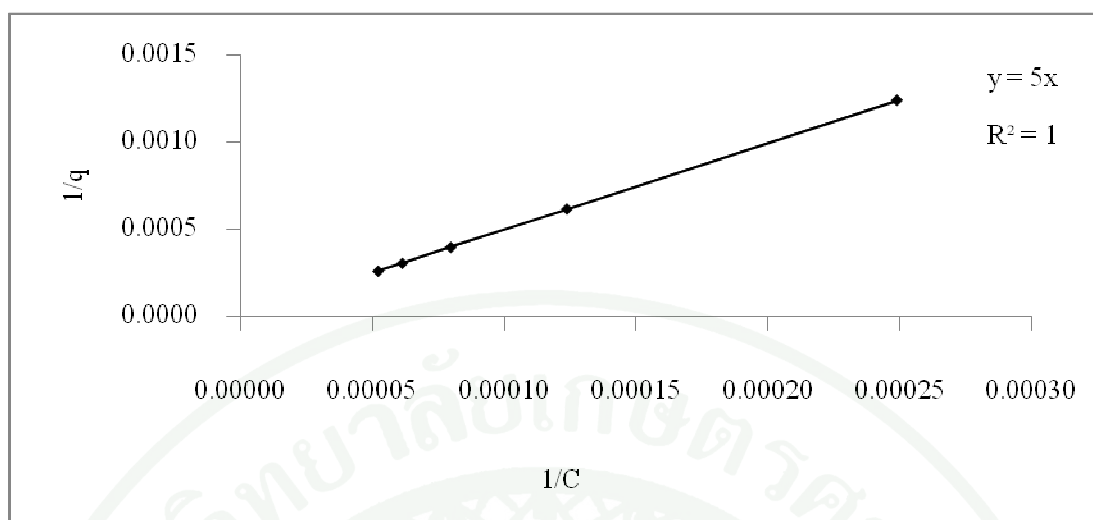
$$\log K = -0.699$$

$$\frac{1}{n} = 1$$

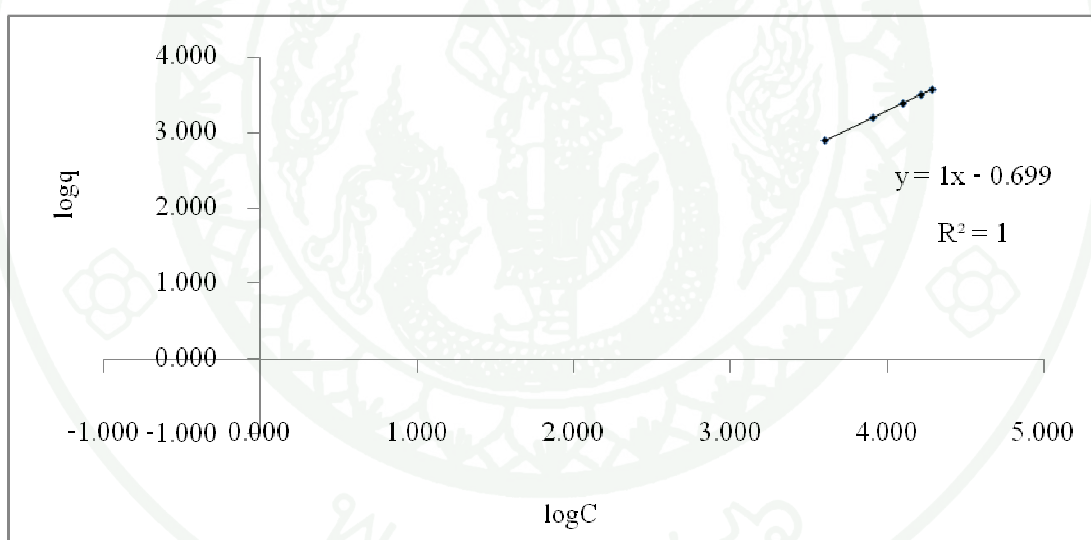
$$n = 1$$

ไอโซเทอร์มจากสมการดูดซับของฟรุณดิช พบว่า ค่า $\frac{1}{n}$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

สำหรับกกลมไอโซเทอร์มในการดูดซับไขมันและน้ำมันในสารละลายน้ำมันมาตรฐาน นำมาเขียนกราฟแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุณดิช ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 32 และ 33 ตามลำดับ



ภาพที่ 32 ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของแลงเมียร์ด้วยกกกลม



ภาพที่ 33 ไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของฟรุนดิชด้วยกกกลม

ผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับไขมันและน้ำมันจากสารละลายน้ำมันมาตรฐานทั้งสองไอโซเทอร์ม มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งตัวเลขค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้บ่งบอกถึงขนาดความสัมพันธ์ซึ่งกันเป็นความสัมพันธ์กันในระดับสูง (0.90-1.00) ซึ่งค่าทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ดังนั้น การดูดซับไขมันและน้ำมันจากสารละลายน้ำมันมาตรฐานจึงสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดิช กลไกการดูดซับของแลง

เมียร์นั้น พื้นผิวบนตัวดูดซับจะเป็นแบบเดียวกันหมดมีกลไกการดูดซับที่เหมือนกัน โดยตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับชั้นเดียว มีการเรียงตัวที่เหมือนกัน ไม่ซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ ไม่มีการเคลื่อนที่ ส่วนกลไกการดูดซับฟรุนดิช เป็นพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด การดูดซับไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับได้ และตัวถูกดูดซับจะสามารถเคลื่อนที่ได้

$$\text{สมการไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของแสงเมียร์โดยทั่วไป คือ } q = \frac{q_m KC}{1+KC}$$

นำมาเขียนสมการใหม่ในรูปสมการเส้นตรงได้ ดังสมการที่ (16)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \text{..... (16)}$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\frac{1}{q} = 0 + \left(\frac{1}{5c} \right) \quad \text{..... (17)}$$

จากสมการที่ 17 เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความ

ชันเท่ากับ 5 นั่นคือ

$$\frac{1}{Kq_m} = 5$$

$$\frac{1}{q_m} = 0$$

$$\text{ดังนั้น} \quad K = 0$$

จากไอโซเทอร์มสมการการดูดซับของแสงเมียร์ พบว่าค่า K มีค่า 0 แสดงว่า ปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

สำหรับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับไขมันและน้ำมันของฟรุณดิช โดยทั่วไป คือ $q = KC^1$

นำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึม ได้ดังสมการที่ 18

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(18)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\log q = -0.699 + 1\log C \quad \dots\dots\dots(19)$$

จากสมการที่ 19 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log c$ ได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1 และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ -0.699 นั่นคือ

$$\log K = -0.699$$

$$\frac{1}{n} = 1$$

$$n = 1$$

ไอโซเทอร์มจากสมการดูดซับของฟรุณดิช พบว่า ค่า $\frac{1}{n}$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และดัชนีคุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งโรงอาหารวันที่ 5 กรกฎาคม 2554 เวลา 11.30 น. จากการทดลองในหัวข้อที่ 4 พบว่า เมื่อนำมาน้ำทิ้งจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น ซีโอดี (COD) บีโอดี (BOD) ไขมันและน้ำมัน ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอย ค่าความนำไฟฟ้า (EC) และ ความเค็ม ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ตัวอย่างน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
ค่าความเป็นกรด ด่าง(pH)	4.9	5.5-9.0
อุณหภูมิ	31.5	ไม่เกิน 40
ความขุ่น(NTU)	318	ไม่เกิน 50
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	235.2	ไม่เกิน 120
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	159	ไม่เกิน 20
น้ำมันและไขมัน(Oil and Grease) (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.605	ไม่เกิน 5
ของแข็งทั้งหมด (TS) (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.339	ไม่เกิน 500
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.257	ไม่เกิน 50
ของแข็งละลายน้ำ (TDS) (มิลลิกรัม/ลิตร)	865	ไม่เกิน 3,000
สารแขวนลอย(SS) (มิลลิกรัม/ลิตร)	23	ไม่เกิน 50
ความเค็ม	0.4	ไม่ได้กำหนด
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	1284	ไม่ได้กำหนด

จากการเก็บน้ำในเบื้องต้นสังเกตลักษณะกายภาพของน้ำเบื้องต้นมีสีดำ กลิ่นเหม็นเปรี้ยวมาก มีเศษอาหารพริกปะปนอยู่ในน้ำ เห็นน้ำมันที่ลอยอยู่ผิวหน้าเมื่อกระทบกับแสงแดดมีปริมาณอยู่มาก เนื่องจาก ขณะนั้นมีการประกอบอาหารของโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยซึ่งมีร้านอาหารมากมาย มีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่บ่อรวมน้ำทิ้ง รวมไปถึงมีตะกอนดินรวมอยู่ด้วยขณะขังคักน้ำ จากตารางที่ 7 ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่เกินเกณฑ์

มาตรฐานกำหนด คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง COD และ BOD สูงกว่าประมาณ 6 เท่า ส่วนค่าไขมัน และไขมัน ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) และ สารแขวนลอย (SS) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมัน และน้ำมันในน้ำทิ้งภายในโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการทดลองแบบแบตช์

เมื่อนำสถานะที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธีแบบแบตช์ในหัวข้อที่ 3.1-3.6 ดังแสดงใน ตารางที่ 1 มาศึกษาการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยรูปถ่ายและกกกลม พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เท่ากับ 32.23 และ 43.80 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

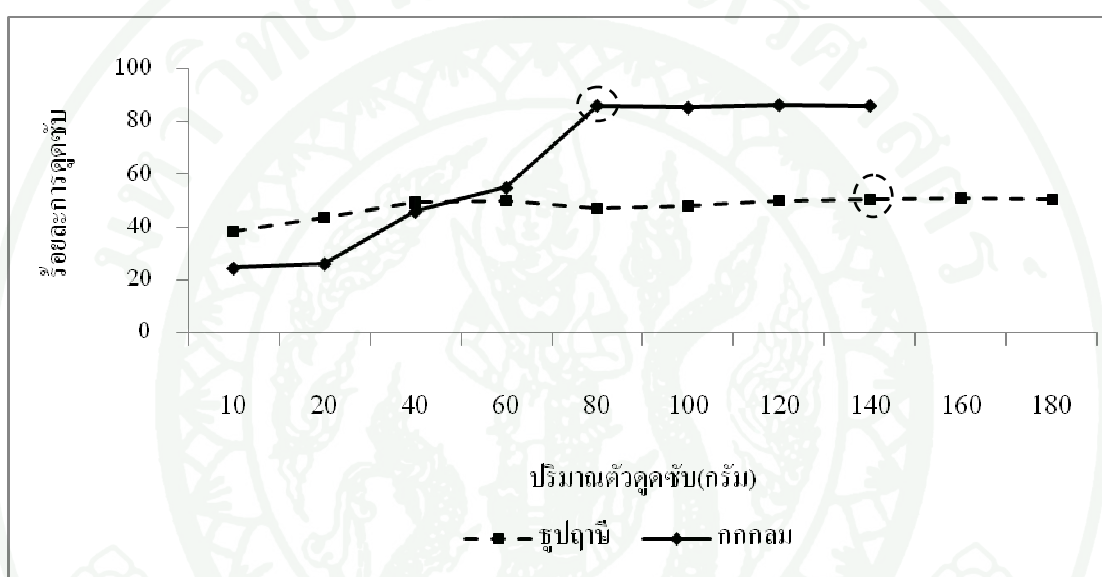
ตารางที่ 3 การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่าย และกกกลมโดยทำการทดลองแบบแบตช์

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (กรัม)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
รูปถ่าย	0.0121	0.0082	32.23
กกกลม	0.0121	0.0068	43.80

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของรูปถ่ายและกกกลม ในน้ำเสียสังเคราะห์ กับน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า ความสามารถในการดูดซับไขมันและน้ำมัน ในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังจะเห็นจาก ค่าร้อยละการดูดซับน้ำมันของรูปถ่าย ในน้ำเสียสังเคราะห์กับน้ำทิ้งโรงอาหาร มีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 63.71 และ 32.23 ตามลำดับ ส่วนกกกลมมีร้อยละการดูดซับ 87.49 และ 43.80 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจ เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น มีเฉพาะน้ำมันบริ โภคกับน้ำกลั่นเท่านั้น แต่น้ำทิ้งภายใน โรงอาหารมีทั้งน้ำมัน และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และสารอาหารอื่นๆเป็นต้น ปนเปื้อนอยู่มากมาย จึงเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่ายและกกกลม

จากการทดลองในข้อที่ 6.4 โดยนำถุงตาข่ายพลาสติกที่บรรจุรูปถ่าย ถุงละ 10 กรัม ใส่ลงไปถึงที่บรรจุน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ปรับพีเอช ให้เท่ากับ 7 ปั่นกวนด้วยมอเตอร์พร้อมใบพัด และทำการเพิ่มรูปถ่ายทีละ 20 กรัม ทำการทดลองซ้ำจนร้อยละการดูดซับคงที่ ส่วนกกกลมนำมาทำการทดลองเช่นเดียวกัน ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถ่าย และกกกลมโดยทำการทดลองแบบประยุกต์ใช้งานจริงกับปริมาณตัวดูดซับ

ผลการทดลอง พบว่า ใช้ปริมาณรูปถ่ายถึง 140 กรัม การดูดซับจะเริ่มคงที่ น้ำมันเหลืออยู่ในถัง 0.0060 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 480 นาที คิดเป็นร้อยละการดูดซับเท่ากับ 50.27 สำหรับกกกลม ใช้ปริมาณ 80 กรัม การดูดซับจึงจะเริ่มคงที่ น้ำมันเหลืออยู่ในถัง 0.0017 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 300 นาที คิดเป็นร้อยละการดูดซับเท่ากับ 86.26

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หลังผ่านการดูดซับด้วยรูปถาญี และกกกกกลม โดยการประกุกต์ใช้งานจริง (มอเตอรืพร้อมใบพัด)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ดูดซับด้วยรูปถาญี			ดูดซับด้วยกกกลม			ค่ามาตรฐาน
	ก่อน	หลัง	ร้อยละ	ก่อน	หลัง	ร้อยละ	น้ำทิ้งจาก โรงงาน อุตสาหกรรม
			การดูด ซับ			การดูด ซับ	
pH	4.9	7.3	-	4.9	7.2	-	5.5-9
ความขุ่น	318	236	25.79	318	256	19.50	ไม่กำหนด
COD							
(มิลลิกรัม/ลิตร)	235.2	145.6	38.10	235.2	83.2	64.63	ไม่เกิน120
ไขมันและน้ำมัน							
(มิลลิกรัม/ลิตร)	0.605	0.305	49.59	0.605	0.085	85.95	ไม่เกิน 5
TDS							
(มิลลิกรัม/ลิตร)	865	5.70	99.34	865	6.25	99.28	ไม่เกิน 3,000
SS							
(มิลลิกรัม/ลิตร)	23	2.2	90.43	23	4.1	82.17	ไม่เกิน50
EC (μS/cm ²)	1284	8.51	99.34	1284	9.33	99.27	ไม่กำหนด

จากตารางที่ 4 เมื่อทำการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วยรูปถาญี และกกกลมโดยทำการทดลองแบบประกุกต์ใช้งานจริง ทำการวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำทิ้ง พบว่า รูปถาญีมีประสิทธิภาพการดูดซับทำให้ค่า ความขุ่น ซีไอดี ไขมันและน้ำมัน ของแข็งละลายน้ำได้(TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ลดลงคิดเป็นร้อยละ 25.79, 38.10, 49.59 ,99.34, 90.34 และ 99.34 ตามลำดับ สำหรับกกกลม มีประสิทธิภาพการดูดซับทำให้ค่า ความขุ่น ซีไอดี ไขมันและน้ำมัน ของแข็งละลายน้ำได้ (TDS) ของแข็งแขวนลอย(SS) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ลดลงคิดเป็นร้อยละ 19.50, 64.63, 85.95, 99.28, 82.17 และ 99.27 ตามลำดับ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไขมันและน้ำมัน โดยทำการทดลองแบบแบตช์ และการประยุกต์ใช้งานจริง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน โดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ (bioadsorbent) คือ ธูปฤาษีและกกกลม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการใช้บำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี เมื่อทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีแบบแบตช์ พบว่า สถานะที่เหมาะสมของตัวดูดซับ ธูปฤาษี 0.5 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมัน 0.5 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คือ พีเอช 7 ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ร้อยละการดูดซับที่ได้ 63.71 ส่วนกกกลม 1 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมัน 1.5 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คือ พีเอช 7 ความเร็วรอบการเขย่า 100 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ร้อยละการดูดซับที่ได้ 87.49 เมื่อทดลองกับน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยวิธีแบบแบตช์ และใช้สถานะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้จากที่กล่าวข้างต้น พบว่า ธูปฤาษีและกกกลมสามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 32.23 และ 43.80 ตามลำดับ

2. นอกจากนี้ได้ทดลองกับน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แบบประยุกต์ใช้งานจริง โดยบรรจุตัวดูดซับในถุงตาข่ายพลาสติกถุงละ 10 กรัม ใส่ลงไปถึงที่บรรจุน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ปรับพีเอช เท่ากับ 7 ปั่นกวนด้วยมอเตอร์พร้อมใบพัด และทำการเพิ่มถุงธูปฤาษีทีละ 20 กรัม ทำการทดลองซ้ำจนร้อยละการดูดซับคงที่ พบว่า ใช้ปริมาณธูปฤาษีและกกกลมถึง 140 กรัม และ 80 กรัมตามลำดับ การดูดซับจะเริ่มคงที่ คิดเป็นร้อยละการดูดซับเท่ากับ 50.27 และ 86.26 ตามลำดับและยังช่วยลดค่า ความขุ่น สี โอดี ไขมันและน้ำมัน ของแข็งละลายน้ำได้ (TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

3. จากการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยคาดว่า สามารถนำธูปฤาษีและกกกลมมาใช้บำบัดน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ เป็นวิธีที่ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย สามารถทำได้ง่าย และยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้เป็นประโยชน์

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่างเพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป จึงเสนอแนะไว้ในที่นี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ดังนี้

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุชุดชั้นอื่นๆ เช่น กระจกหมีก เปลือกปู ไม้ยางพารา มะรุม ฯลฯ เพื่อทำให้เกิดการดูดซับไขมันและน้ำมันได้ประสิทธิภาพดีที่สุดต่อไป
2. ควรมีการปรับปรุงการแปรสภาพตัวดูดซับ เช่น นำไปเผาจนเป็นถ่าน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2549. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 4.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.

กุลยา จันทร์อรุณ. 2533. เคมีอาหาร. การศาสนาการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. คู่มือเล่ม 1: คู่มือเจ้าของอาคาร/ภัตตาคาร และผู้รับจ้างติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ มาตรฐานน้ำประประเทศไทย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. คู่มือแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย, กรุงเทพฯ.

ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ธิดา วิเชียรเพชร และชลธิชา นุ่มหอม. 2545. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียชุมชนโดยใช้ดอกธูปฤาษี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิวัติ เรืองพานิช. 2546. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นนท์ ผลารักษ์ และสุวฤทธิ์ จันทร์ดาประดิษฐ์. 2540. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันมาใช้ให้เกิดประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวร. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539. อนามัยสิ่งแวดล้อม. หจก.เอ็นเอสแอล พรินต์ติ้ง, กรุงเทพฯ.

พูนศิริ วัจนะภูมิ, 2539. มนุษย์กับสังคม. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. กรุงเทพฯ.

ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2550. วัชพืชและการจัดการ, แหล่งที่มา: <http://www.natres.psu.ac.th>, 8 มีนาคม 2552.

วิเศษฐ์ ลีลามานิตย์. 2539. ลิพิดและบทบาทต่อสุขภาพ, น. 85-107. ใน บุษบา จินดาวิจักษ์ณ์, สุวรรณ ชีระวรพันธ์, สุวัฒนา จุฬาววัฒนทล, พิสมัย ทิพย์ชนทรัพย์, วิจิต เปานิล, บรรณาธิการ. เกษตรกับอาหารเพื่อสุขภาพและอาหารทางการแพทย์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

ศิริพร พงษ์สันติสุข. 2541. การกำจัดคราบน้ำมันในน้ำโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. อมรินทร์พรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

_____ สายัณห์ ทัดศรี, จันทนา สุปรินิ, สุวพงษ์ สวัสดิ์พานิช, สุมณ พาสุน และสมบัติ ชินะวงศ์, 2537. การคัดเลือกพันธุ์พืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Glass Filtration เอกสารประกอบการบรรยายหมายเลข 7, น. 1-7 ใน การประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภาพร จันรุ่งเรือง และเมธี มณีวรรณ. 2537. การใช้ประโยชน์จากธูปฤาษี. วารสารพัฒนาที่ดิน. 31 (351-352): 58-59.

_____ และพิสนุย์ จิตวาพรวนิช. 2537. ศึกษาศักยภาพในการใช้ธูปฤาษีบำบัดน้ำเสีย. แหล่งที่มา: www.nectec.or.th, 1 มิถุนายน 2553.

สุธิลา ตูลยะเสถียร. 2548. มลพิษสิ่งแวดล้อมปัญหาสังคมไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. รวมสาส์น.

สนั่น ตั้งสถิตย์. 2545. การประยุกต์ใช้กฤาษีในกระบวนการการดูดซับไขมันและคราบน้ำมันจากร้านอาหารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเพื่อใช้แทนเชื้อเพลิง, แหล่งที่มา: <http://www.sp.sut.ac.th/module>, 30 พฤษภาคม 2553.

อุดมศักดิ์ แก้วธนะสิน. 2540. การเก็บรักษาธูปฤาษีเพื่อทำดอกไม้แห้ง. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Alex, J.F., Cayouette, R. and G.A. Balligan, 1980. **Common and botanical names of weeds in Canada. Res. Br. Agriculture Canada**, Ottawa.

Boyd, C.E. 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrients removal from polluted water. **Econ Bot** 2444: 94-103.

Fassett, N.C. and B. Calhoun, 1952. Introgression between *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. **Evolution** 6: 369-379.

Grace, J.B. 1985. Juvenile versus adult competitive ability in plant: Size dependence in cattail (*Typha*). **Ecology** 66: 1630-1636.

Grace, J.B. and C.B. Hellquist. 1981. Aquatic vascular plants of New England: part 2. Typhaceae and Sparganiaceae. **New Hamp AES Bull** 517: 2-5.

Hotchkiss, N. 1972. **Common marsh under water and floating – leaved plants of the United State and Canada.** Dover Pub., Inc. New York.

Kartesz, J. 2002. ***Typhaangustifolia* Linn.** Intergrated Taxonomic Information System.

Available Source: <http://www.itis.usda.gov>, March 18, 2010.





ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและค่าพีเอช

ค่าพีเอช	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	0.8481	0.8617	0.8197	0.8432	0.0214	67.75
5	0.8209	0.7739	0.8272	0.8073	0.0291	60.85
7	0.8459	0.8245	0.8355	0.8353	0.0107	62.48
9	0.723	0.7752	0.7874	0.7619	0.0342	51.25
10	0.7517	0.7969	0.7579	0.7688	0.0245	52.72

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและค่าพีเอช

ค่าพีเอช	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	0.9142	0.9546	0.9703	0.9464	0.0289	88.71
5	0.9983	0.9134	0.9693	0.9603	0.0432	91.21
7	0.8596	0.9559	1.0147	0.9434	0.0783	87.74
9	0.9630	0.8591	0.8775	0.8999	0.0554	79.12
10	0.8157	0.8398	0.8077	0.8211	0.0167	63.38

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและความเร็วรอบการเขย่า

ความเร็วรอบ การเขย่า (รอบ/นาที)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
50	0.7921	0.7875	0.8162	0.7986	0.0154	58.89
100	0.8567	0.8584	0.8559	0.8570	0.0013	70.13
150	0.8896	0.8782	0.8746	0.8803	0.0078	75.81
200	0.8732	0.8624	0.8792	0.8716	0.0085	73.55

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและความเร็วรอบการเขย่า

ความเร็วรอบ การเขย่า (รอบ/นาที)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
50	0.9414	0.9024	0.9309	0.9249	0.0202	84.14
100	0.9885	0.9899	0.9473	0.9752	0.0242	94.25
150	0.9325	0.9588	0.9453	0.9455	0.0132	87.83
200	0.9399	0.9630	0.9715	0.9581	0.0164	90.66

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและระยะเวลา
เขย่า

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	0.8582	0.8432	0.8549	0.8521	0.0079	69.39
30	0.8595	0.8628	0.8564	0.8596	0.0032	70.54
60	0.8720	0.8693	0.8698	0.8704	0.0014	73.05
90	0.8650	0.8614	0.8624	0.8629	0.0019	70.76
120	0.8675	0.8610	0.8533	0.8606	0.0071	70.49

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและระยะเวลา
เขย่า

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	0.9539	0.9137	0.9384	0.9353	0.0203	85.77
30	0.9326	0.9212	0.9520	0.9353	0.0156	85.85
60	0.9465	0.9309	0.9434	0.9403	0.0083	87.16
90	0.9301	0.9352	0.9243	0.9299	0.0055	84.54
120	0.9224	0.9212	0.9201	0.9212	0.0012	83.05

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	0.8081	0.8164	0.8068	0.8104	0.0052	61.57
30	0.8440	0.7965	0.8219	0.8208	0.0238	63.21
60	0.7905	0.8012	0.8208	0.8042	0.0154	59.73
90	0.7588	0.8337	0.7449	0.7791	0.0478	55.07
120	0.7995	0.7806	0.7844	0.7882	0.0100	56.76

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (นาที)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	0.9776	1.0152	0.8942	0.9623	0.0619	90.89
30	0.9781	0.9637	0.9572	0.9663	0.0107	92.69
60	0.9594	0.9225	0.9381	0.94	0.0185	86.91
90	0.9046	0.9378	0.9201	0.9208	0.0166	83.21
120	0.8825	0.9556	0.8933	0.9105	0.0395	81.77

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและปริมาณน้ำมันในน้ำ

ความเข้มข้น ไขมันและ น้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5,000	0.8299	0.8615	0.7742	0.8219	0.0442	62.92
10,000	0.9823	0.8672	0.9535	0.9343	0.0599	42.94
15,000	0.9667	1.1316	1.0832	1.0605	0.0848	36.98
20,000	1.2526	1.2288	1.2448	1.2421	0.0121	36.81
25,000	1.3160	1.3274	1.3331	1.3255	0.0087	32.85

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและปริมาณน้ำมันในน้ำ

ความเข้มข้น ไขมันและ น้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5,000	0.8986	0.9131	0.9012	0.9043	0.0077	80.40
10,000	1.3123	1.3043	1.3312	1.3159	0.0138	80.94
15,000	1.7596	1.7641	1.7682	1.7640	0.0043	83.80
20,000	2.1131	2.1243	2.1707	2.1360	0.0305	81.69
25,000	2.2598	2.5145	2.5056	2.4266	0.1446	76.90

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยรูปถ่ายและปริมาณรูปถ่าย

ปริมาณ ตัวดูดซับ (กรัม)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	0.8579	0.8420	0.7742	0.8247	0.0445	63.71
1.0	1.2782	1.2855	1.2978	1.2872	0.0099	56.52
2.0	2.2533	2.6667	2.2593	2.2598	0.0067	50.54
3.0	3.2948	3.2067	3.2004	3.2340	0.0528	45.42

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยกกกลมและปริมาณกกกลม

ปริมาณ ตัวดูดซับ (กรัม)	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	1.7720	1.7715	1.7616	1.7684	0.0059	84.10
1.0	2.4268	2.2369	2.2877	2.3171	0.0983	87.49
2.0	3.2803	3.1879	3.1712	3.2131	0.0588	80.38
3.0	4.2431	4.2117	4.1625	4.2058	0.0406	79.85

ตารางผนวกที่ 13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของรูปฤาษี สำหรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำมัน
มาตรฐาน

ความเข้มข้น ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	C_0	C	V (l)	q	1/q	1/c	log q	log C
5,000	5,000	1,879.33	0.1	624.13	0.0016	0.0013	2.795	3.494
10,000	10,000	5,730	0.1	854.0	0.0012	0.0002	2.931	3.630
15,000	15,000	9,472	0.1	1105.6	0.0009	0.0002	3.044	3.743
20,000	20,000	12,675	0.1	1465.0	0.0007	0.0001	3.166	3.865
25,000	25,000	16,810	0.1	1638.0	0.0006	0.0001	3.214	3.913

ตารางผนวกที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของกกลม สำหรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันมาตรฐาน

ความเข้มข้น ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	C_0	C	V (l)	q	1/q	1/c	log q	log C
5,000	5,000	983.67	0.1	803.27	0.0012	0.0002	2.905	3.604
10,000	10,000	1,915.67	0.1	1616.87	0.0006	0.0001	3.209	3.908
15,000	15,000	2,439.00	0.1	2512.20	0.0004	0.0001	3.400	4.099
20,000	20,000	3,667.00	0.1	3266.60	0.0003	0.0001	3.514	4.213
25,000	25,000	5,786.67	0.1	3842.67	0.0003	0.0001	3.585	4.284

ตารางผนวกที่ 15 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำสังเคราะห์ด้วยรูปถ่ายและกกกลม โดย
ทำการทดลองแบบเบตซ์

ครั้งที่	รูปถ่าย			กกกลม		
	ก่อน (กรัม)	หลัง (กรัม)	ร้อยละ การดูดซับ	ก่อน (กรัม)	หลัง (กรัม)	ร้อยละ การดูดซับ
1	0.5087	0.8364	65.30	1.0043	2.2485	83.26
2	0.5039	0.8495	68.35	1.0052	2.2188	80.81
3	0.5030	0.8107	60.54	1.0045	2.2446	82.49
4	0.5018	0.8031	59.65	1.0101	2.2379	81.75
5	0.5082	0.8378	64.98	1.0063	2.3155	87.05
6	0.5000	0.8053	60.49	1.0021	2.2986	86.03
7	0.5064	0.8293	64.58	1.0002	2.2387	82.22
ค่าเฉลี่ย	0.5046	0.8246	63.41	1.0047	2.2575	83.26
S.D.	0.0033	0.0182	3.2351	0.0031	0.0354	2.3321

ตารางผนวกที่ 16 ผลการหาน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ครั้งที่	ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในน้ำก่อนทดลอง (กรัม)
1	0.012
2	0.0166
3	0.0078
ค่าเฉลี่ย	0.0121
S.D.	0.0044

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณรูปถ่ายที่ใช้ในการดูซับไขมันและน้ำมัน โดยการประยุกต์ใช้งานจริง

ถุงตาข่าย ใบที่	ปริมาณรูปถ่าย (กรัม)	ระยะเวลาปั่นกวน และระยะเวลาสัมผัส (นาท)	น้ำมันที่เหลือ (กรัม)	ร้อยละ การดูซับ
1	10.0082	60	0.0075	38.19
2	10.0071	120	0.0068	43.68
3	20.0036	180	0.0062	49.18
4	20.0066	240	0.0061	50.00
5	20.0073	300	0.0064	46.98
6	20.0028	360	0.0063	47.80
7	20.0018	420	0.0061	49.73
8	20.0037	480	0.0060	50.27
9	20.0073	540	0.0060	50.82
10	20.0047	600	0.0060	50.55
รวม	180.00531	600	0.0060	50.55

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณกกกลมที่ใช้ในการดูดซับไขมันและน้ำมันโดยการประยุกต์ใช้งานจริง

ถุงคาข่าย ใบที่	ปริมาณกกกลม (กรัม)	ระยะเวลาปั่นกวน และระยะเวลาสัมผัส (นาทึ)	น้ำมันที่เหลือ (กรัม)	ร้อยละ การดูดซับ
1	10.0042	60	0.0092	24.45
2	10.0024	120	0.0090	26.10
3	20.0000	180	0.0066	45.88
4	20.0059	240	0.0055	55.08
5	20.0054	300	0.0017	86.26
6	20.0003	360	0.0018	85.44
7	20.0064	420	0.0016	86.54
8	20.0013	480	0.0017	86.26
รวม	140.0259	480	0.0017	86.26

ตารางผนวกที่ 19 การดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้วย
รูปถ่าย และกกกลมโดยทำการทดลองแบบประยุกต์ใช้งานจริง

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (กรัม)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
รูปถ่าย	0.0121	0.0060	50.27
กกกลม	0.0121	0.0017	86.26

วิธีวิเคราะห์น้ำมันและไขมันโดยวิธีการสกัดด้วยกรวยแยก

ไขมันและน้ำมันที่อยู่ในรูปสารละลายหรือไม่ละลายจะถูกสกัดแยกจากน้ำโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ที่นิยมใช้ คือ เฮกเซน เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ เมื่อสกัดน้ำมันและไขมันออกจากน้ำตัวอย่างด้วยเฮกเซน จะทำการแยกชั้นเฮกเซนออกมาแล้วทำให้เฮกเซนระเหยออกไป จะเหลือน้ำมันและไขมันบนภาชนะ ซึ่งน้ำหนักของภาชนะที่เพิ่มขึ้น ก็คือน้ำหนักของน้ำมันและไขมันนั่นเอง วิธีนี้ทำได้ง่ายและสะดวกกว่าวิธีอื่นๆ

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง รอให้ถ้วยกระเบื้องอุณหภูมิเย็นลงโดยนำถ้วยกระเบื้องเก็บในเดสิเคเตอร์ ประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
2. ตวงตัวอย่างน้ำเสีย 20 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยก เติมกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตร และเฮกเซน 20 มิลลิลิตร เทลงในกรวยแยก ปิดฝาและเขย่าอย่างแรง 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นประมาณ 5 นาที ปล่อยชั้นน้ำลงในบีกเกอร์ที่สะอาด แล้วจึงปล่อยชั้นเฮกเซน ให้ไหลผ่านกระดาษกรองที่อยู่บนกรวยและมีขวดรูปชมพู่รองรับน้ำที่ผ่านการกรองและทำการเทน้ำที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ลงในถ้วยกระเบื้องที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (ดังภาพผนวกที่ 1)
3. สกัดซ้ำตามวิธีข้างต้นอย่างน้อยอีก 2 ครั้ง ด้วยเฮกเซน 20 มิลลิลิตรต่อ 1 ครั้ง รวมชั้นเฮกเซนที่ได้จากการสกัดซ้ำทั้งหมด
4. ปล่อยให้เฮกเซนในถ้วยกระเบื้องระเหยไปหมด อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ 30 นาที และชั่งน้ำหนัก น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องที่เพิ่มขึ้นคือ ปริมาณน้ำมันและไขมัน
5. คำนวณปริมาณน้ำมันและไขมัน ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{น้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A-B) \times 100}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง(มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ :

A = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังการทดลอง, (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องก่อนการทดลอง, (มิลลิกรัม)



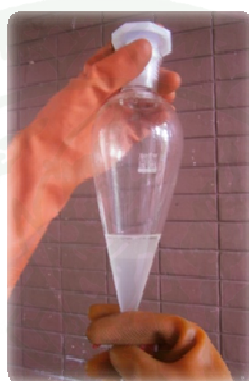
นำถ้วยกระเบื้องอบในตู้อบ



ปล่อยถ้วยกระเบื้องให้เย็นในเคสลิเคเตอร์



ชั่งน้ำหนัก

ไขน้ำชั้นล่างใส่บีกเกอร์ และไข
เฮกเซนด้านบนใส่กระดาศกรอง

เขย่าแรงๆ ทิ้งไว้ให้แยกชั้น

เทน้ำตัวอย่างกรดไฮโดรคลอริก
และเฮกเซน ลงในกรวยแยกกรองเอาน้ำที่ผ่านกระดาศกรองใส่
ถ้วยกระเบื้องที่อบแล้ว

นำถ้วยกระเบื้องไปอบเพื่อหาไขมันและน้ำมัน

ภาพผนวกที่ 1 แผนผังการวิเคราะห์น้ำมันและไขมันโดยวิธีใช้กรวยสกัดแยก

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	จงกร महाดเล็ก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 5 มีนาคม 2530
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศูนย์ราชบุรี จ.ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ