

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูฉบับฟิโนลในน้ำเสียโดยใช้เก้าแถบดำ



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49276
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Adsorption of Phenols in Wastewater Using Black Ash Hull Adsorbent



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง การดูซับฟิโนลในน้ำเสียโดยใช้เถ้าแกลบดำ

นักศึกษา นางสาวกานดา สรณกุลพานิช

นายชูชัย ล้ออุทัย

นายพิสุทธิ อนุรัตน์

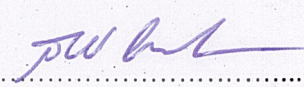
ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. คณิตา ตั้งคณานุรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ : ดร. อุดารัตน์ ภักดีสุลุษ	
กรรมการ : อาจารย์กิตตินุสนธิ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ : ผศ. คณิตา ตั้งคณานุรักษ์	


(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การดูดซับฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้ถ้ำกลบคำ

นักศึกษา	นางสาวกานดา สธนกุลพานิช	
	นายชูชัย ล้ออุทัย	
	นายพิสุทธิ์ อุนรัตน์	
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และสถานะที่เหมาะสมในการใช้ถ้ำกลบคำ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในทางการเกษตรมาเป็นตัวดูดซับสารฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์จากการทดลองได้ใช้วิธีแบบครึ่ง โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าสถานะที่เหมาะสมคือความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณถ้ำกลบคำ 4 กรัม, สภาพความเป็นกรดค่าที่ 7 ใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตรวจวัดหาปริมาณฟีนอลที่เหลือในน้ำทิ้งโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่า มีค่าปริมาณการดูดซับฟีนอล 91.78% และจากผลการศึกษาแบบคอลัมน์โดยใช้ คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรบรรจุด้วยถ้ำกลบ 5 และ 10 กรัม พบว่าค่าประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าถึง 73.98 และ 99.16 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ, ฟีนอล, ถ้ำกลบคำ

Special Project Title The Adsorption of Phenols in Wastewater Using Black Ash Hull
Adsorbent

Name Miss Kanda Stanakulpanich
Mr. Choochai Lawuthai
Mr. Pisut Anurat

Department Chemistry Faculty of science

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2002

Special Project Advisor Asst.Prof. Kanita Tungkananuruk

ABSTRACT

The propose of this project is to study the potential and effects of several factor on adsorption for used of black ash hull rice to remove phenol from synthetic wastewater. Ash hull rice are plenty and inexpensive agricultural waste from the batch test experiments obtained. The condition was obtained when using 10.75 mg/l phenol in synthetic wastewater, 4 g of black ash hull rice, pH = 7, and centrifugal rate was 200 rpm for 2 hrs. The amount of remained phenol was determined by using UV-Visible spectrophotometry. The adsorption capacity was 91.78%. Column test was studied by filling 5 and 10 g balck ash hull rice in to a 8 millimeter diameter plastic column and got removal efficiency 73.98, 99.16 % respectively.

Keyword : Adsorption, Phenol, Black Ash Hull

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับความอนุเคราะห์ซึ่งใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ. คณิศา ตังคณานุรักษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.อุสารัตน์ ภักดีสุขและ อาจารย์กถินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการห้องคอมพิวเตอร์ และแม่บ้าน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่น้องในครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆเคมีทรพยากรตั้งแควดล้อม ปี 4 ทุกคน และเพื่อนๆคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจตลอดโครงการพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ด้วย

นางสาว กานดา สธนกุลพานิช

นายชูชัย ล้ออุทัย

นายพิศุทธิ์ อนุรัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมาของ โครงการงาน	1
1.2. วัตถุประสงค์ของ โครงการงานวิจัย	1
1.3. ขอบเขตของ โครงการงานวิจัย	1
1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1. เถ้าแกลบคั่ว	3
2.2. การแบ่งประเภทของเถ้าแกลบ	3
2.3. คุณสมบัติโดยทั่วไปและคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบคั่ว	4
2.4. กระบวนการดูดซับ	5
2.5. สารดูดติดผิว	8
2.6. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	9
2.7. การศึกษาความสามารถในการดูดซับ	10
2.8. การบ่งบอกลักษณะและสมบัติของฟีนอล	12
2.9. ความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม	14
2.10. การเปลี่ยนแปลงของฟีนอลในสิ่งแวดล้อม	15
2.11. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในสิ่งแวดล้อม	15
2.12. ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	16
2.13. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.2. วิธีการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1. การศึกษาการดูดซับแบบครั้ง	25
4.2. การศึกษาการดูดซับแบบคอลัมน์เบื้องต้น	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1. บทสรุป	35
5.2. ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานและการวิเคราะห์	38
ภาคผนวก ข. มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม	40
ภาคผนวก ค. การคำนวณ	44
ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการทดลอง	45
ภาคผนวก จ. เครื่องมือ-วิธีเบสเปกโทรสโกปี (UV-Visible Spectroscopy)	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1. แสดง Bulk Density ของถ้ำแกลบชนิดต่างๆ	4
ตาราง 2.2. แสดงคุณสมบัติทางเคมีของถ้ำแกลบ	4
ตาราง 2.3. แสดงคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ของต่างประเทศ และถ้ำแกลบค้ำ	5
ตาราง 2.4. แสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของฟีนอล	13
ตาราง 2.5. แสดงค่าครึ่งชีวิตของฟีนอลในสิ่งแวดล้อม	14
ตาราง 2.6. แสดงค่า LD ₅₀ ของฟีนอลในสัตว์ทดลอง	17
ตาราง 4.1 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำแกลบที่ปริมาณ ถ้ำแกลบต่างๆกัน	25
ตาราง 4.2 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำแกลบที่ ความเร็วรอบต่างๆกัน	26
ตาราง 4.3 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำแกลบที่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับต่างๆกัน	27
ตาราง 4.4 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำแกลบที่ ความเป็นกรดต่างๆกัน	29
ตาราง 4.5 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำแกลบที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่างๆกัน	30
ตาราง 4.6 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลของถ้ำแกลบ แบบ Freundlich Isotherm	32
ตาราง 4.7 แสดงการดูดซับฟีนอลของถ้ำแกลบในคอลัมน์ที่ปริมาณแกลบ 5 และ 10 กรัม	34

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนย้าย โมเลกุลของสารมายังสารดูดซับ	9
รูปที่ 2.2 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich	12
รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำเคลบที่ ปริมาณถ้ำเคลบต่างๆกัน	26
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำเคลบที่ ความเร็วรอบต่างๆกัน	27
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำเคลบที่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับแตกต่างกัน	28
รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำเคลบที่ ความเป็นกรดต่างกัน	29
รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำเคลบที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่างๆกัน	31
รูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลของ ถ้ำเคลบแบบ Freundlich Isotherm	33
รูปที่ 4.7 แสดงการดูดซับฟีนอลของถ้ำเคลบในคอลัมน์ที่ ปริมาณถ้ำเคลบ 5 และ 10 กรัม	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงการ

ฟีนอล (Phenol) และอนุพันธ์ จัดเป็นสารปนเปื้อนประเภทหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลัน และพิษแบบเรื้อรังกับมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

(ตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535) นอกจากนี้ยังเกิดการสะสมในสัตว์ โดยแหล่งที่มาของฟีนอล คือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสีย้อม และยา เป็นต้น โรงงานเหล่านี้มีการใช้ฟีนอลในกระบวนการผลิต และน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสารมาเชื้อโรคที่ใช้ในบ้านเรือน และห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป โดยตามมาตรฐานควบคุมสารประกอบฟีนอล ได้กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานให้มีสารประกอบฟีนอลได้ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากฟีนอลโดยวิธีการดูดซับ ปัจจุบันมักนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นตัวดูดซับ แต่มีข้อเสียเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างสูง และจะเกิดดูดซับได้ดีที่ pH ที่เหมาะสม ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับ pH ของน้ำทิ้ง อีกทั้งการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ซ้ำต้องใช้พลังงานมาก และทำได้ยากในทางปฏิบัติ

โครงการนี้จึงทำการทดลองโดยเลือกใช้แกลบเป็นตัวดูดซับฟีนอล เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากทางการเกษตรประมาณ 15 – 20% ของน้ำหนักข้าวทั้งหมดที่นำไปผ่านกระบวนการสี ถ้าคิดโดยประมาณแต่ละปีประเทศไทยได้แกลบถึงปีละ 3.4 ล้านตัน ซึ่งส่วนใหญ่ถูกกองทิ้งไว้ และจากข้อมูลที่เคยศึกษาไว้พบว่า ขี้แกลบแกลบค้ำมีองค์ประกอบเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 70 – 95 และมีคาร์บอนอยู่ประมาณร้อยละ 5 – 30 (สุนทร, 2542) โครงสร้างมีลักษณะเป็นโพรงสามารถทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับได้ และการมีถ่านอยู่ด้วยก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับได้อีกด้วย ดังนั้น

โครงการนี้จึงทำการศึกษาและพัฒนาถ่านแกลบค้ำเป็นสารดูดซับสำหรับการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้ง

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติ ความสามารถ และสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของถ่านแกลบค้ำ
2. เพื่อศึกษา Adsorption isotherm แบบ Freundlich
3. เพื่อศึกษาการดูดซับแบบครั้ง (batch) และแบบคอลัมน์เบื้องต้น

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ เช่น ปริมาณของถ่านแกลบ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอล พีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า และเวลาในการเขย่า โดยวิธีการดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ้ำแบบครั้ง (batch)

2. ศึกษาหา Adsorption isotherm ของการดูดซับด้วยถ้ำเคลบดำ
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบคอลัมน์เบื้องต้น โดยศึกษาถึงปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้บรรจุในคอลัมน์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำขี้ถ้ำเคลบวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานที่ใช้ถ้ำเคลบเป็นเชื้อเพลิงมาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาด้านตัวดูดซับและการกำจัดฟีนอลในอนาคตต่อไป
3. ช่วยในการลดต้นทุนการผลิตวัสดุดูดซับ
4. นำไปพัฒนาระบบกำจัดฟีนอลจากน้ำเสียของโรงงานที่น้ำทิ้งโรงงานมีค่าฟีนอลเกินมาตรฐาน
5. ช่วยเพิ่มมูลค่าของถ้ำเคลบ

ฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1. ถ้ำแคลบดำ (สุนทรื, 2542)

แคลบและถ้ำเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากเหลือทิ้งจากโรงสีข้าว สีขาวเปลือก 16 กิโลกรัม เราจะ
ได้แคลบประมาณ 4 กิโลกรัม และถ้ำเผาแคลบจำนวนนี้เงินเป็นถ้ำห่มจะได้ถ้ำประมาณ 1
กิโลกรัม ปีหนึ่งๆโรงสีต่างๆทั่วประเทศสีข้าว 10 กว่าล้านเมตริกตัน จึงได้แคลบไม่น้อยกว่า 2.5
ล้านเมตริกตัน หรือมีจะนั้นก็เผาทิ้งไป ฉะนั้นในปีหนึ่งๆจะมีถ้ำแคลบไม่น้อยกว่า 5 แสน
เมตริกตัน ทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

2.2. การแบ่งประเภทของถ้ำแคลบ

การเผาถ้ำแคลบที่อุณหภูมิต่างๆกันจะได้ถ้ำแคลบที่มีสีและคุณสมบัติต่างกัน ถ้ำแคลบ
ขาวได้จากการค่อยๆเผาแคลบที่อุณหภูมิต่ำโดยมีความชื้นพอประมาณหรือได้จากการเผาแคลบที่
อุณหภูมิต่ำจนได้เป็นสีเทาแล้วค่อยๆเผาที่อุณหภูมิสูง 1,000 องศาเซลเซียสจนเปลี่ยนไปเป็นสีขาว
ส่วนถ้ำแคลบเทาได้จากการเผาแคลบที่อุณหภูมิต่ำก่อนข้างสูง แต่ไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส และถ้ำ
แคลบดำได้จากการเผาแคลบที่อุณหภูมิต่ำก่อนข้างสูงแต่ไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส เช่น ได้จากการ
เผาแคลบเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีข้าว

ถ้ำแคลบที่ได้จากการเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ และมีความชื้นพอประมาณ ซิลิกาจะอยู่ในรูป
แบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ถ้ำได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำแล้วไปเผาที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งหนึ่งจะ
อยู่ในรูปแบบอสัณฐานเป็นจำนวนน้อย และอยู่ในรูปของ cristobalite มาก ส่วนถ้ำแคลบสีเทาจะ
อยู่ในรูปแบบอสัณฐาน และถ้ำแคลบดำจะอยู่ในรูปของ cristobalite เป็นส่วนมาก (cristobalite เป็น
polyamorphous)

ถ้ำแคลบดำมีค่า bulk density มากกว่าถ้ำแคลบเทา และถ้ำแคลบขาวตามลำดับ ซึ่งค่า
bulk density ของถ้ำแคลบขาว, ถ้ำแคลบเทา และถ้ำแคลบดำดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1 Bulk Density ของถ้ำแกลบชนิดต่างๆ (สุนทรี, 2542)

ชนิด	ลักษณะการเผา	Bulk Density (gm./ml.)
1. ถ้ำแกลบขาว	* เผาที่อุณหภูมิต่ำ	0.5876
	* เผาที่อุณหภูมิต่ำจนได้เป็นสีเทาแล้ว จึงปรับอุณหภูมิให้สูง	0.8126
2. ถ้ำแกลบเทา	* เผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส	0.7573
3. ถ้ำแกลบดำ	* เผาแกลบจากโรงสีข้าว	0.8837

2.3. คุณสมบัติโดยทั่วไปและคุณสมบัติทางเคมีของถ้ำแกลบดำ

ถ้ำแกลบประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่มีประมาณร้อยละ 70-95 และมีคาร์บอนอยู่ประมาณร้อยละ 5-30 โครงสร้างของซิลิกาเป็นโพรง ซึ่งทำหน้าที่การกรองได้ดี การมีถ่านปนอยู่ด้วยจะช่วยในการฟอกสีและดูดกลิ่นได้ด้วย คุณสมบัติทางเคมีของถ้ำแกลบแสดงไว้ในตารางที่ 2.2. ซิลิกาในถ้ำแกลบแตกต่างกับทรายมาก ตรงที่เบาและแตกง่ายเพราะเป็นก้อนพรุน ตารางที่ 2.3. เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ของต่างประเทศ และถ้ำแกลบดำ

ตารางที่ 2.2. คุณสมบัติทางเคมีของถ้ำแกลบ (สุนทรี, 2542)

คุณสมบัติ	ถ้ำแกลบ
1. Silicon dioxide, SiO ₂	91.16
2. Aluminium oxide, Al ₂ O ₃	0.51
3. Ferric oxide, Fe ₂ O ₃	0.86
4. Calcium oxide, CaO	0.57
5. Magnesium oxide, MgO	0.24
6. Sulphur oxide, SO ₂	trace
7. Sodium oxide, Na ₂ O	0.07
8. Potassium oxide, K ₂ O	2.88
9. Loss of ignition	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3. คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ของต่างประเทศและถ่านแกลบดำ (สุนทรี, 2542)

คุณสมบัติ	คาร์บอนกัมมันต์ของต่างประเทศ ถ่านแกลบดำ	
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.2	10.2
2. ปริมาณถ่าน (ร้อยละ)	0.200	43.870
3. ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	12.000	4.400
4. ปริมาณเหล็ก (ร้อยละ)	0.005	0.007
5. ความหนาแน่นของสารที่มีรูพรุน (gm./ml.)	0.460	0.760

2.4. กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) (Suzuki, 1990)

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่ง ที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลาย ของเหลวหรือก๊าซ โดยอาศัยหลักการการเคลื่อนย้ายมวลสารของตัวถูกดูดซับ(adsorbate) จากเฟสที่เป็นของเหลวหรือก๊าซไปยังเฟสที่เป็นของแข็ง ซึ่งก็คือตัวดูดซับ (Absorbent) ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น กระบวนการดูดซับนี้จะไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface precipitation process) หรือกระบวนการโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน (Polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารลดลงไปนั้น เกิดจากกระบวนการดูดซับ กระบวนการโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน หรือจากกระบวนการอื่นๆ แล้ว อาจเรียกกระบวนการนี้ว่า sorption process สำหรับแรงที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แรงด้วยกัน คือ

1. แรงทางกายภาพ (Physical waal's force) ซึ่งประกอบด้วย

1.1 แรงวานเดอร์วาลส์ (Van der waal's force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้ว สามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณที่อยู่ภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (Desorption) จะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

1.2 แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force)

เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้วด้วยกัน หรือระหว่างสารที่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล(orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม
- ข) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย(dispersion effect) ซึ่งเห็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็น ไดโพลโมเลกุลได้เมื่อ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากและเมื่อ โมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มี ลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามา ก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ซึ่งแรงนี้มักจะเป็นแรง อ่อนๆ เช่น แรงดึงดูดระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์
- ค) แรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลที่มีขั้วกับ โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดย โมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเหนี่ยวนำ ให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

2. แรงทางเคมี (chemical force) ซึ่งประกอบด้วย

เกิดจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอิออนของสารกับตัวดูดซับ แล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ใหม่ขึ้น เช่น การดูดซับระหว่างหมู่โลหะทรานซิชันกับหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งพันธะเคมีหรือแรงเคมีที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน หรือเกิดจากการให้อิเล็กตรอน หรือการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างอิออนของสารกับหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแรงทางกายภาพ และจากแรงทางเคมีนี้ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยา ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ (irreversible)

ปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของของไหล หรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของของแข็ง โดยแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า Adsorbent ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า Adsorbate

2.4.1. ลักษณะการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

เป็นการดูดซับระหว่าง โมเลกุลของตัวดูดซับกับ โมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับในสารละลายด้วยแรง van der waals adsorption ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้น โมเลกุลของสารจะยึดติดแน่นบนพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือก๊าซที่ความดันนั้นจะซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอของระบบนั้นก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิของระบบจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลด

ลง เกิดการผันกลับ (reversible interaction) ทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนออกจากตัวดูดซับนั้น และเรียกปรากฏการณ์ช่วงนี้ว่า Desorption

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption or chemisorption)

เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับ โดยการสร้างสารประกอบใหม่ระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้น ทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลง และเนื่องจากการดูดซับเกิดเฉพาะบนพื้นที่ผิวบางแห่ง ทำให้องค์ประกอบที่ถูกดูดซับไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับมีปริมาณน้อยกว่าการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับแบบนี้จะไม่สามารถเกิด desorption ได้ เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าองค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

กลไกการดูดซับและขั้นตอนการดูดซับ

2.4.2. กลไกการดูดซับ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การแพร่ภายนอก (External Diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงสารดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ
2. การแพร่ภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ
3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายคู่ที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากกระบวนการนี้จึงละเลยได้

2.4.3. ขั้นตอนการดูดซับ

สำหรับขั้นตอนการดูดซับหรือการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ไปยังตัวดูดซับ (adsorbent) นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน ดังนี้

1. การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) จะเคลื่อนที่จาก bulk solution ไปยังผิวหน้าของฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลน้ำ ที่ล้อมรอบตัวดูดซับ

2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นต้นหนึ่ง

3. การขนส่งภายในอนุภาค (Interparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

4. Adsorption เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่โมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้น ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารมายังสารดูดซับ

ภายใต้สภาวะการทำงานต่างๆ การขนส่งผ่านชั้นฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าหากว่าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

2.5. สารดูดซับ

สารดูดซับ (Absorbent) ที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ, แมกนีเซียมออกไซด์, ถ่านกระดูก (Bone Char), แอคทิเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ฯลฯ สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ สามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2. แอคทิเวตเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) สารดูดซับชนิดนี้อาจจัดว่าเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ก็ได้ แต่เป็นสารดูดซับที่คิดว่าเป็นสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม (ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับแอคติเวทเตดคาร์บอน) แต่อย่างไรก็ตาม เรซินมีข้อที่ได้เปรียบกว่า คือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่ามาก และรีเจนเนอเรชั่นมักเป็นสารที่มีราคาถูก เช่น เกลือแกง



ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารมายังสารดูดซับ (Suzuki, 1990)

2.6. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface Area)

ความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานทานภายนอก เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Absorbent)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นถ้าความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวถูกละลายจะถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรง เป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของ โมเลกุลตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3. ความปั่นป่วน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้น การแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

1. เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมจะต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนจะนำไปใช้งานจริง

2. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับ

3. อุณหภูมิ (Temperature)

ในกรณีการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน พบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความสามารถในการดูดติดผิวจะสูงขึ้น แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะสูงขึ้น

2.7. การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกละลายต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุล เพื่อคัดเลือกตัวดูดซับ

ที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้จะขอก้าวเฉพาะการดูดซับแบบ Freundlich Isotherm

Freundlich Isotherm

การดูดซับแบบ Freundlich เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อน

$$q_c = \frac{X}{M} = KC^{1/n}$$

เมื่อ

q_c = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/g)

X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้

C = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับ (mg/l, M)

K = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

$1/n$ = ค่าคงที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration Dependence)

สมการ Freundlich เมื่อเขียนกราฟ ค่า X/M และ C จากการทดลองลงบนกราฟ Log-Log จะได้ดังสมการ

$$\log(X/M) = \log K + 1/n \log C$$

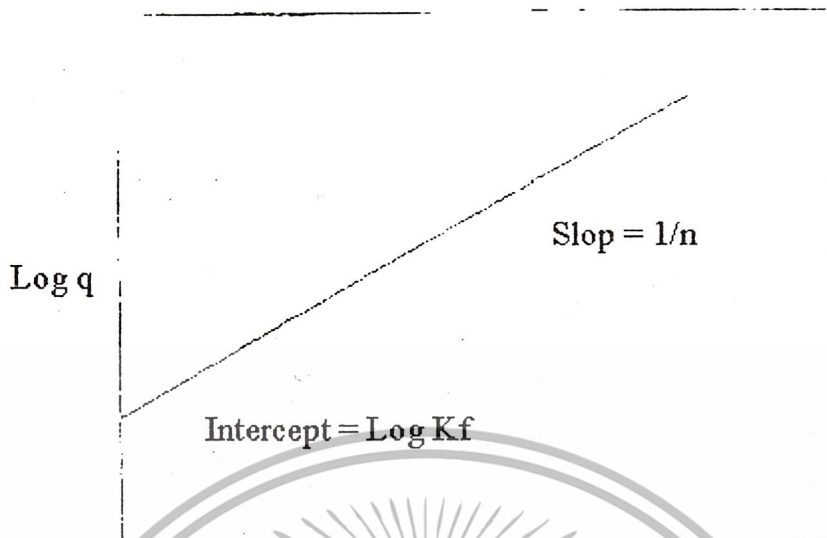
สามารถหาค่า K และ $1/n$ ได้โดยที่

$1/n$ = ความชันกราฟ

K = ค่า X/M ที่ค่า $C = 1$ ตามภาพประกอบ

หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูง แสดงว่า ความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นกับความเข้มข้น เช่น หากความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงกันข้าม เมื่อความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich (Suzuki, 1990)

2.8. การบ่งบอกลักษณะและสมบัติของฟีนอล(กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

1. การบ่งลักษณะ (identification)

ชื่อสามัญ : phenol

CASRN (Chemical Abstracts Service Registry Number) : 108-95-2

ชื่อทางเคมี : phenol

ชื่ออื่น : acide carbolique

Baker's P and liquid and ointment

Benzenol benzopnenol

Carbolic acid carbolsaure

Fenol fenolo

Hydroxybenzene

Monohydroxybenzene monophenol

N A 2 8 2 1

Oxybenzene paoscle

Phenic acid phenol alcohol

Phenole	pheny alcohol
Phenyl hydrate	phenyl hydroxide
PhOH	phenylic alcohol
UN 1671	UN 2312
UN 2821	

สูตรโมเลกุล : C_6H_6O [C 76.6% , H 6.43% , O 17.00%]

สูตรโครงสร้าง : C_6H_6O

น้ำหนักโมเลกุล : 94.11

2. สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ (Chemical and physical properties)

ฟีนอลเป็นผลึกไม่มีสี หรือสีขาว ถ้าไม่บริสุทธิ์จะมีสีชมพูอ่อนๆ มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ความชื้น ละลายน้ำได้ดี สารละลายที่ได้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนจึงมีชื่อเรียกเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า กรดคาร์บอิก (carbolic acid) สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของฟีนอลจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4. แสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของฟีนอล (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

สมบัติทางเคมีและกายภาพของฟีนอล	
จุดหลอมเหลว	40.85 °C
จุดเดือด	182 °C
จุดวาบไฟ	85 °C (open up) 79 °C (closed up)
อุณหภูมิติดไฟได้เอง	715 °C
ช่วงความเข้มข้นติดไฟได้	3 – 10% ในอากาศ
ความดันไอ	0.3513 มม.ปรอท (ที่ 25 °C)
การละลายน้ำ	93 กรัม/ลิตร (ที่ 16 °C)
ความหนาแน่นไอ	3.24 (อากาศ = 1)
ความถ่วงจำเพาะ	1.071
ดัชนีหักเหแสง	1.5408 (ที่ 41 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9. ความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม

1. การสลายและการคงสภาพ (loss and persistence)

การแตกสลายของฟินอลในอากาศเกิดโดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ hydroxyl , alkoxy และ peroxy ทั้งนี้ ปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ hydroxyl มีความสำคัญที่สุด การแตกสลายทางชีวภาพของฟินอลในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และดินเกิดขึ้นได้ทั้งใช้ออกซิเจน (aerobic) และไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ค่าครึ่งชีวิตของ ฟินอลในสิ่งแวดล้อมแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าครึ่งชีวิตของฟินอลในสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

สิ่งแวดล้อม	ค่าครึ่งชีวิต (half-life, $t_{1/2}$)	คำอธิบาย
อากาศ	2.28 ชั่วโมง – 22.8 ชั่วโมง	ค่าครึ่งชีวิตของฟินอลในอากาศ คำนวณจากปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ hydroxyl ในอากาศ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (photo-oxidation)
น้ำผิวดิน	5.3 ชั่วโมง – 56.5 ชั่วโมง (0.22 วัน – 2.4 วัน)	ค่าครึ่งชีวิตของฟินอลในน้ำผิวดิน คำนวณจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำแบบใช้ออกซิเจน (aqueous aerobic biodegradation)
น้ำใต้ดิน	12 ชั่วโมง – 168 ชั่วโมง (0.5 วัน – 7 วัน)	ค่าครึ่งชีวิตของฟินอลในน้ำใต้ดิน คำนวณจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำแบบใช้ออกซิเจน
ดิน	24 ชั่วโมง – 240 ชั่วโมง (1 วัน – 10 วัน)	ค่าครึ่งชีวิตฟินอลในดินคำนวณจากการศึกษา aerobic soil die-away study

2. ความเข้มข้น (concentration)

ฟินอลเป็นสารที่ปนเปื้อนในอากาศบริเวณเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น หรือบริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ โดยตรวจไม่พบหรือพบที่ความเข้มข้นต่ำมากในอากาศบริเวณเขตชนบท ทั้งนี้เนื่องจาก ฟินอลสลายตัวอย่างรวดเร็วในอากาศ ฟินอลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ทั้งนี้เพราะฟินอลถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว มีค่าครึ่งชีวิตเพียง 5.3 – 5.6 ชั่วโมงเท่านั้น รายงานฟินอลที่ตรวจพบแม่น้ำในประเทศเนเธอร์แลนด์มีความเข้มข้น 2.5 – 6.5 ไมโครกรัม/ลิตร , 0.3 ไมโครกรัม/ลิตร สำหรับน้ำในทะเลสาบ และ 1.5 ไมโครกรัม/ลิตร สำหรับน้ำบริเวณปากแม่น้ำ ความเข้มข้นของฟินอลในแม่น้ำสหรัฐอเมริกาที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 0.5 ไมโครกรัม/ลิตร

3. การรับสารของมนุษย์ (human intake)

โดยอาศัยหลักการของการประเมินความเสี่ยง (risk assessment) รายงานค่า reference dose ของฟินอลโดยการกิน (RfDo) เท่ากับ 6.00×10^{-1} มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน

2.10. การเปลี่ยนแปลงของฟินอลในสิ่งแวดล้อม (environmental fate tests)

การย่อยสลายโดยชีวภาพและการเปลี่ยนรูปโดยชีวภาพ (biodegradation and biotransformation) ฟินอลเป็นสารที่ถูกย่อยสลายโดยชีวภาพ (biodegradable) ได้อย่างรวดเร็ว จากการศึกษาโดยวิธี static flask-screening method พบว่าฟินอลในน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ถูกย่อยสลายโดยชีวภาพได้หมดภายใน 2 สัปดาห์ ซึ่งฟินอลถูกย่อยสลายโดยชีวภาพในสิ่งแวดล้อมในสภาวะที่ขาดออกซิเจนได้แก่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกำมะถัน ดังสมการ



การย่อยสลายของฟินอลเป็นการย่อยสลายจนได้ธาตุ (mineralization) ปฏิกริยานี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่ความเข้มข้นของ ฟินอลตั้งแต่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร จนถึง 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ฟินอลสะสมได้เพียงเล็กน้อยในสิ่งมีชีวิตในน้ำ bioconcentration factor (BCF) ของฟินอลใน algae *Chlorella fusca* และ ในปลา *Leuciscus idus melanotus* มีค่าเท่ากับ 200 และ 20 ตามลำดับ

2.11. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในสิ่งแวดล้อม (chemobiokinetics)

1. การดูดซึม (absorption)

ฟินอลถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของคนและสัตว์ได้อย่างรวดเร็วโดยทุกวิถีทางที่ได้รับสาร คือ โดยการกิน ทางการหายใจ และทางผิวหนัง จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าอัตราการดูดซึมผ่านทางผิวหนัง ขึ้นอยู่กับความกว้างของบริเวณที่ได้รับสัมผัส และจะดูดซึมได้ดีขึ้นถ้าอุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้น และพบว่าฟินอลถูกดูดซึมได้เร็วที่สุดในลำไส้ใหญ่ของสัตว์ทดลอง รองลงมาได้แก่การดูดซึมในลำไส้เล็ก ส่วนอัตราการดูดซึมในกระเพาะอาหารจะช้ากว่ามากฟินอลถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้อย่างรวดเร็ว และก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ต่อระบบต่างๆ ในร่างกาย การได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสผ่านทางผิวหนังจึงอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ จากการศึกษาในหนูพบว่ามียัตราการดูดซึมผ่านทางผิวหนังสูงถึง 66 – 80% ของขนาดที่ได้รับ และปริมาณการดูดซึมจากลำไส้เล็กของสัตว์ทดลองชนิดต่างๆ เช่น หนู หมู และแกะ มีค่าสูงมากกว่า 95% ของปริมาณฟีนอลที่ได้รับ (25 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) และจากการศึกษาในคนที่ได้รับฟีนอลในขนาด 6 – 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยการสูดดมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือได้รับสัมผัสทางผิวหนังเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณการดูดซึมสูงถึง 70 – 80% ของขนาดที่ได้รับฟีนอลที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 5 – 10% สามารถทำให้โปรตีนของผิวหนังเสื่อมสภาพ (denature) ซึ่งจะไปขัดขวางการดูดซึมได้ แต่อย่างไรก็ตามสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนกับฟีนอลไม่คงทนและเมื่อฟีนอลแยกตัวหลุดออกมาอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายในเวลาต่อมาได้

2. การแพร่กระจาย (distribution)

ภายหลังการดูดซึมเข้าร่างกายฟีนอลจะแพร่กระจายไปตามเนื้อเยื่อแทบทุกชนิด โดยส่วนใหญ่จะพบฟีนอลในความเข้มข้นสูงสุดที่ตับ นอกจากนี้พบ แพร่กระจายไปตามเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น ไต ม้าม ต่อมหมวกไต ต่อมธัยมัส ระบบประสาท ปอด และในกระแสเลือด เป็นต้น ซึ่งต่อมาฟีนอลจะแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อเยื่อทุกชนิด

3. การสะสมในร่างกาย (bioconcentration)

ฟีนอลและเมทาโบไลต์ โดยเฉพาะที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ดีจึงไม่พบรายงานการสะสมฟีนอลในร่างกาย

4. การขับออกจากร่างกาย (excretion)

การศึกษาในมนุษย์พบว่า 90% ของฟีนอลที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายถูกขับออกทางปัสสาวะภายในเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนใหญ่พบในรูปของ phenyl sulfate (70%) และ phenyl glucuronide นอกจากนี้ยังตรวจพบ quinol sulfate และ phenyl glucuronide ในปริมาณเพียงเล็กน้อยฟีนอลและ/หรือเมทาโบไลต์สามารถจับกับ macromolecules เช่น โปรตีนและ DNA

2.12. ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammalian toxicity)

1. พิษต่อสัตว์

ฟีนอลมีพิษปานกลางต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ค่า LD_{50} ในสัตว์กัดแทะ (rodent) ที่ได้รับฟีนอลทางปาก มีค่าระหว่าง 300 – 600 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ค่า LD_{50} ในหนู rat และกระต่ายที่ได้รับ ฟีนอลทางผิวหนัง มีค่าเท่ากับ 670 และ 1,400 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ LD_{50} ในหนู ที่ได้รับ โดยการฉีดเข้าช่องท้อง (intraperitoneal injection) มีค่าอยู่ในช่วง 127 – 223 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ค่า LD_{50} ในสัตว์ทดลองสปีชีส์ต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงค่า LD₅₀ ของฟีนอล ในสัตว์ทดลอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

ตาราง LD ₅₀ ของ ฟีนอล ในสัตว์ทดลอง			
สปีชีส์	วิธีได้รับสาร	มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว	สัตว์ทดลอง
หนู	ทางปาก	300	
หนู	ทางปาก	340 – 530	2 – 7% ในน้ำ
	ทางปาก	445 – 520	น้ำ
	ทางปาก	400	น้ำ
	ผิวหนัง	670(570 – 780)	
	ฉีดเข้าช่องท้อง	127 – 223	น้ำ
กระต่าย	ทางปาก	400 – 600	2 – 7% ในน้ำ
	ผิวหนัง	850(600 – 1,200)	
	ผิวหนัง	1,400(740 – 2,670)	

สัตว์ทดลองที่เสียชีวิตจากการได้รับฟีนอลที่ความเข้มข้นสูงนั้นมีสาเหตุมาจากฤทธิ์ในการกดระบบประสาทส่วนกลางของฟีนอล ลักษณะอาการของการเกิดพิษจากฟีนอลไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย ความเป็นพิษที่พบในสัตว์ทดลอง ได้แก่ ประสาทและกล้ามเนื้อไวต่อการกระตุ้นมากเกินไป (neuromuscular hyperexcitability) เช่น มีอาการกล้ามเนื้อกระตุกและชัก อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นในระยะแรกและกลับช้าลงและไม่เป็นจังหวะสม่ำเสมอ ความดันโลหิตสูงเล็กน้อยในตอนแรก ซึ่งต่อมาจะลดลงอย่างมาก น้ำลายไหล (salivation) หายใจขัด และอุณหภูมิของร่างกายลดลง มีฤทธิ์กัดผิวหนังและเยื่อในลำคอและทางเดินอาหาร ทำให้เนื้อเยื่อเหล่านี้ตายเมื่อกินฟีนอลเข้าไป นอกจากนี้ฟีนอลยังมีผลกระทบต่อการทำงานของปอดและเส้นใยประสาท ทำลายเนื้อเยื่อของตับ ไต และต่อมธัยมัส และยับยั้งการตอบสนองของรูมานตาต่อแสง รูมานตาหดเล็กผิดปกติ (miosis)

2. พิษต่อมนุษย์

ระดับความเป็นพิษ (range of toxicity) มีรายงานการเสียชีวิตของมนุษย์ (ผู้ใหญ่) ที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟีนอลโดยการกินในปริมาณเพียง 1 กรัม ส่วนการได้รับสัมผัสทางผิวหนังอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้เช่นกัน พบผู้ป่วยเสียชีวิตจากการหกของสารละลาย ฟีนอล (ความเข้มข้น 80 – 100%) ที่บริเวณแก้ม หนึ่งศีรษะ สะโพก ต้นขา และอุ้งอ้นตะ ผู้ป่วยอีกรายหนึ่งทำ 2-4-dichlorophenol บริสุทธิ์ หกร่างกายเป็นบริเวณกว้างน้อยกว่า 10% ของพื้นที่ร่างกาย พบว่าผู้ป่วยช็อกและหมดสติภายในเวลา 20 นาที

พิษเฉียบพลันฟีนอลก่อให้เกิดพิษต่อร่างกายไม่ว่าจะได้รับสารโดยการรับประทาน การสูดดมหรือสัมผัสทางผิวหนัง เนื่องจากฟีนอลมีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อรุนแรงทำให้เกิดเป็นแผลไหม้ในบริเวณที่ได้รับสัมผัสโดยตรง เช่น ช่องปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ตา และผิวหนัง หากเข้าตาอาจทำให้มีอาการตาบอดได้ (photophobia) กระจกตาเป็นแผลหรืออาจถึงกับตาบอดได้ ฟีนอลถูกดูดซึมผ่านผิวหนังได้อย่างรวดเร็วและอาจทำให้เสียชีวิตภายในเวลา 10 นาที ดังนั้นการได้รับสัมผัสทางผิวหนังจากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับฟีนอลจึงเป็นสิ่งที่ควรระวังและพึงตระหนักถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ การสัมผัสกับฟีนอลก่อให้เกิดการระคายเคืองและกัดผิวหนัง โดยผิวหนังจะมีสีซีดขาวแต่ไม่เจ็บปวดในระยะแรก เพราะปลายประสาทตาย แต่ต่อมาก็คจะมีการเจ็บปวดมากและอาจทำให้ผิวหนังเน่าตาย (gangrene) หากได้รับสัมผัสเป็นบริเวณกว้างมากกว่า 60 ตารางนิ้วโดยประมาณจะเสี่ยงต่อการเสียชีวิต ส่วนอาการอื่นๆ ที่ตรวจพบได้ในคนที่ได้รับสัมผัสฟีนอล ได้แก่ ปวดศีรษะ มึนงง อ่อนเพลีย สายตาพร่า มีเสียงดังในหู อาเจียน ท้องเสีย มีการสะสมของกรดในร่างกาย (acidosis) พบเมทฮีโมโกลบินในเลือด (methemoglobinemia) อุณหภูมิของร่างกายลดลง (hypothermia) ตัวเขียว (cyanosis) ความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นเร็ว หายใจเร็ว ง่วงซึม ชัก หมดสติ โคม่า และเสียชีวิต ตับและไตเสื่อม ดีซ่าน ปัสสาวะน้อยหรือปัสสาวะไม่ออก และปัสสาวะอาจมีสีเขียวเข้มหรือสีดำ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่พบในคนงานที่ได้รับสัมผัสกับไอของฟีนอลนอกจากนี้ อวัยวะภายในหลายแห่งอาจมีเลือดคั่งและระบบประสาทส่วนกลางถูกกด ฟีนอลก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจอย่างรุนแรง หากได้รับโดยการสูดดม และทำให้เกิดภาวะปอดบวมน้ำ (pulmonary edema) พบผู้ป่วยช็อกหมดสติจากการใช้ฟีนอลในการลอกหน้า โดยทั่วไปแล้วพิษที่พบในสัตว์ทดลองจะคล้ายคลึงกับในมนุษย์ ฟีนอลสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่ออวัยวะแทบทุกส่วนเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีใดก็ตาม

พิษเรื้อรัง ปัจจุบันพบได้น้อยต่างจากสมัยก่อนซึ่งพบบ่อย เนื่องจากมีการใช้ฟีนอลอย่างแพร่หลายในการรักษาโรคและการผ่าตัด การได้รับฟีนอลเข้าสู่ร่างกายซ้ำหลายครั้งในปริมาณมาก พบว่าทำให้อาเจียน กลืนอาหารลำบาก น้ำลายไหล ท้องเสีย เบื่ออาหารและน้ำหนักลด ปวดศีรษะ เป็นลม มึนงง อารมณ์แปรปรวน ตับและไตถูกทำลาย ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ อ่อนเพลีย ปัสสาวะมีสีคล้ำ ผิวหน้าแตกเป็นแผล และอาจมีสติผิดปกติ เช่น พบจุดสีน้ำตาลบนข้อนิ้วหลายแห่ง และมีรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในคนที่สัมผัสฟีนอล (8.5%) จากการทำงานพบว่ามีความผิดปกติของผิวหนัง (leukoderma) นอกจากนี้การใช้สเปรย์ (spray) หรือยาอมที่มีส่วนผสมของฟีนอล อาจทำให้มีอาการเจ็บคอบ่อยๆ

2.13. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สันทัก ศิริอนันต์ไพบูลย์ และคณะ (1999.) ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบบำบัดแบบ GAC-SBR ในการกำจัดฟีนอลและสารอินทรีย์ ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าความสามารถในการดูดซับฟีนอล และ COD ที่สูงที่สุดของ GAC ในระบบ SBR มีค่าเท่ากับ 240 และ 761 มิลลิกรัมต่อ GAC 1 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การดูดซับฟีนอลและ COD ในสภาวะปกติมีค่าเท่ากับ 213 และ 685.1 มิลลิกรัมต่อ GAC 1 กรัม ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอล และ COD ในวันที่ 1 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าร้อยละ 60 และ 50 ตามลำดับ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 3 วันประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง สำหรับปริมาณ GAC ในระบบ SBR ที่เหมาะสมคือ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาเก็บกัก 1 วัน น้ำเสียที่ผ่านระบบ GAC-SBR มีค่า COD และฟีนอลเท่ากับ 16 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่ในระบบ SBR น้ำเสียที่ผ่านระบบมีค่า COD และฟีนอลเท่ากับ 122 และ 3.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองระยะเวลาเก็บกัก 3, 5 และ 10 วันของน้ำเสียที่ผ่านระบบ SBR พบว่ามีค่า COD เท่ากับ 48, 32 และ 16 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และมีปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.35, 0.18 และ 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่เวลาเก็บกักเท่ากัน น้ำเสียที่ผ่านระบบ GAC-SBR มีปริมาณ COD เท่ากับ 16, 14.5 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และมีปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.08, 0.023 และ 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า GAC ช่วยในการกำจัดฟีนอลและ COD ของระบบ SBR

2. Wiberg และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาการกำจัดฟีนอลโดยการออกซิเดชันด้วยเอนไซม์และการทำให้ลอยด้วยอากาศ พบว่าในการกำจัดฟีนอลด้วยวิธีนี้จะมี 2 ขั้นตอนที่ประกอบด้วย การทำให้ฟีนอลเกิดการรวมตัวกันโดยใช้เอนไซม์ horseradish peroxidase (HRP) ซึ่งสกัดจากรากของ horseradish และการทำให้ลอยด้วยอากาศ ซึ่งจากการทดลองพบว่าในขั้นการรวมตัวของฟีนอลนั้น ปฏิกิริยามีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 99 และในขั้นการทำให้ลอยด้วยอากาศมีประสิทธิภาพในการแยกฟีนอลออกจากน้ำเสียมากกว่าร้อยละ 94 ทั้งที่ HRP ที่ใช้มีความบริสุทธิ์ต่ำเมื่อเพิ่มสารอินทรีย์ลงในน้ำเสีย พบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งวิเคราะห์จากค่า COD ลดลงประมาณร้อยละ 50

3. William และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาการใช้รังสีที่เกิดจากการเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงเพื่อกำจัดฟีนอลออกจากน้ำ ดิน และดินตะกอน โดยอิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้มีพลังงานที่สูงขึ้นโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1.5 ล้านโวลต์จนเกิดรังสีในการใช้กำจัดฟีนอลในสารละลาย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดอย่างมากนั้น ได้แก่ ความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟีนอลในสารละลาย ปริมาณของตัวถูกละลาย และสภาพต่างทั้งหมดในสารละลาย ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น ของแข็งแขวนลอย และความเป็นกรดของสารละลาย เป็นต้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไม่มากนัก และที่ความเข้มข้นของฟีนอลสูงๆ การไหลเวียนกลับ ของน้ำเสียนั้นจะมีผลต่อการกำจัดฟีนอลมาก ในส่วนของผลที่ได้จากการบำบัดส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารออกซิไดซ์ แต่ที่ความเข้มข้นของฟีนอลต่ำๆนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการสลายตัวของฟีนอลมากกว่าร้อยละ 50 จะอยู่ในรูปของ ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone), เคตคาคลอร์ (Catechol) และ อนุพันธ์ของเรซอร์ซินอล (Resorcinol) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของฟีนอลทั้ง 2 สถานะจะอยู่ในรูปของ ไดไฮดรอกซีฟีนอล (Dihydroxy phenol) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุมูลของไฮดรอกซิลมีส่วนในการทำปฏิกิริยาให้เกิดการสลายตัวของฟีนอล โดยอนุมูลของไฮดรอกซิลจะเกิดจากการแตกตัวของน้ำ วิธีการกำจัดฟีนอลโดยวิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่เกิดสารที่เป็นอันตราย, ไม่ต้องเตรียมน้ำเสียในการบำบัด และไม่ก่อให้เกิดของแข็ง

4. Ghonsagi D. และคณะ(1991)ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนฟีนอลจากหน่วยเผาถ่านหินของ โรงงานหลอมเหล็ก ซึ่งมีฟีนอลปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 6.8 โดยน้ำหนักโดยการสกัดด้วยวิธี Super Critical Carbondioxide ซึ่งทางคณะได้สร้างหอสกัดเพื่อทำการแยกฟีนอลออกจากน้ำเสียด้วยคาร์บอน ไดออกไซด์เหลว และหอแยกคาร์บอน ไดออกไซด์ออกจากฟีนอล จากการทดลองพบว่าสามารถแยกฟีนอลออกจากน้ำเสียนเหลือความเข้มข้นฟีนอลในน้ำเสีย 39 ส่วนในพันล้านส่วนของน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถนำฟีนอลที่ได้จากการสกัดกลับมาใช้ได้อีก

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1. สารเคมี

1. สารละลายสต็อกฟีนอล 940 มิลลิกรัมต่อลิตร เกรดวิเคราะห์ ของ CARLO ERBA
2. สารละลายฟีนอล 9.4 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.8 AR grade ของ CARLO ERBA
4. สารละลายไตร โปแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3Fe(CN)_6$)
5. สารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน AR grade ของ Fluka
6. สารละลายแอม โมเนียม ไฮดรอกไซด์ AR grade ของ CARLO ERBA
7. น้ำกลั่น

3.1.2. อุปกรณ์

1. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น 6405 ของ Lab BQUIP
2. เตาอบ ของบริษัท Memmert
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. เครื่องเขย่า
5. เครื่องกรองสุญญากาศพร้อมชุดเครื่องกรอง
6. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 25, 50, 100, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
8. บีกเกอร์ขนาด 50, 150 และ 250 มิลลิลิตร
9. ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
10. กระจกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
11. หลอดหยด
12. กรวยกรอง
13. ช้อนตักสาร และช้อน spatula
14. แท่งแก้วคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. วิธีทดลอง

3.2.1. การเตรียมเต้าแกลบ

1. นำเต้าแกลบมาทำการคัดขนาดให้มีขนาด 0-20 เมช โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช
2. นำเต้าแกลบที่ผ่านการคัดขนาดแล้วมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.2. ศึกษาการดูดซับแบบครั้ง (batch)

3.2.2.1. ผลของปริมาณตัวดูดซับ

1. ชั่งเต้าแกลบค้ำในสถานะที่เหมาะสมมา 2, 4, 6 และ 8 กรัมตามลำดับ ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายฟีนอลความเข้มข้น 9.86 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป 150 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6-8
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลโดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี

3.2.2.2. ผลของความเร็วรอบในการเขย่า

1. ชั่งเต้าแกลบค้ำในสถานะที่เหมาะสม(มีค่าการดูดซับฟีนอลสูงสุดจากผลการทดลองข้อ 3.2.3.1) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำละลายฟีนอลความเข้มข้น 9.86 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป 150 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6-8

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100, 150, 200 และ 250 รอบต่อนาที ตามลำดับเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลโดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี

3.2.2.3. ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

1. ชั่งเต้าแกลบค้ำในสถานะที่เหมาะสม(มีค่าการดูดซับฟีนอลสูงสุดจากผลการทดลองข้อ 3.2.3.1) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำละลายฟีนอลความเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป 150 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6-8

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากผลการทดลองข้อ 3.2.2.2.) เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 และ 150 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลโดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี

3.2.2.4. ผลของค่าพีเอช

1. ชั่งแก้วเกลบค่าในสถานะที่เหมาะสม(มีค่าการดูดซับฟีนอลสูงสุดจากผลการทดลองข้อ

3.2.3.1) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่นฟีนอลความเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป 150 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอช 4, 7 และ 10 ตามลำดับ

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ, เวลาที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากผลการทดลองข้อ 3.2.3.2 และ 3.2.3.3 ตามลำดับ)

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลโดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี

3.2.2.5. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล

1. ชั่งแก้วเกลบค่าในสถานะที่เหมาะสม(มีค่าการดูดซับฟีนอลสูงสุดจากผลการทดลองข้อ

3.2.3.1) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่นฟีนอลความเข้มข้น 10.75, 21.50, 32.25 และ 43.00 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป 150 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมกับการดูดซับ (จากผลการทดลองข้อ 3.2.3.4.)

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ, เวลาที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากผลการทดลองข้อ 3.2.3.2 และ 3.2.3.3 ตามลำดับ)

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์

3.2.2.6. ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

1. ชั่งแก้วเกลบค่าปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เปิดฟีนอลความเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 150 มิลลิลิตร

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่สถานะที่เหมาะสม

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลโดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี

5. เขียนกราฟลอการิทึมระหว่างความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือในน้ำ (C_w) กับปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ(X/M)

3.2.3. ศึกษาการดูดซับเบื้องต้นแบบคอลัมน์เบื้องต้น (column)

3.2.3.1 ผลของปริมาณตัวดูดซับ

1. นำตัวดูดซับมาเก็บรักษาในน้ำปราศจากไอออน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแผ่คอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว โดยให้ชั้นของดูดซับมีความสูงเท่ากับ 5 และ 10 กรัมตามลำดับ
2. เติสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไปคอลัมน์
3. เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ 150 มิลลิลิตรเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี

หมายเหตุ เนื่องจากการเตรียมสารละลายฟีนอลไม่เพียงพอ จึงใช้ความเข้มข้นฟีนอล 2 ความเข้มข้น คือ การทดลองข้อ 3.2.2.1. และ 3.2.2.2. ใช้สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 9.86 มิลลิกรัมต่อลิตร และการทดลองข้อ 3.2.2.3. ถึง 3.2.3 ใช้สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากฟีนอลเป็นสารที่สลายตัวได้ง่าย จึงทำให้การเตรียมสารละลายฟีนอลให้เท่ากันตลอดการทดลองเป็นไปได้ยาก

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การนำเสนอโครงการพิเศษเรื่อง การดูดซับฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้ถ้ำแคลบ ซึ่งจะทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีการดูดซับแบบครั้ง (batch) และการเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลแบบคอลัมน์เบื้องต้น ซึ่งในการนำเสนอเป็นแบบตาราง ภาพประกอบ และอภิปรายผล แยกเป็นการทดลองย่อยเพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจ

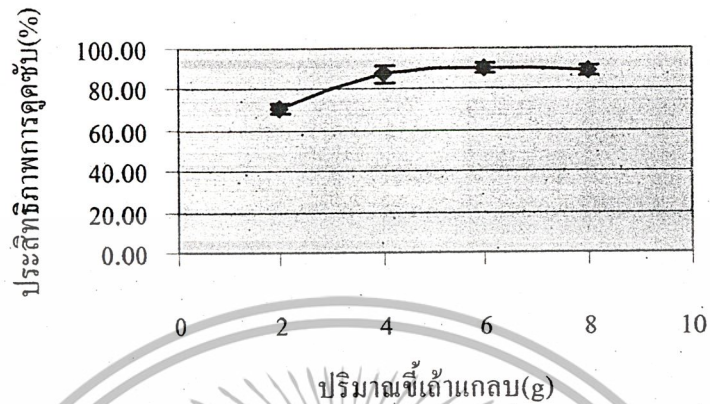
4.1. การศึกษาการดูดซับแบบครั้ง

4.1.1. ผลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำแคลบ

ในการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณฟีนอลความเข้มข้น 9.86 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลา 2 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดค่าช่วง 6-8 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1 และสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของถ้ำแคลบกับประสิทธิภาพการดูดซับได้ดังกราฟที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลที่ปริมาณถ้ำแคลบต่างๆกัน

ปริมาณแคลบ(g)	2	4	6	8
ประสิทธิภาพการดูดซับ(%)	71.04	87.53	89.78	89.06
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.62	4.23	2.58	2.75
ช่วง	68.42-73.66	83.30-91.76	87.20-98.36	86.31-91.81



รูปที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพการคูดซัฟฟีนอลของไข่ไก่ที่ปริมาณไข่ไก่ต่างกัน

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อปริมาณของไข่ไก่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการคูดซัฟฟีนอลของไข่ไก่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไข่ไก่เพิ่มขึ้นจนมีปริมาณไข่ไก่ 4 กรัม จะมีประสิทธิภาพการคูดซัฟฟีนอลเท่ากับ 87.53% เมื่อปริมาณไข่ไก่เพิ่มขึ้นอีกประสิทธิภาพการคูดซัฟจะเริ่มคงที่ เนื่องจากเมื่อปริมาณของไข่ไก่เพิ่มขึ้น จะทำให้มีพื้นที่ผิวของตัวคูดซัฟที่ใช้ในการคูดซัฟเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการคูดซัฟจึงเพิ่มขึ้น

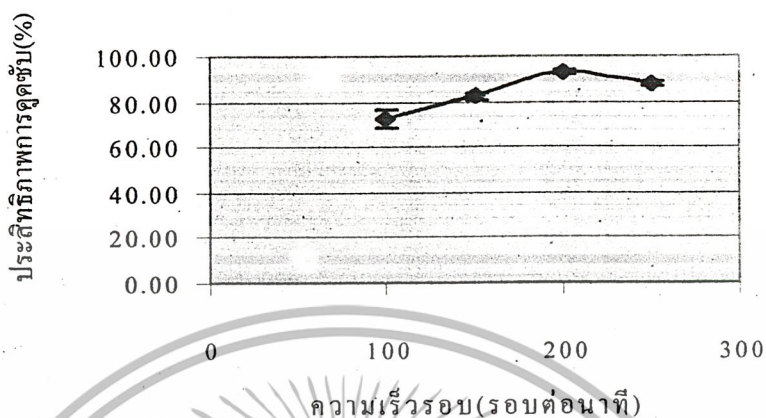
4.1.2. ผลของความเร็วยรอบที่มีต่อประสิทธิภาพการคูดซัฟฟีนอลของไข่ไก่

จากผลการทดลองในข้อ 4.1.1. จะได้ปริมาณไข่ไก่ค่าที่เหมาะสมในการคูดซัฟฟีนอล ส่วนสภาวะอื่นๆ เช่น เวลาในการเขย่า 120 นาที และความเป็นกรดค้างช่วง 6-8 ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการคูดซัฟฟีนอลของไข่ไก่ที่ความเร็วยรอบต่างกัน

ความเร็วยรอบ (rpm)	100	150	200	250
ประสิทธิภาพการคูดซัฟ (%)	72.51	88.84	92.86	87.63
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.05	1.26	0.76	1.14
ช่วง	68.46-76.56	87.58-90.10	92.10-93.62	86.49-88.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการเคลือบพื้นนอกของเก้าอี้ที่ความเร็วรอบต่างๆกัน

จากตารางที่ 4.2. และรูปที่ 4.2. เมื่อเพิ่มความเร็วในการเขย่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการเคลือบพื้นนอกต่อน้ำหนักเก้าอี้จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบในการเขย่าเพิ่มขึ้นจะเกิดการปั่นป่วนสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มที่แทรกอยู่ที่พื้นที่ผิวของเก้าอี้ลดลง ส่งผลให้การแพร่ของฟิล์มเคลือบพื้นนอกของเก้าอี้ได้มากขึ้น จนกระทั่งที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ปริมาณการเคลือบพื้นนอกต่อน้ำหนักเก้าอี้จะเพิ่มสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.86% แต่เมื่อความเร็วรอบในการเขย่ามากกว่า 200 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการเคลือบจะลดลง เนื่องจากเก้าอี้จะถูกเหวี่ยงไปติดที่ผนังภาชนะ ทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบลดลง

4.1.3. ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการเคลือบพื้นนอกของเก้าอี้

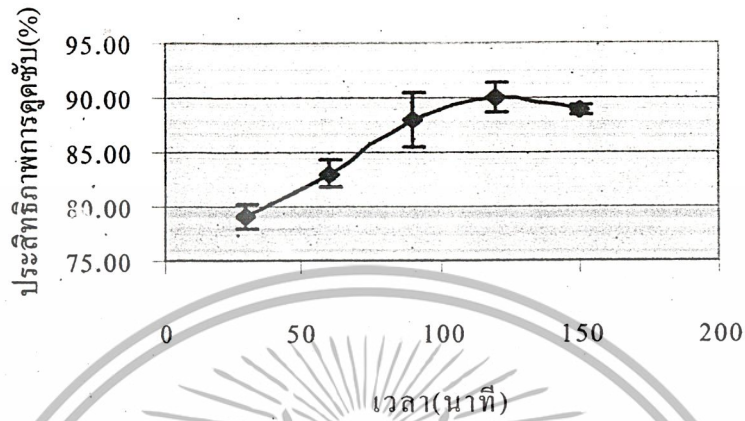
จากผลการทดลองในข้อ 4.1.1. และ 4.1.2. จะได้ปริมาณเก้าอี้เคลือบ และความเร็วรอบในการเขย่าที่เหมาะสมในการเคลือบพื้นนอก ส่วนสถานะอื่นๆ เช่น ความเป็นกรดค่าช่วง 6-8 ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการเคลือบพื้นนอกของเก้าอี้ที่เวลาที่ใช้ในการเคลือบต่างๆกัน

เวลา(นาที)	30	60	90	120	150
ประสิทธิภาพการเคลือบ(%)	79.8	83.07	87.86	89.99	88.94
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.08	1.27	2.51	1.29	0.47
ช่วง	78.00-80.16	81.80-84.34	85.35-90.37	88.70-91.28	88.47-89.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นนอกเหนือจากนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของน้ำหนักถั่วแกลบที่เวลาที่ใช้ในการดูดซับ
ต่างๆกัน

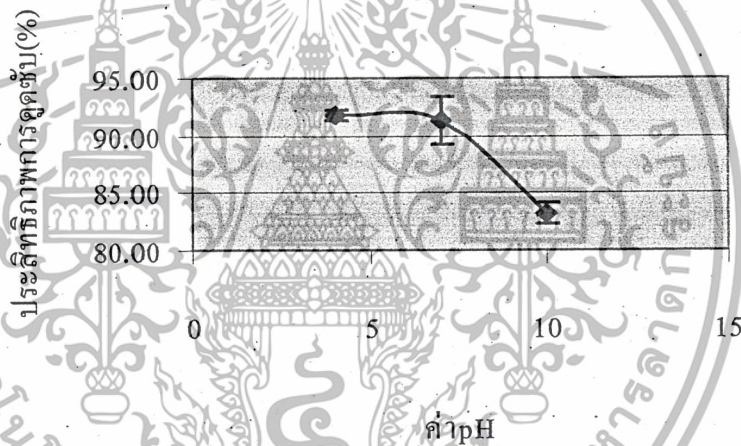
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3. จะเห็นว่า เมื่อเวลาในการเขย่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเวลาในการเขย่าเพิ่มขึ้น ฟีนอลจะเกิดการแพร่จากสารละลายไปยังผิวของถั่วแกลบ และเกิดการดูดซับมากขึ้น จากผลการทดลองเมื่อเวลาในการเขย่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเวลาในการเขย่า 120 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.99 % แต่เมื่อเวลาเขย่ามากกว่า 120 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับจะคงที่

4.1.4. ผลของความเป็นกรด่างที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของน้ำหนักถั่วแกลบ

จากผลการทดลองข้อ 4.1.1, 4.1.2. และ 4.1.3. จะได้ปริมาณถั่วแกลบ, เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟีนอล และความเร็วยรอบในการเขย่า ดังนี้ ปริมาณถั่วแกลบที่เหมาะสมคือ 4 กรัม, เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 120 นาที และความเร็วยรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที ซึ่งจากการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลือที่ความเป็นกรดต่าง ๆ กัน

pH	4	7	10
ประสิทธิภาพการดูดซับ(%)	91.78	91.33	83.14
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	2.09	0.91
ช่วง	91.37-92.19	89.24-93.42	82.23-84.05



รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลือที่ความเป็นกรดต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของน้ำหน้เกลือ ถ้ำเกลือจะแตกต่างกันที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4 และ 7 เท่ากับ 91.73 และ 91.33% ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อค่าความเป็นกรดต่าง 10 ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงอย่างมากเท่ากับ 83.14% ทั้งนี้ เนื่องจากองค์ประกอบหลักในการดูดซับฟีนอลคือ คาร์บอน โดยอาศัยสมบัติความไม่มีขั้วของฟีนอลและถ้ำเกลือเกิดการดูดซับด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waal's force) แต่เมื่อความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นมากกว่า 9.92 (ค่า pK_a ของฟีนอลเท่ากับ 9.92) ฟีนอลจะเกิดการแตกตัวเป็นสารที่มีขั้วทางไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง หรืออีกประการหนึ่งเนื่องจากถ้ำเกลือมีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ที่สภาวะกรด ซิลิกอนไดออกไซด์สามารถดูดซับฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอล เนื่องจากทั้งซิลิกอน ไดออกไซด์และฟีนอลเป็นสารที่ไม่มีขั้วทางไฟฟ้า แต่ที่สภาวะเบส ซิลิกอนไดออกไซด์และฟีนอลจะแตกตัวเป็นสารที่มีขั้วทางไฟฟ้าเหมือนกัน ทำให้ซิลิกอนไดออกไซด์ไม่สามารถดูดซับฟีนอล ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

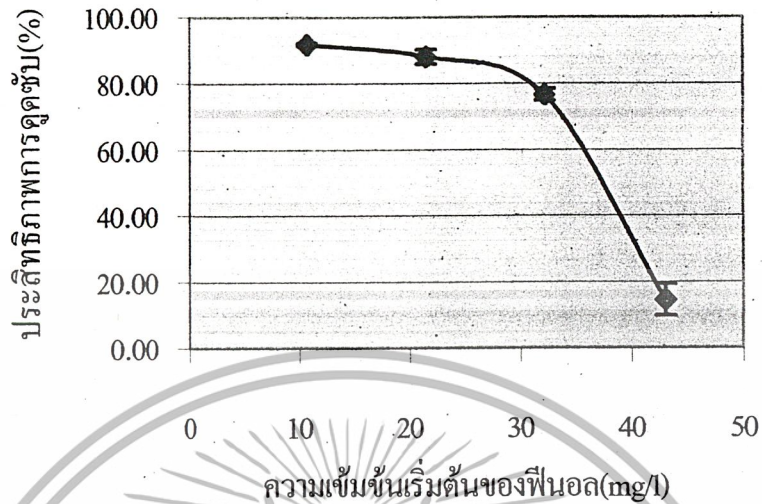
4.1.5. ผลของความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลือ

จากการทดลองข้อ 4.1.1. ถึง 4.1.4. ทำให้สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟีนอล ดังนี้ ปริมาณถ้ำเกลือที่ใช้ในการดูดซับ 4 กรัม, เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 120 นาที, ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที และสภาพความเป็นกรดค่า 7 ซึ่งจากสภาวะดังกล่าวจะนำมาศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้นเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลือซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลือที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่างๆกัน

ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/l)	10.75	21.5	32.25	43
ประสิทธิภาพการดูดซับ(%)	91.78	88.11	76.61	14.48
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	2.17	1.71	4.79
ช่วง	91.37-92.19	85.94-90.28	74.90-78.32	9.69-19.27
ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	0.37	0.70	0.92	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อน้ำหนักถ้ำแคลบที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่างๆกัน

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง เนื่องจากปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ้ำแคลบมีปริมาณคงที่ จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลที่เหมาะสมเท่ากับ 91.78%

4.1.6. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลของถ้ำแคลบ

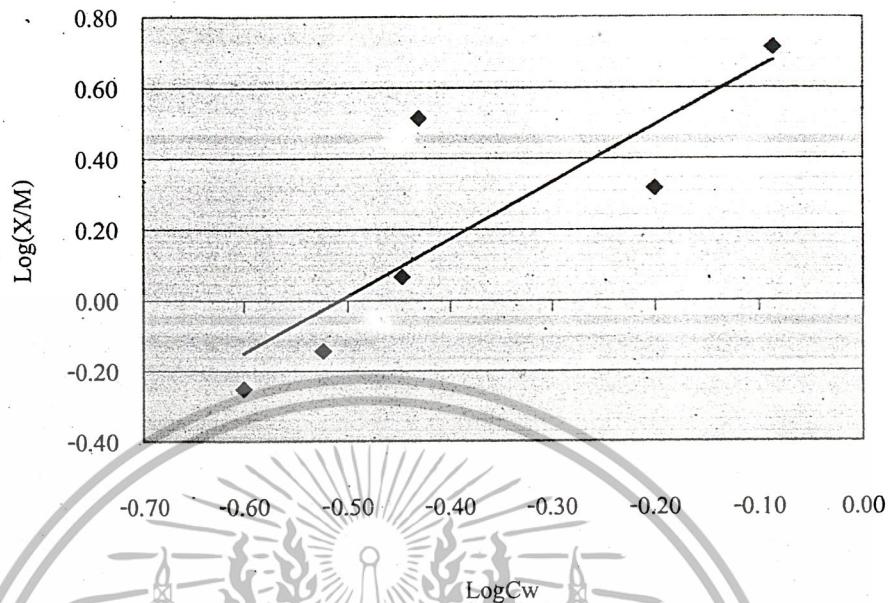
เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟีนอลของถ้ำแคลบแล้วจะทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลของถ้ำแคลบ (ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 32.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมีค่าปริมาณการดูดซับมากที่สุด) โดยในที่นี้จะศึกษา ไอโซเทอร์มแบบ Freundlich Isotherm ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลของถ้ำแกลบแบบ Freundlich

Isotherm

น้ำหนักถ้ำแกลบ(g)	ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วง
1	Log(X/M)	-0.09	0.02	(-0.11)-(-0.07)
	logCw	0.71	0.03	0.68-0.74
2	Log(X/M)	-0.2	0	-0.2
	logCw	0.32	0.02	0.30-0.34
3	Log(X/M)	-0.43	0.02	(-0.45)-(-0.41)
	logCw	0.51	0.04	0.47-0.55
4	Log(X/M)	-0.45	0.01	(-0.46)-(-0.41)
	logCw	0.07	0.07	0-0.14
5	Log(X/M)	-0.52	0.01	(-0.53)-(-0.51)
	logCw	-0.14	0.18	(-0.32)-(0.04)
6	Log(X/M)	-0.6	0.01	(-0.61)-(-0.59)
	logCw	-0.25	0.18	(-0.43)-(-0.07)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลของถ่านแกลบแบบ Freundlich

Isotherm

จากรูปที่ 4.6 จะได้สมการเส้นตรง $y = 1.6108x + 0.8167$ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ $1/n$ และ K ได้เท่ากับ 1.6108 และ 6.5569 จากสมการ Freundlich

$$X/M = KC^{1/n}$$

หรือ

$$\log X/M = \log K + 1/n \log C$$

จากเส้นตรงในสเกล log-log สามารถอ่านค่า K และ $1/n$ ได้

โดยที่

$$1/n = \text{ความชันของเส้นตรง}$$

$$K = X/M \text{ (mg/g) เมื่อ } C = 1 \text{ mg/l}$$

ความสามารถในการดูดซับเมื่อความเข้มข้นสารปนเปื้อนเท่ากับ 1 mg/l

เมื่อ

$$X = \text{ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)}$$

$$M = \text{ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)}$$

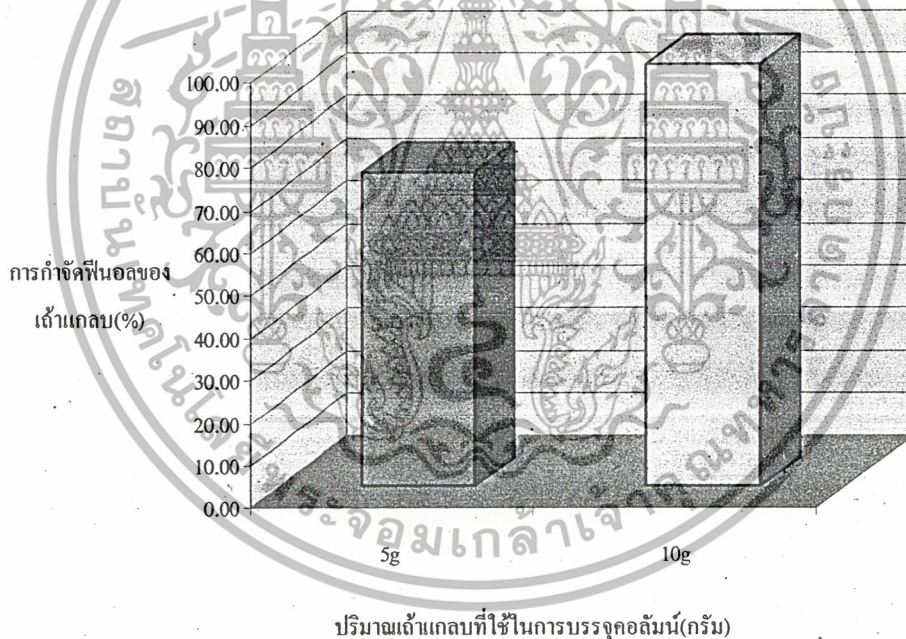
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. การศึกษาการดูดซับแบบคอลัมน์เบื้องต้น

ในที่นี้จะทำการศึกษาดังผลของปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ในการบรรจุคอลัมน์ ซึ่งจะใช้ปริมาณ 5 และ 10 กรัม ซึ่งจากการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการดูดซับฟีนอลของเถ้าแกลบในคอลัมน์ที่ปริมาณเถ้าแกลบ 5 และ 10 กรัม

น้ำหนักตัวดูดซับ (g)	5g	10g
ประสิทธิภาพการดูดซับ(%)	73.98	99.16
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.075	0.675
ช่วง	73.905-74.055	98.487-99.837



รูปที่ 4.7 แสดงการดูดซับฟีนอลของเถ้าแกลบในคอลัมน์ที่ปริมาณเถ้าแกลบ 5 และ 10 กรัม

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ในการบรรจุคอลัมน์ การดูดซับฟีนอลจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ ปริมาณเถ้าแกลบ 5 และ 10 กรัม จะสามารถดูดซับฟีนอลได้ 73.98 และ 99.16% ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบ ทำให้ความสูงของชั้นตัวดูดซับจะมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1. บทสรุป

การนำถ้ำเกลือมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอลนั้นมีความเป็นไปได้โดยมีวัตถุประสงค์ในการหาความสามารถในการกำจัดฟีนอล ซึ่งในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอล และความสามารถในการกำจัดฟีนอลแบบครั้งด้วยน้ำที่ปนเปื้อนฟีนอลที่สังเคราะห์ขึ้น นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดฟีนอลแบบคอลัมน์เบื้องต้นด้วยน้ำที่ปนเปื้อนฟีนอลที่สังเคราะห์ขึ้น

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอลแบบครั้งด้วยการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ของถ้ำเกลือ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอลของถ้ำเกลือ มีสภาวะดังนี้ ปริมาณถ้ำเกลือที่ใช้ 4 กรัม, เวลาในการเขย่า 120 นาที ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที และ ความเป็นกรดค่า 7 ส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล คือ 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ำเกลือมีประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลในสภาวะดังกล่าวเท่ากับ 91.78% ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาหาความสามารถของถ้ำเกลือจากการทดลอง ไอโซเทอร์ม พบว่ามีค่า K และ $1/n$ ซึ่งคำนวณจากสมการ Freundlich ที่ความเข้มข้นของฟีนอล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า K เท่ากับ 6.5569

จากการศึกษาพบว่า ถ้ำเกลือสามารถดูดซับฟีนอลได้ เนื่องจากการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลืออาศัยการเกิดคูตติคด้วยแรง Van der Waals ซึ่งมีองค์ประกอบของคาร์บอนเป็นหลัก และยังเกิดการดูดซับจากองค์ประกอบของซิลิกอน ไดออกไซด์ที่มีอยู่ในถ้ำเกลือในการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการกำจัดฟีนอลแบบต่อเนื่องด้วยน้ำที่ปนเปื้อนฟีนอล ซึ่งได้สังเคราะห์ขึ้น จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณถ้ำเกลือที่ใช้ในการดูดซับเพิ่มขึ้น จะสามารถกำจัดฟีนอลได้เพิ่มขึ้น

จากการทดลอง พบว่า ถ้ำเกลือสามารถนำไปกำจัดฟีนอลจากน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้น ทำให้กระบวนการกำจัดฟีนอลออกจากน้ำเสียมีต้นทุนถูกลง และสามารถกำจัดฟีนอลออกจากน้ำเสียได้ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ในแต่ละท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือทำให้วัสดุเหลือใช้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เป็นการลดปริมาณของถ้ำเกลือที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนในการกำจัดถ้ำเกลือที่ต้องกำจัดได้

5.2. ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ควรนำเถ้าแกลบมาใช้ในการทดลองกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอลจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีองค์ประกอบหลายชนิดซึ่งอาจมีสารที่มีผลต่อการกำจัดฟีนอลของเถ้าแกลบ

5.2.2. ควรศึกษาถึงแนวทางในการกำจัดเถ้าแกลบที่ผ่านการดูดซับฟีนอลแล้ว เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของฟีนอลออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกครั้ง

5.2.3. ควรทำการศึกษาการใช้เถ้าแกลบในการดูดซับสารอินทรีย์ชนิดอื่น เนื่องจากเถ้าแกลบที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบของคาร์บอนประกอบอยู่

5.2.4. ควรศึกษาถึงผลของปริมาณคาร์บอนในเถ้าแกลบ ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับฟีนอลและสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. 2542. ฟีนอล. กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ
 แม้น อมรสิทธิ์. 2539. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.
- สันทัก สิริอนันต์ไพบุลย์ และคณะ. 1999. Removal of Organic matter and phenol compounds from the waste water by using granular activated carbon-sequence batch reactor system. *Thammasart International Technology*.1(4):38-48
- สุนทรี่ สุภากรณ์. 2542. การลดปริมาณแมงกานีสในน้ำดื่มเคราะห์โดยการกรองด้วยถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- An, H.K., Park, B.Y., Kim, D.S. 2001. Crab Shell For The Removal of Heavy Metal from Aqueous Solution. *Water reseach*. 6(35): 3551-3556.
- Ewing, Galen W. 1985. *Instrumental Methods of Chemical Analysis*. New York.: Mc Graw-Hill.
- Ghonsagi, D., Gupta S., Dooley, K.M., Knopf, F.C. 1991. Phenol wastewater treatment with Supercritical CO₂. *The journal of supercritical fluids*.(4):53-59
- Suzuki, N. 1990. *Adsorption Engineering*. Tokyo.: Elsevier, Inc.
- Wilberg, K.Q. 2000. Removal of phenol by enzymatic oxidation and flotation. *Journal of Chemical Engineering*. (17)
- William, J.C., Charles, N.K., Thomas, D.W. 2002. Removal of phenol from aqueous Solution using energy electron beam irradiation. *Energig technology bulletin*.

ภาคผนวก ก.

การเตรียมกราฟมาตรฐานและการวิเคราะห์

(สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

1. การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1075 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.1. สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1075 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งฟีนอลมา 1.075 มิลลิกรัมละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร

1.2. สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปตสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1075 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 10 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.5 โมลต่อลิตร

ปีเปตสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 16.36 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 6.8

ชั่งไตรโพรแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 26.125 กรัมและโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 18.075 กรัมนำมาละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร

4. สารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน

ชั่ง 4-อะมิโนแอนติไพรีน 2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. สารละลายไตรโพรแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต

ชั่งไตรโพรแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต 8 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปีเปตสารละลายฟีนอลเข้มข้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตรใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 90 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่

2. เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 2.5 มิลลิลิตร

3. ปรับค่าความเป็นกรดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.8 ให้มีค่า 7.9 ± 0.1 หลังจากนั้นจึงถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมสารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน และสารละลายไตรโพแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรตอย่างละ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้เกิดสี

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

6. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย

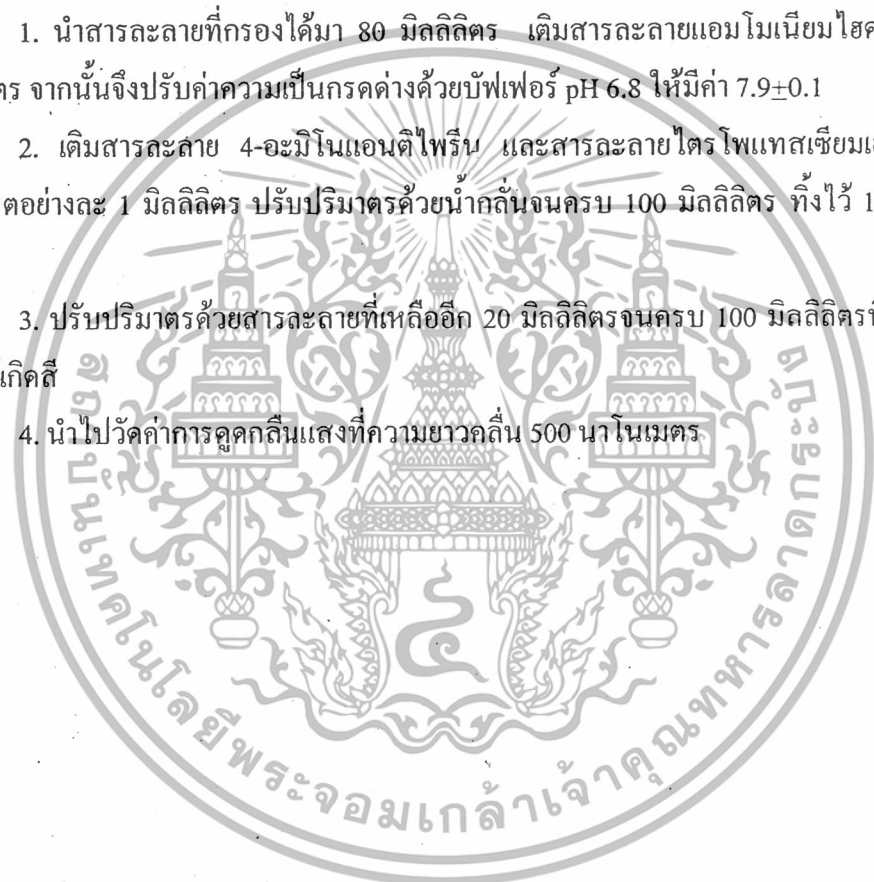
3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลโดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี

1. นำสารละลายที่กรองได้มา 80 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นจึงปรับค่าความเป็นกรดด้วยบัฟเฟอร์ pH 6.8 ให้มีค่า 7.9 ± 0.1

2. เติมสารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน และสารละลายไตรโพแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรตอย่างละ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้เกิดสี

3. ปรับปริมาตรด้วยสารละลายที่เหลืออีก 20 มิลลิลิตรจนครบ 100 มิลลิลิตรทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้เกิดสี

4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร



ภาคผนวก ข.

มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

และนิคมอุตสาหกรรม (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5-9.0
ทึดึเอส (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 3,000 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 5,000 mg/l น้ำทิ้งที่ระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีความเค็ม 2,000 mg/l หรือลงสู่ทะเล ค่าที่ติเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ติเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้อีกไม่เกิน 5,000 mg/l
สารแขวนลอย (Suspended solids)	ไม่เกิน 50 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 150 mg/l
อุณหภูมิ (Temperrature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สีและกลิ่น (Color and Oder)	เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1 mg/l
น้ำมันและไขมัน (Fat oil and Grease)	ไม่เกิน 5 mg/l อาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 15 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ
นิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1 mg/l
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1 mg/l
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1 mg/l
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือ สัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีที่กำหนด
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 60 mg/l
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)	ไม่เกิน 100 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 200 mg/l
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 400 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ
นิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
โลหะหนัก(Heavy Metal)	
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 50 mg/l
โครเมียม(Cr)	
Hexavalent	ไม่เกิน 0.25 mg/l
Trivalent	ไม่เกิน 0.75 mg/l
อาร์เซนิก(As)	ไม่เกิน 0.25 mg/l
ทองแดง(Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/l
ปรอท(Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/l
แคดเมียม(Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/l
แบเรียม(Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
เซลเลเนียม(Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/l
ตะกั่ว(Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/l
นิกเกิล(Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
แมงกานีส(Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l

หมายเหตุ :

1. มาตรฐานฯนี้ ได้ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง
จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539
2. mg/l หมายถึง มิลลิกรัมต่อลิตร
3. โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
4. นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรมหรือ
โครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำ
สาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม
5. น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อน
อยู่ในของเหลวนั้น
6. น้ำทิ้ง หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่
แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ

7. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณ (An; Park and Kim 2001)

1. การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับ

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของฟีนอลก่อนการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร
 C คือ ความเข้มข้นของฟีนอลหลังการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับ

$$\text{ปริมาณการดูดซับ (mg/g)} = \frac{[(C_0 - C) \times V]}{1000 \times M}$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของฟีนอลก่อนการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร
 C คือ ความเข้มข้นของฟีนอลหลังการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร
 V คือ ปริมาตรของสารละลาย มีหน่วย มิลลิลิตร
 M คือ น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับ มีหน่วย กรัม

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองการดูดซับแบบครั้ง

1. ผลของปริมาณเถ้าแกลบค่าที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของเถ้าแกลบค่า

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเริ่มต้น 9.86 มิลลิกรัมต่อลิตร, ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที, เวลาในการเขย่า 120 นาที และค่าความเป็นกรดค่าเป็น

6-7

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)
0.0	0.000	-	-	-	-
1.97	0.241	-	-	-	-
3.94	0.621	-	-	-	-
5.91	0.747	-	-	-	-
7.88	0.985	-	-	-	-
9.86	1.098	-	-	-	-
2g-1	0.385	2.0398	2.90	70.56	0.51
2g-2	0.406	2.0042	3.09	68.69	0.51
2g-3	0.348	2.098	2.58	73.86	0.52

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1137x + 0.055$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

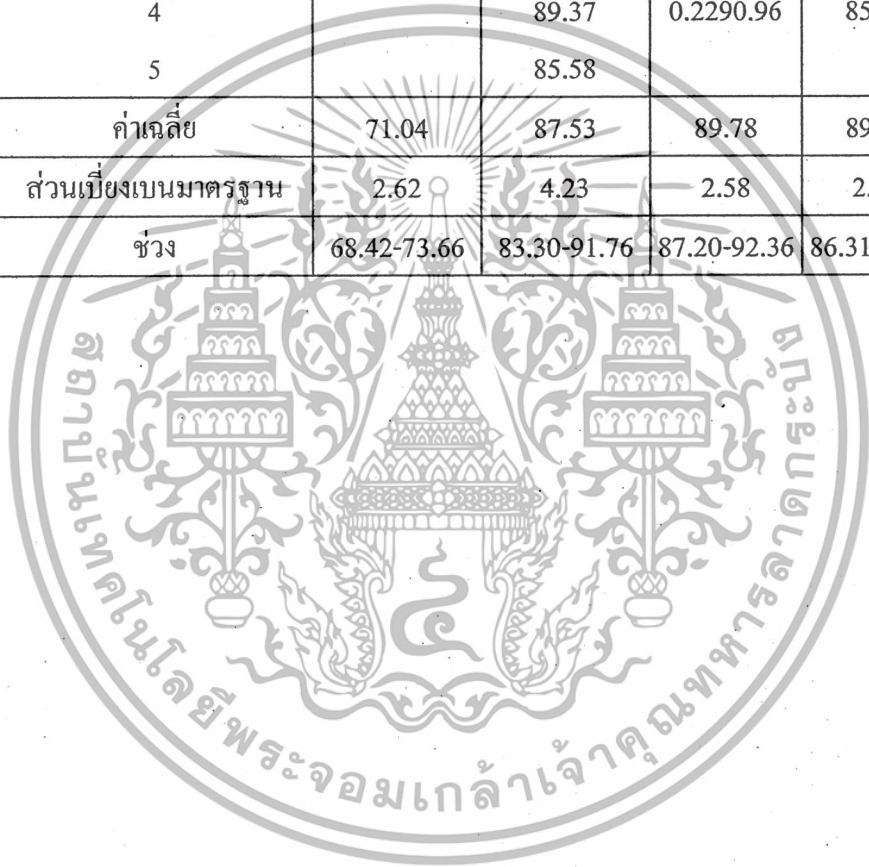
C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)
0.0	0.000	-	-	-	
0.99	0.120	-	-	-	
1.97	0.253	-	-	-	
2.96	0.391	-	-	-	
3.94	0.520	-	-	-	
4.93	0.655	-	-	-	
4g-1	0.076	4.1826	0.62	93.76	0.33
4g-2	0.174	4.078	1.35	86.33	0.31
4g-3	0.223	4.1497	1.71	82.62	0.29
4g-4	0.134	4.0107	1.05	89.37	0.33
4g-5	0.184	4.0659	1.42	85.58	0.31
6g-1	0.117	6.0053	0.92	90.65	0.22
6g-2	0.105	6.0325	0.83	91.56	0.22
6g-3	0.179	6.0432	1.38	85.95	0.21
6g-4	0.113	6.007	0.89	90.96	0.22
8g-1	0.11	8.1413	0.87	91.18	0.17
8g-2	0.105	8.0914	0.83	91.56	0.17
8g-3	0.158	8.0209	1.23	87.55	0.16
8g-4	0.179	8.0181	1.38	85.95	0.16

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1338x - 0.0063$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองของปริมาณเถ้าแกลบดำที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของเถ้า
แกลบดำ

จำนวนซ้ำ/ปริมาณแกลบ	2	4	6	8
1	70.56	93.76	90.65	91.18
2	68.69	86.33	0.2291.56	91.56
3	73.86	82.62	0.2185.95	87.55
4		89.37	0.2290.96	85.95
5		85.58		
ค่าเฉลี่ย	71.04	87.53	89.78	89.06
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.62	4.23	2.58	2.75
ช่วง	68.42-73.66	83.30-91.76	87.20-92.36	86.31-91.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของความเร็วยรอบในการเขย่าที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำแกลบดำ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเริ่มต้น 9.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ้ำแกลบดำ 4 กรัม, เวลาในการเขย่า 120 นาที และค่าความเป็นกรดค่าเป็น 6-7

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)
0	0	-	-	-	-
2.15	0.271	-	-	-	-
4.30	0.557	-	-	-	-
6.45	0.863	-	-	-	-
8.60	1.149	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-
150rpm-1	0.147	4.0480	1.17	89.13	0.36
150rpm-2	0.134	4.0103	1.07	90.03	0.36
150rpm-3	0.156	4.0201	1.24	88.51	0.36
150rpm-4	0.177	4.0085	1.39	87.06	0.35
150rpm-5	0.147	4.0834	1.17	89.13	0.35
200rpm-1	0.099	4.0105	0.81	92.46	0.37
200rpm-2	0.078	4.1773	0.65	93.91	0.36
200rpm-3	0.085	4.0098	0.71	93.42	0.38
200rpm-4	0.101	4.0271	0.83	92.32	0.37
200rpm-5	0.103	4.0800	0.84	92.18	0.36

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสม

$$\text{การ } y = 0.1344x - 0.01$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)
0	0	-	-	-	-
2.15	0.268	-	-	-	-
4.30	0.541	-	-	-	-
6.45	0.848	-	-	-	-
8.60	1.116	-	-	-	-
10.75	1.301	-	-	-	-
100rpm-1	0.376	4.1084	2.94	72.66	0.29
100rpm-2	0.317	4.1169	2.46	77.08	0.30
100rpm-3	0.336	4.2632	2.62	75.66	0.29
100rpm-4	0.412	4.1886	3.23	69.97	0.27
100rpm-5	0.449	4.2999	3.53	67.20	0.25
250rpm-1	0.172	4.4662	1.30	87.93	0.32
250rpm-2	0.168	4.1567	1.27	88.23	0.34
250rpm-3	0.197	4.0520	1.50	86.06	0.34
250rpm-4	0.185	4.1703	1.40	86.96	0.34
250rpm-5	0.158	4.1569	1.19	88.98	0.35

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1243x + 0.0107$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองของความเร็วรอบในการเขย่าที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลต่อ
น้ำหนักแห้งแกลบคั่ว

จำนวนซ้ำ/ความเร็วรอบ	100	150	200	250
1	72.66	89.13	92.46	87.93
2	77.08	90.03	93.91	88.23
3	75.66	87.06	93.42	86.06
4	69.97	89.13	92.32	86.96
5	67.20		92.18	88.98
ค่าเฉลี่ย	72.51	88.84	92.86	87.63
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.05	1.26	0.76	1.14
ช่วง	68.46-76.56	87.58-90.10	92.10-93.62	86.49-88.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของเวลาในการเขย่าที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเริ่มต้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปริมาณถ่านกัมมันต์ 4 กรัม และมีค่าความเป็นกรดต่างเป็น 6-7

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R(%)	Q(mg/g)
0	0	-	-	-	-
2.15	0.258	-	-	-	-
4.30	0.528	-	-	-	-
6.45	0.816	-	-	-	-
8.60	0.971	-	-	-	-
10.75	1.264	-	-	-	-
30min-1	0.278	4.1575	2.27	78.92	0.31
30min-2	0.264	4.1710	2.15	80.04	0.31
30min-3	0.296	4.0780	2.42	77.48	0.31
30min-4	0.279	4.0804	2.27	78.84	0.31
30min-5	0.263	4.1280	2.14	80.12	0.31
60min-1	0.231	4.0919	1.86	82.68	0.33
60min-2	0.218	4.0055	1.75	83.72	0.34
60min-3	0.216	4.0263	1.73	83.89	0.34
60min-4	0.252	4.0888	2.04	81.00	0.32
60min-5	0.214	4.0076	1.72	84.05	0.34

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสม

$$\text{การ } y = 0.1162x + 0.0147$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R(%)	Q(mg/g)
0	0	-	-	-	-
2.15	0.279	-	-	-	-
4.30	0.530	-	-	-	-
6.45	0.828	-	-	-	-
8.60	1.075	-	-	-	-
10.75	1.296	-	-	-	-
90min-1	0.173	4.0165	1.31	87.80	0.35
90min-2	0.214	4.0051	1.65	84.67	0.34
90min-3	0.179	4.1251	1.36	87.34	0.34
90min-4	0.173	4.3783	1.31	87.80	0.32
90min-5	0.122	4.3280	0.89	91.70	0.34
120min-1	0.142	4.1744	1.06	90.17	0.35
120min-2	0.119	4.1122	0.87	91.93	0.36
120min-3	0.142	4.233	1.06	90.17	0.34
120min-4	0.156	4.0304	1.17	89.10	0.36
120min-5	0.163	4.0693	1.23	88.57	0.35

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1218x + 0.0133$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R(%)	Q(mg/g)
0	0	-	-	-	-
2.15	0.293	-	-	-	-
4.30	0.584	-	-	-	-
6.45	0.896	-	-	-	-
8.60	1.131	-	-	-	-
10.75	1.384	-	-	-	-
150min-1	0.169	4.0438	1.16	89.19	0.36
150min-2	0.167	4.0886	1.15	89.33	0.35
150min-3	0.167	4.0114	1.15	89.33	0.36
150min-4	0.180	4.1232	1.25	88.40	0.35
150min-5	0.179	4.0033	1.24	88.47	0.36

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1295x + 0.0185$

สรุปผลการทดลองของเวลาในการเขย่าที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์

จำนวนชั่วโมง/เวลา	30	60	90	120	150
1	78.92	82.68	87.80	90.17	89.19
2	80.04	83.72	84.67	91.93	89.33
3	77.48	83.89	87.34	90.17	89.33
4	78.84	81.00	87.80	89.10	88.40
5	80.12	80.05	91.70	81.57	88.47
ค่าเฉลี่ย	79.08	83.07	87.86	89.99	88.94
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.08	1.27	2.51	1.29	0.47
ช่วง	78.00-80.16	81.80-84.34	85.35-90.37	88.70-91.28	88.47-89.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลของความเป็นกรดค่าที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเริ่มต้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปริมาณถ่านกัมมันต์ 4 กรัม ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที และเวลาในการเขย่า 2 ชั่วโมง

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M(g)	C(mg/l)	%R (%)	Q(mg/g)	pH เริ่มดูดซับ
0	0	-	-	-	-	-
2.15	0.258	-	-	-	-	-
4.30	0.490	-	-	-	-	-
6.45	0.775	-	-	-	-	-
8.60	-	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-	-
pH4-1	0.104	4.0046	0.90	91.64	0.37	3.87
pH4-2	0.104	4.0222	0.90	91.64	0.37	3.91
pH4-3	0.101	4.0380	0.87	91.88	0.37	4.03
pH4-4	0.094	4.0047	0.81	92.43	0.37	4.23
pH4-5	0.108	4.0313	0.93	91.33	0.37	3.98

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1189x - 0.0028$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M(g)	C(mg/l)	%R (%)	Q(mg/g)	pH เติมดูดซับ
0	0	-	-	-	-	-
2.15	0.330	-	-	-	-	-
4.30	0.464	-	-	-	-	-
6.45	0.698	-	-	-	-	-
8.60	0.935	-	-	-	-	-
10.75	1.111	-	-	-	-	-
pH7-1	0.147	4.0503	1.00	90.74	0.36	6.94
pH7-2	0.144	4.0665	0.97	91.02	0.36	6.95
pH7-3	0.155	4.0866	1.07	90.01	0.36	6.95
pH7-4	0.156	4.0695	1.08	89.91	0.36	7.04
pH7-5	0.101	4.0050	0.54	94.98	0.38	6.85
pH10-1	0.225	4.0145	1.77	83.56	0.34	9.95
pH10-2	0.244	4.0909	1.96	81.81	0.32	10.00
pH10-3	0.227	4.0369	1.79	83.38	0.33	10.16
pH10-4	0.234	4.0174	1.86	82.73	0.33	10.01
pH10-5	0.218	4.0300	1.70	84.20	0.34	10.04

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.101x - 0.0465$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองของความเป็นกรดต่างที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำ
 แกลบดำ

จำนวนซ้ำ/pH	4	7	10
1	91.64	90.74	83.56
2	91.64	91.02	81.81
3	91.88	90.01	83.38
4	92.43	89.91	82.73
5	91.33	94.38	84.20
ค่าเฉลี่ย	91.78	91.33	83.14
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	2.09	0.91
ช่วง	91.37-92.19	89.24-93.42	82.23-84.05

6. ผลของความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำ

แกลบดำ

สถานะที่ใช้ในการทดลอง : ปริมาณถ้ำแกลบดำ 4 กรัม, ความเร็วรอบในการเขย่า 200
 รอบต่อนาที เวลาในการเขย่า 2 ชั่วโมง และความเป็นกรดต่างมีค่าเป็น 7

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)	pHเริ่มดูดซับ
0	0	-	-	-	-	-
2.15	0.258	-	-	-	-	-
4.30	0.490	-	-	-	-	-
6.45	0.775	-	-	-	-	-
8.60	-	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-	-
10.75mg/l-1	0.104	4.0046	0.90	91.64	0.37	3.87
10.75mg/l-2	0.104	4.0222	0.90	91.64	0.37	3.91
10.75mg/l-3	0.101	4.0380	0.87	91.88	0.37	4.03
10.75mg/l-4	0.094	4.0047	0.81	92.43	0.37	4.23
10.75mg/l-5	0.108	4.0313	0.93	91.33	0.37	3.98

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1189x - 0.0028$

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)	pHเริ่มดูดซับ
0	0	-	-	-	-	-
4.30	0.701	-	-	-	-	-
8.60	1.139	-	-	-	-	-
12.90	1.660	-	-	-	-	-
17.20	2.057	-	-	-	-	-
21.50	2.274	-	-	-	-	-
21.5mg/l-1	0.374	4.0463	1.97	90.84	0.72	4.01
21.5mg/l-2	0.443	4.0131	2.62	87.81	0.71	3.94
21.5mg/l-3	0.477	4.0537	2.94	86.32	0.69	3.89
21.5mg/l-4	0.489	4.0402	3.05	85.79	0.68	4.07
21.5mg/l-5	0.398	4.0153	2.20	89.78	0.72	4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสม

$$\text{การ } y = 0.106x + 0.1652$$

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)	pH เริ่มดูดซับ
0	0	-	-	-	-	-
6.45	0.881	-	-	-	-	-
12.90	1.704	-	-	-	-	-
19.35	2.024	-	-	-	-	-
25.80	2.418	-	-	-	-	-
32.25	-	-	-	-	-	-
32.25mg/l-1	0.864	4.0172	7.06	78.11	0.94	3.96
32.25mg/l-2	0.886	4.0564	7.30	77.37	0.92	4.10
32.25mg/l-3	0.866	4.0062	7.08	78.04	0.94	3.96
32.25mg/l-4	0.968	4.0056	8.18	74.63	0.90	3.99
32.25mg/l-5	0.960	4.0280	8.09	74.90	0.90	4.23

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสม

$$\text{การ } y = 0.0927x + 0.2096$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	%R (%)	Q (mg/g)	pHเริ่มดูดซับ
0	0	-	-	-	-	-
4.30	0.054	-	-	-	-	-
8.60	0.138	-	-	-	-	-
12.90	0.186	-	-	-	-	-
17.20	0.245	-	-	-	-	-
21.50	0.312	-	-	-	-	-
43.00	2.387	-	-	-	-	-
43mg/l-1	1.097	4.0965	26.76	17.02	0.20	3.85
43mg/l-2	1.207	4.0095	28.78	10.77	0.13	4.13
43mg/l-3	1.123	4.0772	27.24	15.54	0.18	4.08
43mg/l-4	1.036	4.1400	25.64	20.48	0.24	4.35
43mg/l-5	1.245	4.1550	29.47	8.61	0.10	4.35

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.0546x - 0.3642$

สรุปผลการทดลองของความเข้มข้นของฟินอลเริ่มต้นที่มีต่อปริมาณการดูดซับฟินอลของถ่านแกลบคั่ว

จำนวนซ้ำ/ความเข้มข้นเริ่มต้น	10.75	21.50	32.25	43.00
1	91.64	90.84	78.11	17.02
2	91.64	87.81	77.37	10.77
3	91.88	86.32	78.04	15.54
4	92.43	85.79	74.63	20.48
5	91.33	89.78	74.90	8.61
ค่าเฉลี่ย	91.78	88.11	76.61	14.48
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	2.17	1.71	4.79
ช่วง	91.37-92.19	85.94-90.28	74.90-78.32	9.69-19.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้น 32.25 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปริมาณ
 เถ้าแกลบค่า 4 กรัม, ความเร็วรอบในการเขย่า 200รอบต่อนาที เวลาในการเขย่า 2 ชั่วโมง และความ
 เป็นกรด่างมีค่าเป็น 7

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	X	X/M	$\log(X/M)$	$\log C_w$
0	0						
2.15	0.252						
4.30	0.530						
6.45	0.812						
8.60	1.078						
10.75	-						
1g-1	0.685	1.0131	5.49	0.79	0.78	-0.11	0.74
1g-2	0.646	1.0117	5.18	0.83	0.83	-0.08	0.71
1g-3	0.610	1.0208	4.90	0.88	0.86	-0.07	0.69
2g-1	0.245	2.0673	2.01	1.31	0.63	-0.20	0.30
2g-2	0.261	2.054	2.14	1.29	0.63	-0.20	0.33
2g-3	0.255	2.0492	2.09	1.30	0.63	-0.20	0.32
3g-1	0.369	3.0246	2.99	1.16	0.38	-0.41	0.48
3g-2	0.402	3.0567	3.25	1.12	0.37	-0.43	0.51
3g-3	0.439	3.0478	3.55	1.08	0.35	-0.45	0.55

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสม

$$\text{การ } y = 0.1263x - 0.0088$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C _o (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	M (g)	C (mg/l)	X	X/M	log(X/M)	logC _w
0	0						
2.15	0.273						
4.30	0.551						
6.45	0.796						
8.60	1.028						
10.75	1.225						
4g-1	0.144	4.0154	1.00	1.46	0.36	-0.44	0.00
4g-2	0.187	4.0057	1.38	1.41	0.35	-0.45	0.14
4g-3	0.161	4.0966	1.15	1.44	0.35	-0.45	0.06
5g-1	0.08	5.021	0.45	1.55	0.31	-0.51	-0.35
5g-2	0.138	5.017	0.95	1.47	0.29	-0.53	-0.02
5g-3	0.129	5.0601	0.87	1.48	0.29	-0.53	-0.06
6g-1	0.069	6.0326	0.35	1.56	0.26	-0.59	-0.45
6g-2	0.117	6.073	0.77	1.50	0.25	-0.61	-0.11
6g-3	0.103	6.0156	0.65	1.52	0.25	-0.60	-0.19

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสม

$$\text{การ } y = 0.1148x + 0.0287$$

- ค่า log [X/M]

จำนวนซ้ำ/g(g)	1	2	3	4	5	6
1	-0.11	-0.20	-0.41	-0.44	-0.51	-0.59
2	-0.08	-0.20	-0.43	-0.45	-0.53	-0.61
3	-0.07	-0.20	-0.45	-0.45	-0.53	-0.60
ค่าเฉลี่ย	-0.09	-0.20	-0.43	-0.45	-0.52	-0.6
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.02	0.0	0.02	0.01	0.01	0.01
ช่วง	(-0.11)-(-0.07)	-0.20	(-0.45)-(-0.41)	(-0.46)-(-0.44)	(-0.53)-(-0.51)	(-0.61)-(-0.59)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า $\text{Log}C_w$

จำนวนซ้ำ/g(g)	1	2	3	4	5	6
1	0.74	0.30	0.48	0.00	-0.35	-0.45
2	0.71	0.33	0.51	0.14	-0.02	-0.11
3	0.69	0.32	0.55	0.06	-0.06	-0.19
ค่าเฉลี่ย	0.71	0.32	0.51	0.07	-0.14	-0.25
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.03	0.02	0.04	0.07	0.18	0.18
ช่วง	0.68-0.74	0.30-0.34	0.47-0.55	0-0.14	(-0.32)-(-0.04)	(-0.43)-(-0.07)

จากผลการทดลอง พบว่า สมการการดูดซับแบบ Freundlich ดังนี้ $y = 1.6108x + 0.8167$

ตอนที่ 2 การทดลองการดูดซับแบบกอดัมน์เบื้องต้น

ในการทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่อง จะศึกษาถึงผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการบรรจุคอลัมน์ ได้ผลการทดลองดังนี้

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	ความสูง(cm)	C (mg/l)	%R (%)
0	0			
2.15	0.278			
4.30	0.559			
6.45	0.865			
8.60	1.053			
10.75	1.333			
10g-1	0.036	38.5	0.151	98.59

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1235x + 0.0173$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	ความสูง(cm)	C (mg/l)	%R (%)
0	0			
2.15	0.257			
4.30	0.553			
6.45	0.807			
8.60	1.079			
10.75	1.268			
10g-2	0.021	32.5	0.062	99.42
10g-3	0.020	31.0	0.054	99.50
10g-4	0.014	-	0.004	99.96
10g-5	0.035	30.6	0.179	98.34
5g-1	0.032	15.0	0.154	98.57

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1204x + 0.0135$

C ₀ (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	ความสูง(cm)	C (mg/l)	%R (%)
0	0			
2.15	0.215			
4.30	0.513			
6.45	0.783			
8.60	1.063			
10.75	1.236			
5g-2	0.009	16.0	0.137	98.72

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1195x + 0.0074$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0 (mg/l)	ค่าการดูดกลืน	ความสูง(cm)	C (mg/l)	%R (%)
0	0			
4.30	0.613			
8.60	1.203			
10.75	1.429			
5g-3	0.037	14.7	0.147	98.63

จากการทดลอง พบว่ากราฟมาตรฐานมีสมการดังนี้ กราฟมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการ $y = 0.1343x + 0.0172$

สรุปผลการทดลองของปริมาณได้แก่ผลที่ใช้บรรจุคอถัมน์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของถ้ำเกลือดำ

จำนวนซ้ำ/น้ำหนักตัวดูดซับ	5g	10g
1	98.57	98.59
2	98.72	99.42
3	98.63	99.50
4		99.96
5		98.34
ค่าเฉลี่ย	73.980	99.162
SD	0.075	0.675
ช่วง	73.905-74.055	98.487-99.837

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

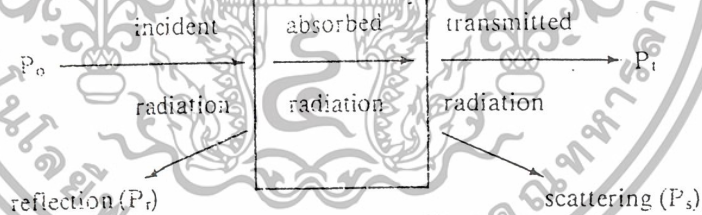
ภาคผนวก จ.

อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

(Ultraviolet and Visible spectroscopy) (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร (nm) ของสารเคมีนั้น ส่วนใหญ่ได้แก่พวกสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำ และมีสภาพไว (sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์ที่อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ แต่ในกรณีที่นำมาพิสูจน์ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารอะไร มีโครงสร้างอย่างไร อาจจะต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นเข้าช่วยด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจ เช่น ใช้เทคนิคทาง IR หรือ NMR spectroscopy เป็นต้น

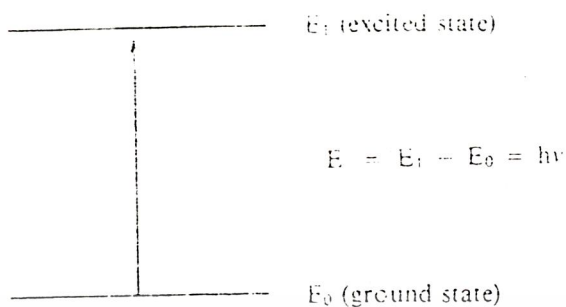
โดยทั่วไปเทคนิคการวิเคราะห์บางครั้งนิยมเรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์ไม่มีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลอาจเรียกว่า คัลเลอร์เมตรี



ภาพที่ 1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องผ่านเข้าไปในวัตถุใด จะพบแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนทะลุออกไปดังแสดงในรูปที่ 1 ถ้าให้แสงทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึม หรือเกรตติง) จะเห็นว่า สเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปเรียกว่า absorption spectrum พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับของพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นแสดงในรูปที่ 2

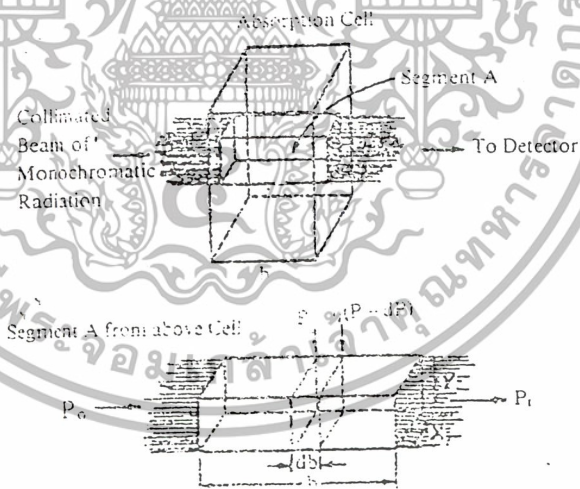
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น (แม้น อมรสิทธิ์, 2539)

หลักในการหาปริมาณของสารกับการวัดปริมาณของแสงที่ดูดกลืน

ในการวัดปริมาณของแสงหรือ radiation ที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่างนั้น เราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณของแสงที่ผ่านทะลุออกมาโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงแสดงกระบวนการวัดการดูดกลืนแสง (แม้น อมรสิทธิ์, 2539)

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของ radiant power ที่เกิดจากการผ่าน monochromatic radiation เข้าไปยังเซลล์ ซึ่งใส่แต่ตัวทำละลายกับสารอื่นๆ ซึ่งไม่มีสารที่ดูดกลืนแสงเรียกว่า blank solution ดังนั้น radiant power ที่ผ่านทะลุออกมาให้เป็น P_0 แสดงดังสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = Ebc = \log P_0/P$$

A = แอ็บซอร์เบแนนซ์ (absorbance)

E = โมลาร์แอ็บซอร์ปติวิตี (molar absorptivity)

b = ความกว้างของเซลล์เป็น ซม.

c = ความเข้มข้น เป็น โมล/ลิตร

ถ้าความเข้มข้นเป็น กรัม/ลิตร หรือหน่วยอื่น ให้เขียนเป็น

$$A = abc$$

A = แอ็บซอร์ปติวิตี (absorptivity)

ทั้ง E และ a เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารและความยาวคลื่น

กฎของเบียร์ Beer's laws หรือกฎของเบียร์แลมเบิร์ต(Beer and Lambert's law) ซึ่งกล่าวสั้นๆ ได้ว่า "ค่าแอ็บซอร์เบแนนซ์ของสารละลายจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้น" ความสัมพันธ์ ของ A และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์

$$P_0/P = T$$

$$100 P/P_0 = \%T$$

$$\log 100 P/P_0 = \log \%T$$

$$2 + \log P/P_0 = \log \%T$$

$$2 - A = \log \%T$$

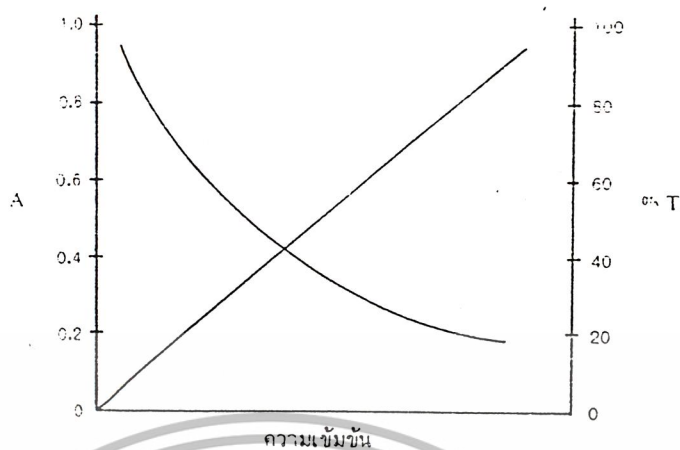
$$A = 2 - \log \%T$$

การที่เราได้กฎของเบียร์เป็น $A = Ebc$ นี้เราได้สมมติว่า

1. แสงหรือ radiant power ที่ใช้ผ่านสารละลายหรือวัตถุนั้นต้องเป็น monochromatic radiation
2. กระบวนการดูดกลืนแสงของแต่ละอนุภาคนั้นจะต้องไม่ขึ้นแก่กัน นั่นคือสารละลายจะต้องเจือจาง
3. สารละลายที่นำไปวัดจะต้องเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน

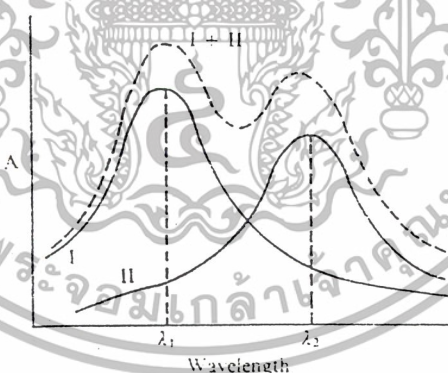
ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า A กับความเข้มข้น จะได้กราฟเป็นเส้นตรง แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์กับความเข้มข้น จะได้กราฟเป็นเส้นโค้ง ดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของคลื่นนิ่งและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของสายลวด (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

กฎของเบียร์สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารหลายชนิดผสมกัน โดยที่แต่ละชนิดมีสมบัติไม่ขึ้นแก่กันและกัน ค่าแอมพลิจูดที่วัดได้จะเป็นผลรวมของแอมพลิจูดของสารแต่ละชนิด ดังรูปที่ 5

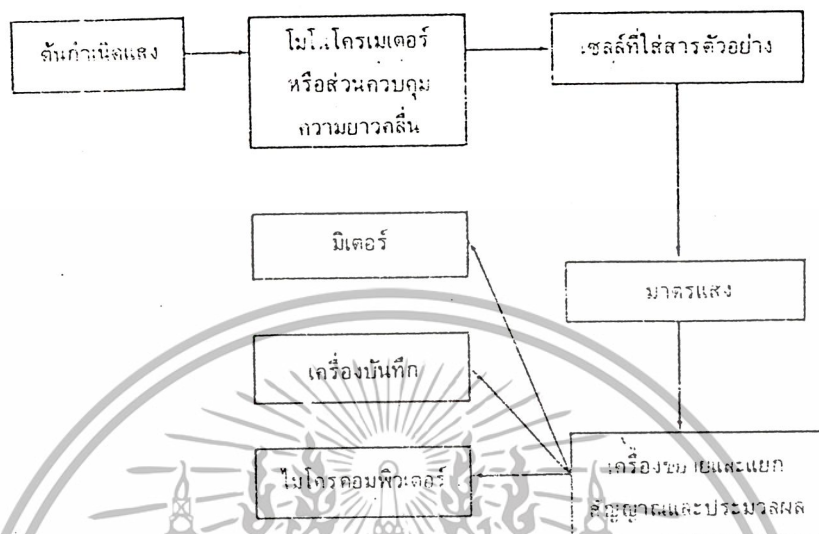


รูปที่ 5 แสดงแอมพลิจูดสเปกตรัมของสาร I, II และของผสม (I + II) (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 6



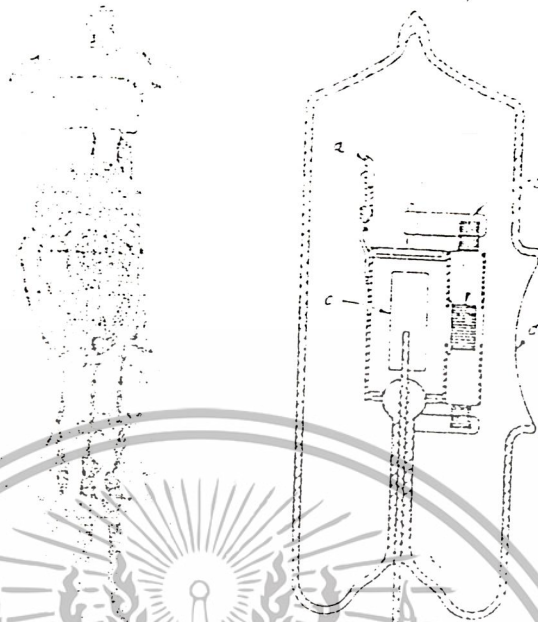
รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

1. ต้นกำเนิดแสง (Light Source)

ต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในงานทางสเปกโทรโฟโตเมตรีนั้น ควรจะต้องมีลักษณะดังนี้

1. จะต้องให้ลำแสง (beam of radiation) ที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง (photometer)
2. จะต้องให้การแผ่รังสี (radiation) ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ
3. จะต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา นั่นคือ Po ต้องคงที่ มิฉะนั้นแล้วผลการวิเคราะห์จะไม่แม่นยำหรือ ไม่มีความเที่ยง

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นั้น ต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นหลอดไฮโดรเจน หรือ หลอดคิวเทอเทียม ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 nm ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจนหรือคิวเทอเทียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่จะให้แสงออกจากหลอดจะต้องทำด้วยควอร์ตหรือ fused silica แต่ถ้าใช้วัสดุอื่น เช่น แก้ว จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ ทั้งหลอดไฮโดรเจนและหลอดคิวเทอเทียมจะบรรจุด้วยแก๊สนั้นไว้ที่ความกดดันต่ำ (5 มม.ปรอท) และใช้ระบบไฟฟ้าชนิด D.C. ขนาด 40 โวลต์เท่านั้น ทั้งหลอดคิวเทอเทียมและหลอดไฮโดรเจนมีอายุใช้งานจำกัด แต่หลอดคิวเทอเทียมซึ่งมีราคาแพงกว่าจะมีอายุใช้งานมากกว่า และให้ความเข้มของแสงมากกว่าด้วย



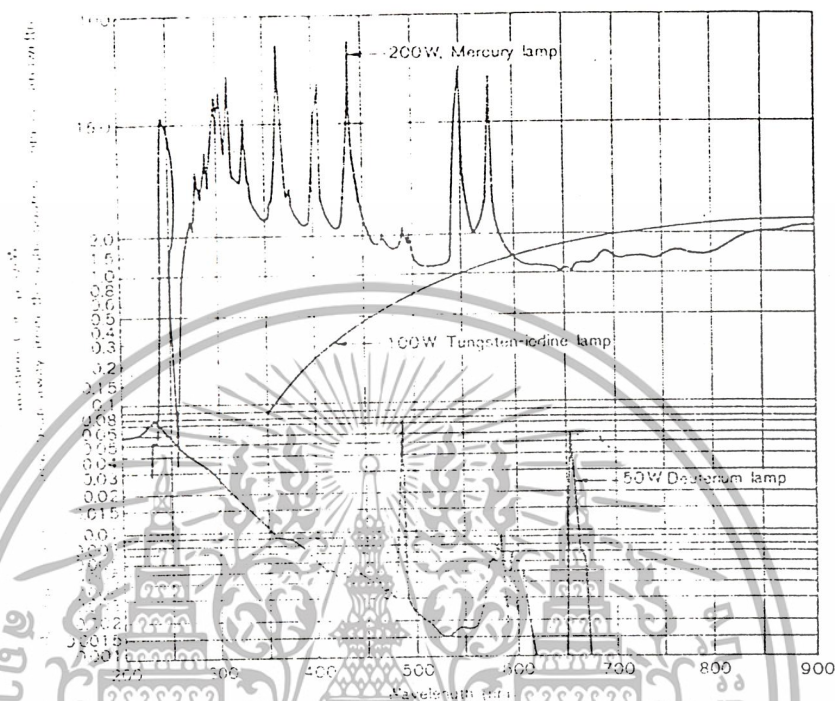
รูปที่ 7 แสดงลักษณะของหลอดไส้โคโรเจน (a) เป็นตัวกำบังแก๊สและตั้งบนเบ้า (b) เป็นไส้หลอด (c) เป็นขั้วบวก (d) เป็นหน้าต่าง (แผ่น อมรสิทธิ์, 2539)

หลอดทังสเตน (tungsten filament lamp) ซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ หลอดไฟธรรมดา โดยใช้ไส้หลอดเป็นโลหะทังสเตน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไป ลวดทังสเตนจะถูกเผาให้ร้อน และเปล่งแสงออกมาอยู่ในช่วง 320-2500 nm ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ลักษณะของสเปกตรัมจะเคลื่อนที่ไปทางความยาวคลื่นสั้นมากขึ้น แต่อายุของหลอดก็สั้นเช่นกัน จึงได้มีการปรับปรุงให้หลอดมีอายุยาวขึ้นโดยใส่แก๊สไอโอดีนหรือแก๊สโบรมีนที่ความดันต่ำไปหลอดที่ทำด้วย fused silica เรียกว่า หลอดควอร์ตซ์-แฮโลเจน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันนี้

นอกจากนี้ยังมีหลอดชนิดอื่นๆ ที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตและวีลบีไลในการผลิตเครื่องมือบางชนิด หลอดดังกล่าวนี้ ได้แก่ หลอดไอปรอทที่ความดันต่ำให้แสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 365 nm (ความจริงสเปกตรามี 3 เส้น คือ 365.0, 365.5, 366.3 nm) ซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้กับเครื่องยูวี-วีลบีไลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ อีกชนิดหนึ่งคือหลอดซินอน หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่ให้ความเข้มข้นของแสงสูง โดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านบรรยากาศของซินอนจะได้ continuous spectrum อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 250-600 nm แต่จะให้ความเข้มสูงที่สุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นประมาณ 500 nm หลอดซินอนนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ในเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แต่จะใช้ในเครื่องมืออื่น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงพลังงานของรังสีซึ่งมีลักษณะเฉพาะของหลอดควมทอเรียรม หลอดไฮปรอท และหลอดทั้งสแตนไอไอคีน (แผ่น อมรสิทธิ์, 2539)

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

ส่วนประกอบนี้ถือว่าเป็นหัวใจของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (คือแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ ความจริงโมโนโครเมเตอร์ จะประกอบด้วย

1. ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่าง โดยติดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิต จึงเป็นส่วนสำคัญ
2. กระจกและเลนส์ เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมาในเครื่อง บางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมกัน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ให้เล็กลง และบางครั้งทำให้แสงกลายเป็นแสงขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆกัน เพื่อให้เหมาะแก่การเลือกใช้ หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงคลื่นแสงที่ต้องการ อุปกรณ์ส่วนนี้อาจประกอบด้วย

- 1) ฟิลเตอร์
- 2) ปริซึม
- 3) เกรตติง เกรตติงที่ใช้ด้วยกันมีอยู่สองแบบ

1. ทรานสมิสชันเกรตติง ทำด้วยวัสดุโปร่งใส เพื่อทำให้แสงผ่านได้ เป็นกระจกแล้วนำมาขีดให้ร่องขนานกัน จำนวนร่องต่อมิลลิเมตรมีมากน้อยได้แตกต่างกัน เกรตติงชนิดนี้ไม่ค่อยนิยมใช้แล้ว

2. รีเฟลกชันเกรตติ หรือเกรตติงแบบสะท้อนแสง เป็นเกรตติงที่ใช้การสะท้อนแสง ดังนั้น ผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ทำจะต้องเรียบและสะท้อนแสงได้ ใช้ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต และ วิตทิเบิล จะต้องมีความยาวร่อง 300-2000 ร่อง ต่อ มม.แต่ที่ใช้กันทั่วไปอยู่ในราว 1200 ต่อ มม.

4. ช่องแสงออก เป็นส่วนที่จะปล่อยให้แสงที่ผ่านสารตัวอย่างแล้วผ่านไปยังมาตรวัดแสง ตลอดจนเป็นส่วนที่ช่วยตัดแสงที่รบกวนอีกด้วย โดยทั่วไปช่องแสงเข้าและช่องแสงออกจะเปิดเท่ากันหรือสามารถปรับได้ตามต้องการ

3. ส่วนที่วางสารตัวอย่างที่วัด

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ แล้วนำไปใส่ที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิด เพื่อกันแสงจากภายนอกเข้าไป และถูกกันออกจากส่วนที่เป็นอิลคทรอนิก

4. เครื่องวัดแสง

เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสง มีด้วยกันหลายแบบซึ่งแต่ละแบบ อาจแตกต่างกัน บางทีมีความกว้างของช่วง คลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วของการตอบสนองต่อแสง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดแสงที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

- 1) มีสภาพไวสูง
- 2) การตอบรับแสงเป็นแบบสภาพเชิงเส้น
- 3) ระดับของสัญญาณรบกวน จะต้องมีน้อย
- 4) การตอบสนองต่อแสงขึ้นอยู่กับความถี่หรือความยาวคลื่นของแสง
- 5) เครื่องจะต้องมีเสถียรภาพที่ดี ค่าที่วัดได้ไม่ควรแปรปรวนมาก
- 6) ขนาดไม่ควรใหญ่เกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ราคาถูก

5. เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ D.C. เป็น A.C. หรือ A.C. เป็น D.C. อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการกรองออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก (และเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์) เข้าเครื่องอินทิเกรชันให้เป็น log scale เป็นต้น

จากนั้นสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์จึงได้เสนอออกมาเป็นหลายรูปแบบโดยต่อเข้ากับ

- 1) มิเตอร์ มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น linear scale และ logarithm scale บอกค่า absorbance และ %transmittance
- 2) คิวติลมิเตอร์ โดยเสนอค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข absorbance และ %transmittance หรือ concentration
- 3) เครื่องบันทึก เรคอร์ด เคอร์ หรือ พรินเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนสเปกตรัม พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้ หรือเขียนกราฟก็ได้
- 4) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโพรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่างๆของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณผลการทดลองเขียน กราฟ ผลการทดลองพิมพ์ข้อมูลและผลการทดลองทั้งหมดได้ ตลอดจนจัดทำเหตุการณ์ได้ด้วย ดังนั้น เครื่องมือวัดทางสเปกโทรสโกปีทั้งหลายในปัจจุบันนี้จึงนิยมต่อเข้าคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โคโอดอาร์เรย์เป็นมาตรวัดแสงด้วยแล้ว จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าช่วยในการเก็บ แปล และคำนวณจากสัญญาณที่ได้