

การนำบัตรสารโพลีไซคลิกอะโรมาติก
ไฮโดรคาร์บอน(PAHs)ในน้ำด้วยแผนเปิด



นายชนากรณ์ เรืองศรี

นางสาวภวันต์ กาญจนพาที

เลขหม.....
เลขทะเบียน 49275
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

From water with *Lemna perpusilla*.



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

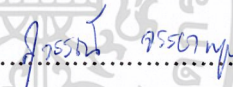
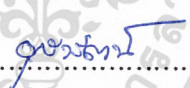
Academic Year 2002

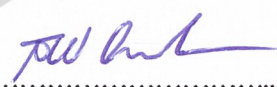
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง การบำบัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในน้ำด้วยแทนเป็ด

นักศึกษา นาย ธนากรณ์ เรืองศรี
นางสาว ภควินต์ กาญจนพาที
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน	
กรรมการ	ดร.อุสารัตน์ กักดีสุสุข	
กรรมการ	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	



(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง	การบำบัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(PAHs) ในน้ำด้วยแหวนเปิด
นักศึกษา	นาย ชนากรณ์ เรืองศรี นางสาว ภกวันต์ กาญจนพาที
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้แหวนเปิดในการบำบัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในน้ำซึ่ง ได้แก่ แนพทาลิน (Naphthalene) ฟิแนนทริน (Phenanthrene) และไพรีน (Pyrene) ในการทดลองขั้นต้นทำการเตรียมแหวนเปิดเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ PAHs จากนั้นหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณและขนาดของแหวนเปิด และเวลาในการสัมผัส โดยตรวจวัดด้วยฟลูออโรเมตริกเทคนิค ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่เหมาะสมเท่ากับ 7 โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene เป็น 83.0, 66.0 และ 64.0 ตามลำดับ ปริมาณแหวนเปิดที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 กรัม โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 72.0, 58.0 และ 66.0 ตามลำดับ ขนาดของแหวนเปิดที่เหมาะสมคือ 100 mesh ได้เปอร์เซ็นต์การดูดซับเป็น 84.0, 74.0 และ 66.0 ตามลำดับ โดยที่เวลาในการสัมผัสที่ดีที่สุดคือ 120 นาที ได้เปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 82.4, 74.2 และ 70.2 ตามลำดับ ในส่วนของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิด โดยศึกษาในรูปของสมการ Freundlich พบว่าแหวนเปิดสามารถดูดซับ Naphthalene ได้ดีที่สุด ตามด้วย Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ โดยได้ค่า K เท่ากับ 120.22 , 61.06 , 77.69 และ ค่า $1/n$ เท่ากับ 0.65 , 0.41 , 0.66 ตามลำดับ

คำสำคัญ : PAHs, แหวนเปิด, แนพทาลิน, ฟิแนนทริน, ไพรีน และฟลูออโรเมตริก

เทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)
from water with *Lemna perpusilla*.

Name Mr.Thanakorn Ruengsri
MissPakawan Kanjanapatee

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2002

Special Project Advisor Asst.Prof.Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

This project studied the application of *Lemna perpusilla*. for removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) such as Naphthalene, Phenanthrene and Pyrene from water. *Lemna perpusilla*. was prepared and used as adsorbent. Optimum conditions for removal of PAHs was studied so that parameters such as pH, quantity of *Lemna perpusilla*., particle size of *Lemna perpusilla*. and contact time were determined by spectrofluorometric technique. The results found that optimum pH is 7 with the 83,66,64 percent removal, respectively. Quantity of *Lemna perpusilla*. was 0.5 g. and the adsorption percent were 72, 58, 66, respectively. Particle size and contact time were 100 mesh and 120 minutes. Absorption percent were 84,74, 66 and 82.4,74.2 and 70.2 respectively. The adsorption efficiency was studied in term of Freundlich isotherm for (Naphthalene, Phenanthrene and Pyrene).

Keyword : PAHs, *Lemna perpusilla*., Naphthalene, Phenanthrene, Pyrene and spectrofluorotechnique.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและข้อมูลที่มีประโยชน์จาก ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ขอขอบคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ดร.อุสารัตน์ ภักดีสุขุข เป็นอย่างสูงซึ่งท่านทั้งสองได้สละเวลามาเป็นกรรมการ ตรวจสอบโครงการพิเศษและข้อเสนอแนะในการจัดทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ กรมควบคุมมลพิษที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการจัดทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

— ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ภาควิชาเคมีที่ให้ความช่วยเหลือด้วยไมตรีจิต และเป็นกำลังใจ เสมอมาจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ชนากรณ์ เรืองศรี

ภควันต์ กาญจนพาที

สัญลักษณ์และคำย่อ

PAHs	โพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน
pH	ค่าความเป็นกรดด่าง
LC ₅₀	ความเข้มข้นสารในอากาศทำให้ สัตว์ทดลองตายไปเป็นจำนวน ครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น
LD ₅₀	ปริมาณของสารที่ทำให้ สัตว์ทดลองที่ได้รับสารครั้ง เดียวตายไปครึ่งหนึ่งของจำนวน เริ่มต้น
μg/L	ไมโครกรัมต่อลิตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
nm	นาโนเมตร
g	กรัม
ppm	หนึ่งในล้านในล้านส่วน
mesh	หน่วยของตะแกรงคัดขนาด
rpm	รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สัญลักษณ์และคำย่อ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของ โครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 กระบวนการดูดซับ	3
2.2 แหนเป็ด	8
2.3 PAHs	11
2.4 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม	13
2.5 ความเป็นพิษเฉพาะด้าน	13
2.6 ผลต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม	16
2.7 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	17
2.8 การบำบัด PAHs	18
2.9 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำ	20
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	24
3.2 สารเคมี	24
3.3 วิธีการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 pH ที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	28
4.2 ปริมาณแชนเบ็ดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	29
4.3 ขนาดของแชนเบ็ดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	30
4.4 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	31
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs อธิบายด้วย Freundlich Isotherm	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	42
ภาคผนวก ค	51

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir	6
รูปที่ 2.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich	7
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะรูปร่างของแหวนเป็ด	8
รูปที่ 2.4 แหวนเป็ดและลักษณะของราก	9
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะกายวิภาคของแหวนเป็ด	9
รูปที่ 2.6 แสดงช่องเก็บอากาศของแหวนเป็ด	10
รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายจากเครื่อง Scan Electron Microscope ของแหวนเป็ด	10
รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายจากเครื่อง Scan Electron Microscope บริเวณรูพรุนของแหวนเป็ด	11
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ Naphthalene	11
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Phenanthrene	12
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ Pyrene	12
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของแหวนเป็ดที่ใช้ในการทดลอง	25
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงผลของ pH ต่อการดูดซับ PAHs ชนิดต่างๆ	28
รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณแหวนเป็ดต่อการดูดซับ PAHs แต่ละชนิด	29
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงผลขนาดของแหวนเป็ดต่อการดูดซับ PAHs ชนิดต่างๆ	30
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงผลของเวลา(นาที)ต่อการดูดซับ PAHs ชนิดต่างๆ	31
รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดง Freundlich Isotherm ของการดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเป็ด	32
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดง Freundlich Isotherm ของการดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเป็ด	33
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดง Freundlich Isotherm ของการดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเป็ด	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูป ก.1 แสดง Naphthalene Emission Spectrum	40
รูป ก.2 แสดง Phenanthrene Emission Spectrum	41
รูป ก.3 แสดง Pyrene Emission Spectrum	41
รูป ค.1 กราฟมาตรฐาน Naphthalene	51
รูป ค.1 กราฟมาตรฐาน Phenanthrene	52
รูป ค.1 กราฟมาตรฐาน Pyrene	53



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs	12
ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่ม PAHs โดย IARC	14
การทดลองที่ 1 ศึกษาหาสภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยแหนเป็ด	
ตารางที่ ข.1 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหนเป็ด	42
ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหนเป็ด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	42
ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหนเป็ด	42
ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหนเป็ด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	43
ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหนเป็ด	43
ตารางที่ ข.6 แสดงผลของปริมาณแหนเป็ดในการดูดซับ Pyrene ด้วยแหนเป็ด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	43
การทดลองที่ 2 การศึกษาหาปริมาณแหนเป็ดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	
ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหนเป็ด	44
ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหนเป็ด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	44
ตารางที่ ข.9 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหนเป็ด	44
ตารางที่ ข.10 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหนเป็ด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	45
ตารางที่ ข.11 แสดงผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหนเป็ด	45
ตารางที่ ข.12 แสดงผลของปริมาณแหนเป็ดในการดูดซับ Pyrene(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
การทดลองที่ 3 การศึกษาขนาดของแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	
ตารางที่ ข.13 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด	46
ตารางที่ ข.14 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	46
ตารางที่ ข.15 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด	46
ตารางที่ ข.16 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	46
ตารางที่ ข.17 แสดงผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด	47
ตารางที่ ข.18 แสดงผลของปริมาณแหวนเปิดในการดูดซับ Pyrene(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	47
การทดลองที่ 4 การศึกษาเวลาที่ที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs	
ตารางที่ ข.19 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด	47
ตารางที่ ข.20 แสดงผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	47
ตารางที่ ข.21 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด	48
ตารางที่ ข.22 แสดงผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	48
ตารางที่ ข.23 แสดงผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด	48
ตารางที่ ข.24 แสดงผลของปริมาณแหวนเปิดในการดูดซับ Pyrene(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)	48
การทดลองที่ 5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิด อธิบายด้วย Freundlich Isotherm	
ตารางที่ ข.25 แสดงการดูดซับ Naphthalene และ Freundlich Isotherm ของแหวนเปิด	49
ตารางที่ ข.26 แสดงการดูดซับ Phenanthrene และ Freundlich Isotherm ของแหวนเปิด	49
ตารางที่ ข.27 แสดงการดูดซับ Pyrene และ Freundlich Isotherm ของแหวนเปิด	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
กราฟมาตรฐาน	
ตารางที่ ค.1 แสดงค่าความเข้มข้นของ Naphthalene และค่าความเข้มแสง	51
ตารางที่ ค.2 แสดงค่าความเข้มข้นของ Phenanthrene และค่าความเข้มแสง	52
ตารางที่ ค.3 แสดงค่าความเข้มข้นของ Pyrene และค่าความเข้มแสง	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(PAHs) เป็นกลุ่มสารเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่สองวงเชื่อมต่อกัน ลักษณะการเชื่อมต่อกันคือวงอะโรมาติกที่อยู่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ PAHs ประกอบด้วยสารที่มีสูตรโครงสร้างแตกต่างกัน 35 ชนิด และแต่ละสูตรโครงสร้างหลักประกอบด้วยอนุพันธ์ต่างๆ (derivatives) PAHs สามารถพบได้ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน รวมทั้งปรากฏอยู่ในควันภูเขาไฟ PAHs ยังเกิดจากการกระทำของมนุษย์อีกด้วยที่สำคัญคือ การเผาไหม้ชนิดไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาไหม้กระดาด ยางรถยนต์ นอกจากนี้ยังปนเปื้อนอยู่ในอากาศบริเวณต่างๆทั่วโลก PAHs บางสารมีความเป็นพิษต่อมนุษย์และบางชนิดก็เป็นสารก่อมะเร็งร้ายแรง การป้องกันการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของ PAHs ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จึงควรได้รับความสนใจและความร่วมมือเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

ในปัจจุบันมลพิษทางน้ำ อันเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยมลพิษที่มีสารอันตรายปนเปื้อนเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องมีการแก้ไขและควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้แหนเป็ด (*Lemna perpusilla Torr.*) ในการบำบัด PAHs ที่ปนเปื้อนในน้ำโดยหาสภาวะที่เหมาะสมอันได้แก่ค่าความเป็นกรดต่าง เวลาในการสัมผัส ปริมาณและขนาดของแหนเป็ดที่เหมาะสมเพื่อดูดซับ PAHs ในตัวอย่างน้ำ เพื่อนำข้อมูลการบำบัด PAHs โดยแหนเป็ดที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและใช้แหนเป็ดในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการใช้แผนเปิดในการบำบัดสาร PAHs ในตัวอย่างน้ำและหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสาร PAHs
2. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสาร PAHs ในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมสาร PAHs ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene
2. เตรียมแผนเปิดใช้เป็นตัวดูดซับ
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัด PAHs ในตัวอย่างน้ำโดยใช้แผนเปิด ซึ่งมีปัจจัยดังนี้
 - (ก) ค่าความเป็นกรดด่าง
 - (ข) ปริมาณแผนเปิดที่เหมาะสม
 - (ค) ขนาดของแผนเปิดที่เหมาะสม
 - (ง) เวลาในการสัมผัส

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบำบัด PAHs
2. เลือกสาร PAHs ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene
3. เตรียมตัวดูดซับสาร PAHs ได้แก่ แผนเปิด
4. ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสาร PAHs
5. วิเคราะห์หาปริมาณสาร PAHs ที่ดูดซับได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี (Spectrofluorometry)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ PAHs ด้วยแผนเปิด
2. ทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัด PAHs ในตัวอย่างน้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้น โมเลกุล ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือกรองแบบธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึง โมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่ากระบวนการดูดซับ (Adsorption) ตัวที่ดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วน โมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์ดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (Surface) โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือ โลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลง ในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจาก Landfill เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (Suzuki, 1993)

2.1.1 ประเภทของตัวดูดซับ (Adsorbent) แบ่งได้ 3 ประเภท

1) สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกา กัมมันต์ (Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 - 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์นี้สามารถจับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ จึงเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้ความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยทั่วไปมีพื้นที่ประมาณ 450 - 1500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10 - 10000 อังสตรอม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากพืชและสัตว์ จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

3) ประเภทของสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 - 500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ แต่สามารถปรับสภาพนำมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่าคือ สามารถปรับสภาพใหม่ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก เช่น เกลือแกง (Suzuki, 1993)

2.1.2 รูปแบบของการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) กระบวนการดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ(Adsorbate) ยึดติดกับผิวตัวดูดซับ(Adsorbent) โดยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน(Weak Van Der Waal's force) เรียกกระบวนการดูดซับที่ตัวดูดซับนี้ว่าการดูดซับ(Adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ (Reversible Process) ส่วนกระบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับเรียกว่า Desorption โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้นเรียกว่า Multilayer

2) กระบวนการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิวของตัวดูดซับ โดยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์และยากต่อการเกิด Desorption การดูดซับทางเคมีนี้ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียวเรียกว่า Monolayer (Suzuki, 1993)

2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1. สมบัติของตัวดูดซับ

1) พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็ก ก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่ม

2) สมบัติของสารที่ดูดซับ

2.1 ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่เกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

2.2 น้ำหนักและขนาดของ โมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และ โมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่ง (Branched Chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (Straight Chain)

3) ค่าความเป็นกรดค่า (pH) การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออนต่อพื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

4) อุณหภูมิการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

5) เวลาสัมผัสเวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสต้องเหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้จริง (Suzuki, 1993)

2.1.4 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุลเพื่อคัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์

1) Langmuir Isotherm

การดูดซับแบบ Langmuir เป็นพื้นฐานของการดูดซับแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการสมมติฐานว่าการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับ โมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ มีพลังงานของการดูดซับคงที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบบนพื้นผิวตัวดูดซับดังแสดงในสมการ (2.1)

$$Q = \frac{Q_m KC}{1+KC} \quad (2.1)$$

เมื่อ Q = จำนวน โมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักที่ความเข้มข้น C

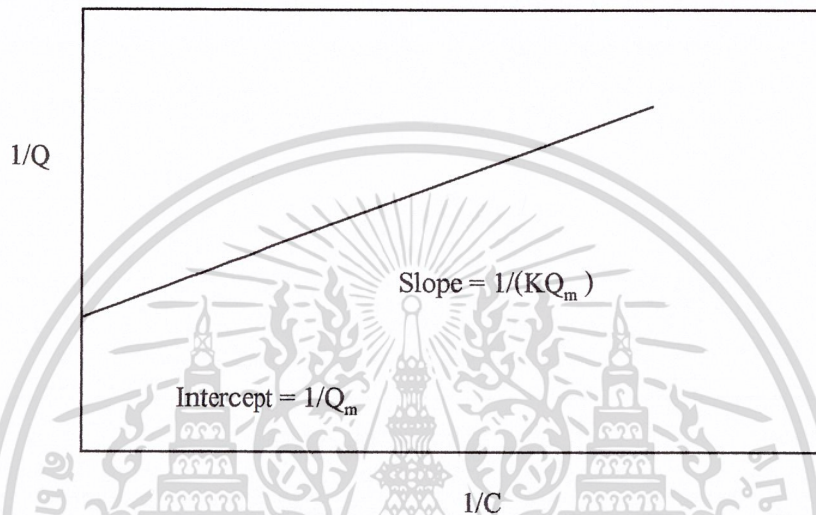
Q_m = จำนวน โมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียว (monolayer) บนพื้นผิวตัวดูดซับ

C = ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (mg/l, M)

K = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับพลังงาน

จัดเป็นสมการเส้นตรงคังสมการ (2.2) ได้ดังนี้

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{KQ_m} \frac{1}{C} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir

2) Freundlich Isotherm

การดูดซับแบบ Freundlich นี้เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อน ๆ ดังแสดงในสมการ (2.3)

$$Q_e = \frac{X}{M} = KC^{1/n} \quad (2.3)$$

เมื่อ

Q_e = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/g)

X = ปริมาณของสารที่ดูดซับ (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

C = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับ (mg/l)

K = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

$1/n$ = ค่าคงที่แสดงถึงการแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration Dependence)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Freundlich เมื่อเขียนกราฟค่า X/M และ C จากการทดลองลงบนกราฟ Log-Log จะได้ดังสมการ (2.4)

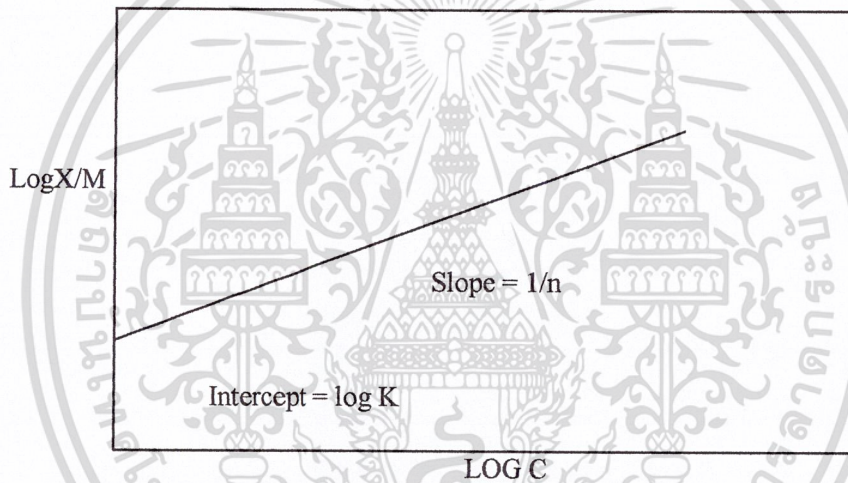
$$\text{Log} [X/M] = \log K + 1/n \log C_e \quad (2.4)$$

สามารถหาค่า K และ $1/n$ ได้โดยที่

$$1/n = \text{ความชันของกราฟ}$$

$$K = \text{ค่า } X/M \text{ ที่ค่า } C = 1 \text{ (รูปที่ 2.2)}$$

หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูงแสดงว่าความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงข้ามกันเมื่อความเข้มข้นสูงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก



รูปที่ 2.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich

การหาไอโซเทอร์มการดูดซับนั้น กระทำได้โดยการนำตัวดูดซับที่บดละเอียดปริมาณที่แตกต่างกันมาเขย่ากับน้ำที่มีสารปนเปื้อนจนถึงจุดสมดุลของการดูดซับจากนั้นแยกน้ำใสออกมา วิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือ ผลการทดสอบที่ได้นำไปใช้คัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมในการใช้งานนั้น ๆ (Suzuki, 1993)

2.2 แหนเป็ด

ชื่อไทย : แหนเป็ด

ชื่อสามัญ : Duckweed

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Lemna perpusilla* Torr.

ชื่อวงศ์ : Lemnaceae



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะและรูปร่างของแหนเป็ด(www.ku.ac.th/fish/mfish/.html/)

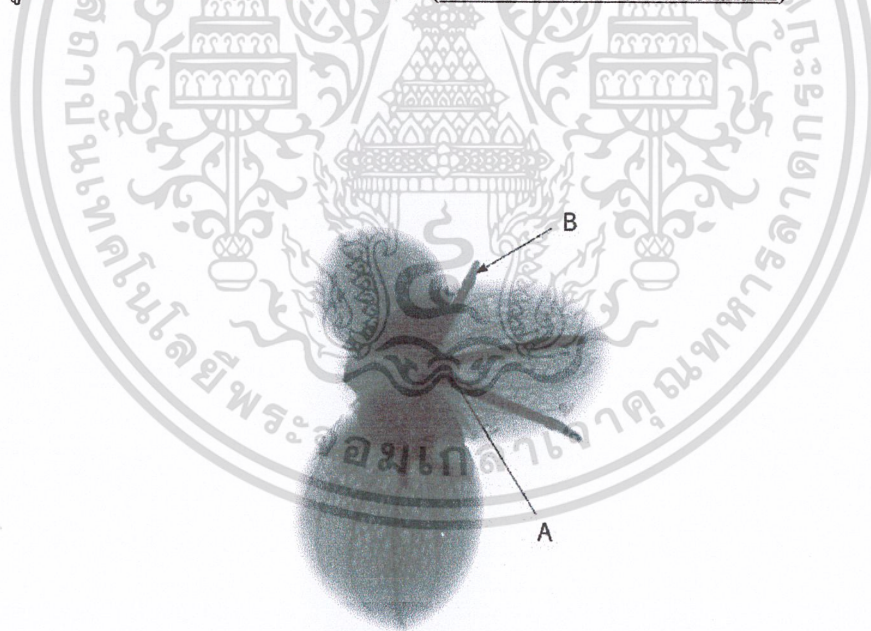
2.2.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นพืชลอยน้ำขนาดเล็ก ชอบขึ้นตามหนองบึงหรือสระน้ำทั่วไป ลอยเป็นอิสระอยู่บนผิวน้ำรวมตัวกันอยู่เป็นจำนวนมากปกคลุมผิวน้ำ ประกอบด้วยใบมีรูปร่างกลมรี มีขนาดเล็กเท่ากัน ขอบใบเรียบ อาจเกิดเด็ยหรือติดกันเป็นกลุ่ม 2-10 ใบ มีราก 1 เส้น แดกตรงข้อด้านล่างของใบ รากนี้จะช่วยถ่วงให้ใบลอยน้ำได้ดี ดอกมีขนาดเล็กมากมีกาบดอกรูปทรงกระบอกหุ้มอยู่ แหนมีโครงสร้างรวมกันไม่แยกเป็นลำต้นหรือใบเรียกว่า ทัลลัส (thallus) มีลักษณะเป็นรูปวงรีค่อนข้างกลม ขนาดเล็ก ยาว 3 - 5 มิลลิเมตร กว้าง 2 - 4 มิลลิเมตร ใต้ใบมีลักษณะเป็นฟองน้ำ จึงทำให้แหนลอยน้ำอยู่ได้ แหนแต่ละต้นจะมีรากหนึ่งราก เป็นรากฝอยขนาดเล็กๆยาวประมาณ 1 - 3 เซนติเมตร (ดังรูป 2.3) แหนออกดอกเป็นช่อที่โคนของทัลลัสดอกและผลของแหนมีขนาดเล็กมากผลของแหน

ภายในมี 1 เมล็ด สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้ทันทีพบเห็นได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ
แห่นขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด



รูปที่ 2.4 แห่นเปิดและลักษณะของราก(www.ku.ac.th/fish/mfish.html)

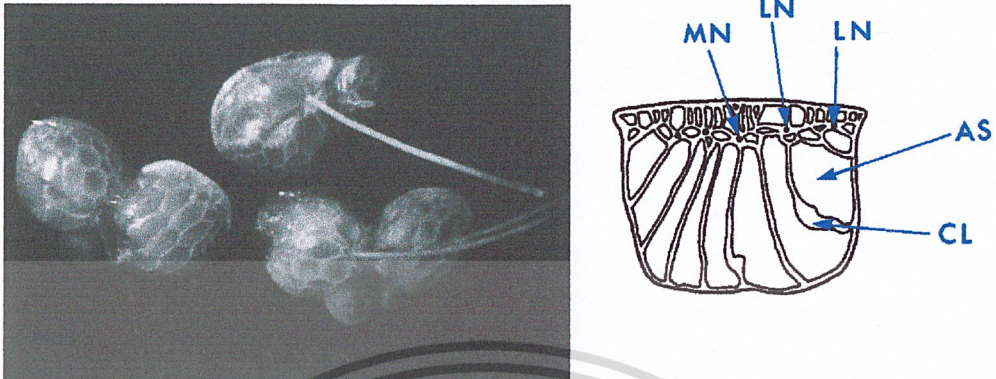


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะกายวิภาคของแห่นเปิด

A = เนื้อเยื่อ(Prophyllum) คลุมจูดรวมราก B = หมวกราก

(www.mbot.org/jwcross/duckweed/duckweed-anatomy.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงช่องเก็บอากาศ (Aerenchyma) ของแหนเป็ด

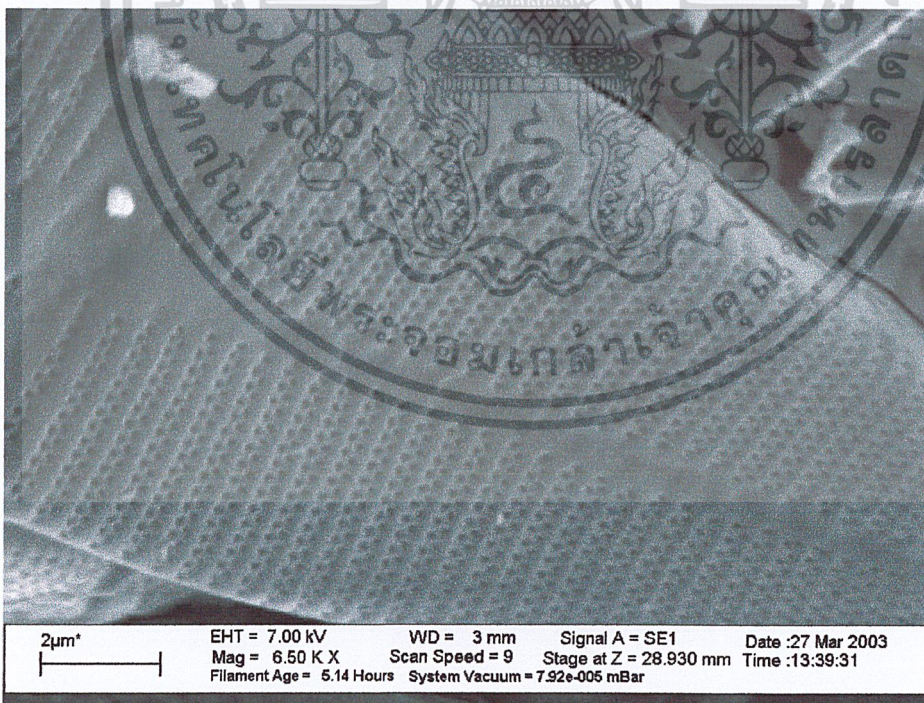
LN = เส้นประสาท

MN = เส้นประสาทตอนกลาง

AS = ช่องว่างอากาศ (Air space)

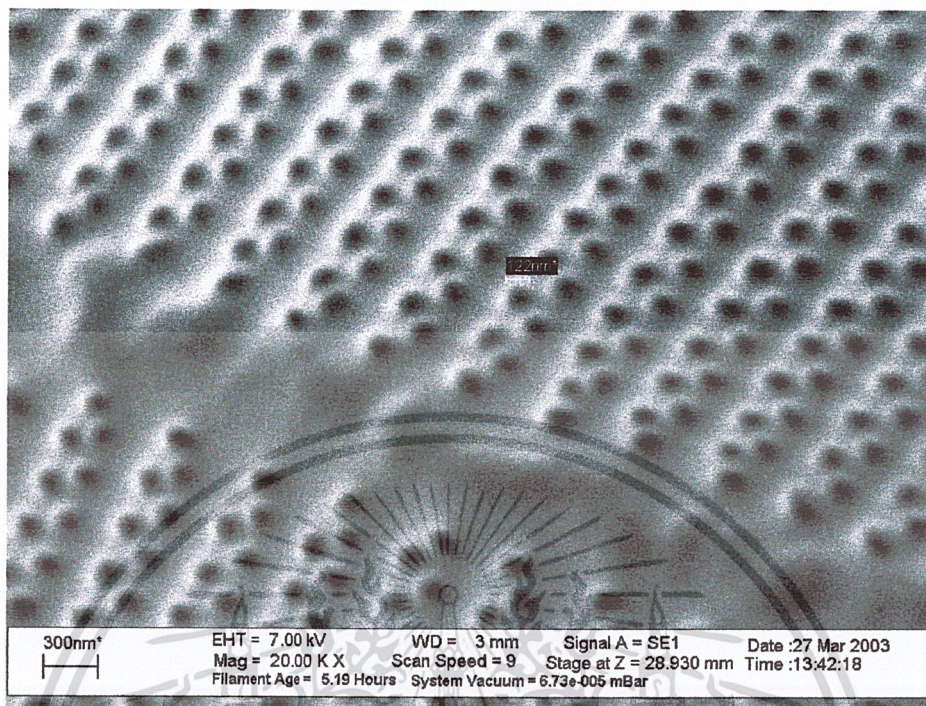
CL = ชั้นที่อยู่รอบๆช่องเก็บอากาศ (Aerenchyma)

(www.mbot.org/jwcross/duckweed/duckweed-anatomy.html)



รูปที่ 2.7 ภาพ Scan electron microscope แสดงให้เห็นรูพรุนของแหนเป็ดที่กำลังขยาย 6500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

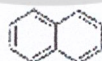


รูปที่ 2.8 ภาพ Scan electron microscope บริเวณรูพรุนของแหวนเบ็ดที่กำลังขยาย 20000 เท่า

2.3 PAHs

2.3.1 Naphthalene

มีชื่อเคมีสูตร โครงสร้าง CASRN (Chemical Abstracts Service Registry Number) 91-20-3 สูตรโมเลกุล คือ $C_{10}H_8$ น้ำหนักโมเลกุล 128.17 Naphthalene ใช้ผลิตสารเคมีต่างๆ คือ Phthalic anhydrid ,สี, สารกำจัดแมลงคาร์บาริล (Carbaryl) ตัวทำละลาย (Alkyl naphthalene) ซึ่งใช้ในการผลิตกระดาษสำเนาชนิดไม่ต้องใช้กระดาษคาร์บอน (Carbonless copy paper) และใช้เป็นสารไล่แมลงในตู้เสื้อผ้า (ลูกเหม็น, Moth repellent)



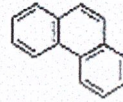
Naphthalene
 $C_{10}H_8$

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ Naphthalene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Phenanthrene

มีชื่อเคมีสูตรโครงสร้าง CASRN 85 - 01 - 8 สูตรเคมี คือ $C_{14}H_{10}$ น้ำหนักโมเลกุล 178.23
Phenanthrene นำมาใช้ผลิต Phenanthrenequinone , Diphenic acid



Phenanthrene
 $C_{14}H_{10}$

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Phenanthrene

2.3.3 Pyrene

มีชื่อเคมีสูตรโครงสร้าง CASRN 129 - 00 - 0 สูตรเคมี คือ $C_{16}H_{10}$ น้ำหนักโมเลกุล 202.26
Pyrene นำมาใช้ผลิตสีชนิด Perinon pigment



Pyrene
 $C_{16}H_{10}$

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ Pyrene

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ PAHs ที่ใช้ในการทดลอง

PAHs	MP	BP	SpGr	VP	WS	logK _{ow}	H
Naphthalene	80.2	217.9	na	1	31.5	3.25	4.83×10^{-4}
Phenanthrene	100	340	1.179	6.8×10^{-4}	1.49	4.63	4.83×10^{-4}
Pyrene	156	404	1.271	6.8×10^{-7}	0.175	5.22	na

หมายเหตุ : MP = จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) BP = จุดเดือด SpGr = ความถ่วงจำเพาะ

VP = ความดันไอ (มม.ปรอท) WS = การละลายน้ำ (มก./ลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\log K_{ow}$ = ค่า log ของ n-octanol-water partition coefficient

H = Henry's law constant (บรรยากาศ \times ลบ.ม./ลิตร)

na = ไม่มีข้อมูล

2.4 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางทั้งทางธรรมชาติ เช่น การซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ดินทำให้ PAHs ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติและดิน ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด และจากการกระทำของมนุษย์ที่สำคัญคือการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ซึ่งนับว่าเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ปล่อย PAHs สู่อากาศ ในปัจจุบันรถยนต์นับเป็นแหล่งกำเนิด PAHs สู่อากาศที่สำคัญ ปริมาณ PAHs ที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

การเผาไหม้รถยนต์ก่อให้เกิด PAHs ปริมาณ PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ที่ใช้เผาไหม้เครื่องยนต์ขนาดใหญ่ก่อให้เกิด PAHs มากกว่าเครื่องยนต์เล็ก (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

ควันบุหรี่ประกอบด้วย PAHs ที่สำคัญหลายสารรวมทั้ง PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง ควันที่ออกจากมวลบุหรี่แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ควันที่ออกจากบุหรี่โดยตรง (Main stream) และควันรอบบุหรี่ (Side stream) ควันที่ออกจากบุหรี่โดยตรงประกอบด้วยชนิดและปริมาณ PAHs มากกว่าควันรอบบุหรี่ที่มี PAHs อยู่น้อยกว่าเพียง 1 ใน 3 ที่พบจากควันบุหรี่โดยตรง แต่ปริมาณ PAHs บางสารในควันรอบบุหรีมีปริมาณมากเช่น Pyrene พบมากถึง 39.0 – 101.0 ไมโครกรัม / บุหรี 100 มวน ในขณะที่พบเพียง 5.0 – 27 ไมโครกรัม / บุหรี 100 มวนในควันบุหรีโดยตรง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.5 ความเป็นพิษเฉพาะด้าน

2.5.1 ปฏิกริยาทางชีวเคมี (Biochemical interaction)

PAHs ออกฤทธิ์ยับยั้งหรือกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ที่สำคัญได้แก่

1. Carboxylesterase เป็นเอนไซม์ใน Microsome พบได้ในเซลล์ของตับ ไต และเยื่อลำไส้ Anthracene, Phenanthrene, Benzo[a]anthracene และ Benzo[a]pyrene มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของ Carboxylesterase
2. Aldehyde dehydrogenase (ADH) เป็นเอนไซม์ในไซโตพลาสซึม (Cytosolic enzyme) พบได้มากในเซลล์ตับ การศึกษาในหนูพบว่าความรุนแรงของการกระตุ้นการทำงานของ ADH มีความสอดคล้องกับฤทธิ์ก่อมะเร็งของ PAHs นั้นๆ

3. Aromatic hydrocarbon hydroxylases (AHH) เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Microsomal mixed function oxidases และเป็น Cytochrome P – 450 (AHH) มีหน้าที่เฉพาะเมตาโบลิซึมของ PAHs ทุกชนิด PAHs ส่วนมากมีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของ AHH โดยผ่าน Ah receptor ซึ่งความสามารถในการกระตุ้นได้มากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของ PAHs และสายพันธุ์ของสัตว์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.5.2 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen)

PAHs แบ่งได้เป็นสองกลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็งคือ กลุ่มที่ก่อมะเร็งและกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็งจัดแยกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on cancer (IARC, 1999)

Group 2A	สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (probably carcinogenic to humans) มี 3 สาร Bena[a]anthracene Benzo[a]pyrene Dibenz[a,h]anthracene
Group 2B	สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (possibly carcinogenic to humans) มี 11 สาร Benzo[b]fluoranthene Benzo[<i>l</i>]fluoranthene Benzo[k]fluoranthene Dibenzo[a,e]pyrene Dibenzo[a,h]pyrene Dibenzo[a,l]pyrene Dibenzo[a,l]pyrene Dibenzo[a,l]acridine Dibenzo[a,h]acridine Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene Naphthalene

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on cancer
(IARC, 1999)

Group 3	สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน (unclassifiable as to carcinogenicity to humans) มี 23 สาร	
	Anthracene	Benz[<i>a</i>]acridine
	Benz[<i>c</i>]acridine	Benzo[<i>ghi</i>]fluoranthene
	Benzo[<i>a</i>]fluorene	Benzo[<i>b</i>]fluorene
	Benzo[<i>c</i>]fluorene	Benzo[<i>ghi</i>]perylene
	Benzo[<i>c</i>]phenanthrene	Benzo[<i>e</i>]pyrene
	Chrysene	Coronene
	Cyclopenta[<i>c,d</i>]pyrene	Dibena[<i>a,e</i>]fluoranthene
	Dibenzo[<i>h,r,s,t</i>]pentaphene	Fluoranthene
	Fluorene	Perylene
	Phenanthrene	Pyrene
	Triphenylene	

เป็นที่น่าสังเกตว่าไม่มี PAHs สารใดที่ IARC จัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในคน (group 1) แม้ว่า PAHs หลายสารเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง เป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับ การยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น คาร์บอนหี น้ำมันดิน เชม่า คาร์บอนเสียจากเตาเผาถ่านหินหรือจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากการยากที่จะตรวจ ยืนยันปริมาณหรือความเข้มข้นของ PAHs แต่ละสารที่มนุษย์ได้รับจากสารผสมที่มนุษย์ได้รับจาก สารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ ยังมีสารก่อมะเร็งอื่นๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย

2.5.3 การเป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์

PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ด้วยและ PAHs ต้องถูกเมทาบอไลซ์โดย Cytochrome P-450 เป็น Epoxide ก่อนจึงสามารถรวมตัวกับ DNA ได้จากสัตว์ทดลอง (IPCS, 1998)

2.5.4 ความผิดปกติที่เกิดในทารก

ไม่มีรายงานความผิดปกติที่เกิดในทารกของ PAHs ในมนุษย์ มีรายงานแต่เพียงของ Benzo[a]pyrene ในสัตว์ทดลองหนูที่ได้รับ Benzo[a]pyrene โดยการกินระหว่างตั้งท้องทำให้ลูกหนูมีความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ และการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์ ความผิดปกติดังกล่าวทำให้ลูกหนูเมื่อโตเต็มวัยมีความสมบูรณ์พันธุ์ลดลง หรือเป็นหมันได้ (MacKenzie และ Angevine, 1981)

2.6 ผลต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม

2.6.1 สิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic)

PAHs มีความเป็นพิษเพิ่มขึ้นในสัตว์น้ำหลายสปีชีส์เมื่อทำการทดลองภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (Phototoxicity) สมมติฐานที่ใช้อธิบายผลการทดลองดังกล่าวคือ พลังงานแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ถูกดูดกลืนไว้โดยโมเลกุลของ PAHs ถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนอยู่ในสภาพเร้า (Activated) มีพลังงานสูงจึงสามารถทำปฏิกิริยาได้กับชีวโมเลกุลต่างๆ เช่นกรดอะมิโนทำให้เกิดความผิดปกติภายในเซลล์ซึ่งนำไปสู่การทำงานของอวัยวะต่างๆ ผิดปกติและทำให้สัตว์ทดลองตายในที่สุด ความรุนแรงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้มากกว่าในสถานะไม่มีแสงอัลตราไวโอเล็ต (Spehar *et al.*, 1999) ความเป็นพิษเพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นจากค่า LC_{50} อย่างลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการศึกษาภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์

จากการศึกษาความเป็นพิษเปรียบเทียบของ fluoranthene โดย Spehar และคณะ (1999) ในสัตว์น้ำจำนวน 15 สปีชีส์ พบว่า 14 สปีชีส์มีค่า LC_{50} ที่ได้จากการศึกษาภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตน้อยกว่าการศึกษาภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ แสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้ Pyrene มีความเป็นพิษเพิ่มขึ้นใน Mysis shrimp (*Mysidopsis bahia*) และหอยสองฝา (*Mulinia laterlis*)

2.6.2 สิ่งมีชีวิตบนบก (terrestrial)

- พืช

Antracene เป็น PAHs สารเดียวที่มีข้อมูลความเป็นพิษในพืช Anthracene สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดแตงกวา (Cucumber, *Cucumis sativus*) และเมล็ดข้าวโอ๊ต (Oat, *Avena sativa*) มีค่า EC_{50} เท่ากับ 720 และ 30 มิลลิกรัม / กิโลกรัมเมล็ดพืชตามลำดับ (Mitchell *et al.*, 1988) [EC_{50}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ Median effective concentration หมายถึง ความเข้มข้นของสารเคมีที่สามารถทำให้สิ่งมีชีวิตที่ กำลังศึกษาจำนวนครึ่งหนึ่งแสดงผลอย่างใดอย่างหนึ่งตามต้องการในที่นี้คือยับยั้งการงอกของเมล็ด พืช]

-สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

Acenaphthene เป็น PAHs ที่มีความเป็นพิษมาก (Very toxic) ต่อไส้เดือนดิน (Earthworm, *Eisenia fetida*) โดยการศึกษาบนกระดาศกรอง มีค่า LC_{50} เท่ากับ 49 ไมโครกรัม / ตารางเซนติเมตร Fluorene มีความเป็นพิษปานกลาง (Moderately toxic) ต่อไส้เดือนดินมีค่า LC_{50} 171-173 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ Floranthene และ Naphthalene ถือได้ว่าไม่มีความเป็นพิษ (Relatively nontoxic) ต่อไส้เดือนดินมีค่า LC_{50} = 2,160 และ 4,670 ไมโครกรัม / ตารางเซนติเมตร (Neuhauser *et al.*, 1985)

-สัตว์มีกระดูกสันหลัง

Bena[a]anthracene, Benzo[k]fluoranthene และ Dibena[a,h]anthracene เป็น PAHs ที่มี ความเป็นพิษสูงมากต่อตัวอ่อนของไก่ที่อยู่ในไข่ (Chick embryo) มีค่า LD_{50} ที่ 72 ชั่วโมงเท่ากับ 79, 14 และ 39 ไมโครกรัม / กิโลกรัมน้ำหนักไข่ (Brunstrom *et al.*, 1991) Acenaphthene . Anthracene , Fluoranthene และ Phenanthrene มีพิษต่อนกดำปีกแดง (Red-winged blackbird) ต่ำมากคือ มีค่า LD_{50} มากกว่า 100 มิลลิกรัม / กิโลกรัมน้ำหนักตัว (Schafer *et al.*, 1983)

2.7 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammalian toxicity)

PAHs มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำในสัตว์ทดลอง การได้รับ PAHs ในระยะเวลาสั้นมักไม่ ทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกายอย่างเด่นชัดหรือรุนแรง LD_{50} โดยการให้ทางปากในหนู Mouse และหนู Rat มีค่ามากกว่า 1,000 มิลลิกรัม / กิโลกรัมน้ำหนักตัวยกเว้น Naphthalene ในหนู Mouse และหนู Mouse มีค่า LD_{50} 354-710 มิลลิกรัม / กิโลกรัมน้ำหนักตัว รายงานความเป็นพิษเฉียบพลัน ของ PAHs ในมนุษย์และสัตว์ทดลองมีดังนี้

Anthracene มีฤทธิ์ในการกระตุ้นร่างกายให้มีความไวต่อแสงมากขึ้น (Photosensitivity) ในมนุษย์ มีรายงานว่า Anthracene ทำให้เกิดการผิดปกติของผิวหนังคือ แสบร้อน คัน และมี อาการระคายเคืองของเยื่อตาและหลอดลมด้วย (ITII, 1982)

Chrysene การป้าย Chrysene บนผิวหนังของหนู Mouse ปริมาณ 0.0125 มิลลิกรัม / ตารางเซนติเมตร 2 ครั้ง / วัน เป็นเวลา 2 วัน ทำให้ผิวหนังมีจำนวนเซลล์สีผิว (Melanocyte) เพิ่มขึ้น เล็กน้อย (Iwata *et al.*, 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Naphthalene ทำให้เกิดภาวะ โลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic anemia) และต้อกระจก (Cataract) ความผิดปกติทั้ง 2 อย่างนี้เกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง มีรายงานการตายของคนที่ยืนกินถั่วหมักในขนาด 5 กรัม ผลการชันสูตรร่างผู้ตายพบว่าที่ปอดมีการคั่งของโลหิต และบวม น้ำที่ตับมีการแทรกตัวของเม็ดเลือดขาวชนิด Polymorphonuclear leucocytes และ Lymphocytes พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเซลล์ตับ นอกจากนี้ยังมีรายงานการตายของเด็กอายุ 6 ปีที่ยืนกิน Naphthalene ในขนาด 2 กรัม โดยการคำนวณพบว่า ปริมาณของ Naphthalene ในขนาด 2 กรัม ปริมาณของ Naphthalene ที่ทำให้คนตายได้มีค่าเท่ากับ 71.4-214.2 มิลลิกรัม / กิโลกรัม น้ำหนักตัว โดยคิดจากคนที่มีน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย 70 กิโลกรัม (US . EPA, 1998)

2.8 การบำบัด Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs)

2.8.1 การย่อยสลายโดยชีวภาพและการเปลี่ยนรูปโดยชีวภาพ (Biodegradation and biotransformation)

ในสิ่งแวดล้อมทั้งแบคทีเรียและเชื้อราสามารถย่อยสลาย PAHs ได้ แบคทีเรียย่อยสลาย PAHs ได้เป็น Cis-dihydrodiol โดยเอนไซม์ Dioxygenase Cis-dihydrodiol ถูกย่อยสลายต่อไปได้เป็น Catechol โดยเอนไซม์ Dehydrogenase ปฏิกริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxylation) ทั้งสองให้กับ PAHs ถือเป็นปฏิกริยาขั้นต้นของการแตกวงอะโรมาติก (Cleavage of the aromatic ring) ปฏิกริยานี้ก็ยังสามารถเกิดโดยเอนไซม์ Dioxygenase การแตกวงอะโรมาติกออกเกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ วิธี *Meta* (*Meta pathway*) และวิธี *ortho* (*ortho pathway*) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สำหรับการย่อยสลาย PAHs โดยเชื้อรานั้น PAHs ถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ไซโตโครม พี-450 (Cytochrome P-450) เปลี่ยนเป็นอีพอกไซด์ (Epoxide) หรือ แอริเน ออกไซด์ (Arene oxide) แล้วจึงถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ Epoxide hydrolase ได้ Trans-dihydrodiol ผลของปฏิกริยาที่ได้นี้ตรงข้ามกับที่ได้จากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียซึ่งได้ Cis-dihydrodiol อีพอกไซด์ที่เกิดอาจจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลเองโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์ได้เป็นสารประกอบฟีนอล แล้วจึงถูกกำจัดออกจากเซลล์ของเชื้อราในรูปแบบของ O-glucoside, o-glucuronide หรือ O-sulfate

Naphthalene ถูกย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียหลายสปีชีส์ เช่น *Pseudomonas* spp., *Aeromonas* spp. ข้อมูลการย่อยสลาย Naphthalene ส่วนใหญ่ได้จากการศึกษาในแบคทีเรีย *Pseudomonas* spp. Naphthalene ถูกเมทาโบไลซ์โดยเอนไซม์ dioxygenase และ dehydrogenase ได้ (+) – Cis- 1,2 –dihydroxy-1-2-dihydronaphthalene และ 1,2-dihydroxy naphthalene ตามลำดับ และ 1,2-dihydroxynaphthalene ถูกเมทาโบไลซ์ต่อโดยเอนไซม์ Dioxygenase เปิด (cleave) วงอะ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรมาติกออกได้ Cis-*o*-hydroxybenzal pyruvic acid ซึ่งถูกเมทตาโบไลซ์ต่อได้ Catechol ซึ่ง Catechol ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกเปิดวงอะโรมาติกออกโดยวิถี *meta* หรือ *ortho*

Naphthalene ถูกเมทตาโบไลซ์โดยเชื้อราได้ Naphthalene 1,2-oxide การจัดเรียงตัวเองของ Naphthalene 1,2-oxide โดยไม่ใช่เอนไซม์ได้ 1-Naphthol ซึ่งอาจถูกเมทตาโบไลซ์ต่อได้ 4-Hydroxy-1-tetralone หรืออาจถูกขับออกในรูป 1-Naphthyl glucuronide หรือ 1-Naphthyl sulfate นอกจากนี้ Naphthalene 1,2-Dihydroxy-1,2-Dihydronaphthalene

PAHs ที่มีโครงสร้างซับซ้อนขึ้นคือมีวงอะโรมาติกมากกว่า 2 วง การย่อยสลายโดยแบคทีเรียและเชื้อราจะเกิดขึ้นที่วงอะโรมาติกที่ระวง Anthracene ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียจนได้ Catechol ซึ่งจะถูกเปิดวงอะโรมาติกออกโดยวิถี *meta* หรือ *ortho* ต่อไป Anthracene ถูกย่อยสลายโดยเชื้อราได้ผลของปฏิกิริยาชื่อ Trans-1,2-dihydroxy-1,2-dihydroanthracene ซึ่งถูกขับออกโดยรวมกับซัลเฟตที่ตำแหน่ง 1 ของโมเลกุล

ข้อมูลการย่อยสลาย PAHs ที่วงอะโรมาติกมากกว่า 3 วง ทั้งโดยแบคทีเรียและเชื้อรา มีจำกัดมาก การย่อยสลาย Benzo[*a*]pyrene โดยแบคทีเรีย *Beijerinckia spp.* เป็นได้ 2 แบบ ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ Cis-9,10-dihydrox-9,10-dihydrobenzo[*a*]pyrene และ Cis-7,8-dihydroxy-7,8-dihydrobenzo[*a*]pyrene เชื้อราหลายสปีชีส์สามารถย่อยสลาย Benzo[*a*]pyrene ได้คือ *Cunninghamella elegans, C. bainieri, Aspergillus ochraceus, Saccharomyces cerevisiae* ผลของปฏิกิริยา Dihydrodiol ที่เกิดขึ้นยังคงเป็น Trans- เหมือนเดิม (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.8.2 การย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation)

ข้อมูลการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ในอากาศซึ่งส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอย (Fly ash) ผงถ่าน (Carbon black) มีความแตกต่างกันอย่างมากถึงแม้จะเป็น PAHs สารเดียวกันก็ตามคือมีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จนถึงประมาณ 1,000 ชั่วโมงด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้ Behymer และ Hites, 1988 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs จากการศึกษาพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลจะประกอบด้วยวงอะโรมาติกกี่วงก็ตามขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเถ้าลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิว และสี ซึ่งมีความสำคัญมาก เถ้าลอยยังมีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมากคือสลายตัวได้เร็ว เหตุผลคือเถ้าลอยที่สีเข้มถูกกลืนแสงได้ดี ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้น้อย ดังนั้นการย่อยสลายโดยแสงจึงเกิดได้เพียงเล็กน้อย ครึ่งชีวิตจึงมีค่ามากในทางตรงกันข้ามเถ้าลอยที่มีสีจางถูกกลืนแสงได้น้อย ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้มากการย่อยสลายโดยแสงจึงเกิดได้มาก ครึ่งชีวิตจึงมีค่าน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.8.3 การรวมตัว (Sorption)

PAHs เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สามารถรวมตัวกับดินได้เป็นอย่างดีซึ่งแสดงได้โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับโดยดิน (Soil adsorption coefficient; K_{oc}) Naphthalene เป็น PAHs ที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างดีคือ ประมาณ 30 มิลลิกรัม / ลิตร จึงสามารถรวมตัวกับดินได้น้อยกว่า PAHs อื่นๆ คือ มีค่า K_{oc} เท่ากับ 400 สำหรับดินที่มีค่าสารอินทรีย์ของคาร์บอนร้อยละ 1.2 ในขณะที่ Phenanthrene ซึ่งละลายน้ำได้ประมาณ 1.2 มิลลิกรัม / ลิตร มีค่า K_{oc} เท่ากับ 5,800 สำหรับดินที่มีค่าสารอินทรีย์ของคาร์บอนร้อยละ 12 เท่ากัน โดยทั่วไป $\log K_{oc}$ ของ PAHs มีค่าอยู่ในช่วง 2.6-7.4

2.8.4 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ PAHs ในน้ำเป็นปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลและเป็นปฏิกิริยาแบบ Second-order คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับผลคูณของความเข้มข้นของ PAHs และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลสามารถแสดงด้วยสมการ (2.5)

$$-d[\text{PAH}] = k_{\text{OH}} [\text{PAH}] [\text{OH}] dt \quad (2.5)$$

โดย $[\text{PAH}]$ เป็นความเข้มข้นของ PAHs มีหน่วยเป็น โมลาร์

$[\text{OH}]$ เป็นความเข้มข้นของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลมีหน่วยเป็น โมลาร์

k_{OH} เป็นค่าคงตัวของอัตราเร็วของปฏิกิริยามีหน่วยเป็น โมลาร์⁻¹ วินาที⁻¹

อัตราเร็วของปฏิกิริยาของ PAHs มีค่าประมาณ 1×10^{10} โมลาร์⁻¹ วินาที⁻¹ ซึ่งถือว่าสูงมากหมายความว่า ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและทันที ออกซิเดชันเป็นการสลายตัวที่สำคัญปฏิกิริยาหนึ่งของ PAHs (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.8.5 การศึกษารูปแบบทางระบบนิเวศ (Model ecosystem studies)

พืชสามารถดูดซึม PAHs จากพื้นดินได้แต่เนื่องจากพืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากและมีไขมันต่ำ จึงทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ในพืชน้อยกว่าความเข้มข้นของ PAHs ในดินที่ใช้ปลูกพืชเสมอ เช่น อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ Benzo[*a*]pyrene ในพืชและความเข้มข้นของ Benzo[*a*]pyrene ในดินมีค่า 0.002-0.33 (Edwards, 1983)

2.9 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำ

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำที่นิยมมีหลายวิธีซึ่งในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในด้านต่างๆ อันได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ ลักษณะของน้ำก่อนการบำบัดคุณภาพน้ำที่ต้องการ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุนกระบวนการที่นิยมใช้สามารถสรุปได้ดังนี้

2.9.1 ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process)

วิธีการนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยมีการควบคุมให้มีก๊าซออกซิเจนในระบบเพื่อเร่งเกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ (Activated Sludge) ในระบบนี้คือพวกแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่และอาจมีสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้แก่ โปรโตซัว โรติเฟอร์ เป็นต้น

ระบบตะกอนเร่งประกอบด้วยถังปฏิบัติการซึ่งเป็นถังเติมอากาศ (Aeration tank) และถังตกตะกอน โดยน้ำเสียจะถูกนำเข้าสู่ถังปฏิบัติการที่มีตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบที่ได้รับออกซิเจนอย่างทั่วถึง หลังจากที่ได้รับระยะเวลาในการผสมผสานกันในระยะเวลาที่เหมาะสมจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ จะทำให้เกิดส่วนผสมระหว่างเซลล์ใหม่และเซลล์เก่าขึ้น ซึ่งสามารถนำไปแยกเอาตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ด้วยการผ่านน้ำตะกอนจากถังปฏิบัติการใหม่อีกครั้งเพื่อรักษาความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิบัติการ และตะกอนสภาพดีก่อนที่จะนำไปบำบัดต่อไป การนำตะกอนจุลินทรีย์กลับเข้าสู่ถังปฏิบัติการขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลล้นออกจากรางรอบๆถังตกตะกอน วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดแบบอื่นๆ

สำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีวภาพยังมีอีกหลายวิธี เช่น บ่อเติมอากาศ (Aeration lagoon) ระบบโปรยกรอง (Natural pond) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีหลักการในการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนแปลงสภาพสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียในรูปคอลลอยด์และสารละลายให้อยู่ในรูปก๊าซ น้ำและเซลล์ใหม่ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ

2.9.2 การปรับสภาพให้เป็นกลาง (Neutralization)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำด้วยวิธีทางเคมี เป็นการปรับสภาพความเป็นกรดค้างให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียในขั้นอื่นต่อไป โดยเฉพาะกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งต้องการน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดค้างในช่วง 6.5-8.5 และก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดดีแล้วลงสู่แหล่งน้ำ โดยถ้ามีค่าความเป็นกรดค้างต่ำ จะต้องทำการปรับสภาพโดยใช้ด่าง (Base) ด่างที่นิยมใช้ในการปรับสภาพ ได้แก่ โซดาไฟ (NaOH) ปูนขาว (CaO) เป็นต้น แต่ถ้าน้ำเสียมีค่าความเป็นกรดค้างสูง ต้องทำการปรับสภาพด้วยกรด โดยกรดที่ใช้ได้แก่ กรดกำมะถัน (H_2SO_4) กรดเกลือ (HCl) เป็นต้น

2.9.3 การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี โดยอาศัยหลักการดูดซับด้วยคาร์บอน เพื่อต้องการแยกสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งขั้นต้นมาแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวกถ่านที่ใช้กันมี 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ดๆ (Granular carbon) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 มม. และแบบคาร์บอนเป็นผง (Powder carbon) ที่มีขนาดเล็กกว่า 200 เมส ซึ่งนิยมรวมเรียกว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งทำมาจากเมล็ดอัลมอนด์ (Almond walnut hulls) มะพร้าว ไม้ อื่นๆ หรือถ่านทั่วไป นำมาเผาที่อุณหภูมิสูงมาก โดยพยายามทำให้ได้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมากๆ โดยทั่วไปพวก Activated carbon ที่นำมาใช้จะมีขนาดพื้นที่ผิวดั้งตั้งแต่ 500 ถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัมและในบางระบบอาจใช้ผงถ่านกัมมันต์ (Powder activated carbon) ผสมกับน้ำทิ้งในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) เพื่อช่วยกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก นอกจากนั้นการใช้ถ่านดูดซับไประยะเวลาหนึ่งถ่านที่เริ่มหมดสภาพจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยฟื้นฟูสภาพได้โดยใช้วิธีทางเคมี วิธีทางความร้อนและวิธีเผา

2.9.4 การกรองแบบอัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration)

ระบบนี้เป็นระบบการบำบัดน้ำด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี ซึ่งเป็นระบบการกรองที่ใช้เยื่อเลือกผ่าน (Porous membrane) อดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันพอประมาณจะทำให้เกิดการแยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กได้ โดยปกติเป็นสารปนเปื้อนที่มีขนาดน้ำหนักรวมตั้งแต่ 500 ถึง 500,000 กรัมต่อโมลและขนาดตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มม. และชนิดของเยื่อกรองที่ใช้ได้แก่ พวกเซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ เป็นต้น นอกจากนั้นระบบนี้อาจใช้เป็นระบบขั้นต้นก่อนที่จะให้น้ำทิ้งไหลเข้าสู่ระบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis)

2.9.5 ระบบออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

ระบบนี้อาจเรียกว่าระบบไฮเพอร์ฟิลเทรชัน (Hyperfiltration) เป็นการบำบัดน้ำด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี สามารถแยกสารปนเปื้อนขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มม. นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองผ่านแผ่นเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane) ความดันสูงกว่าความดันขนาดความดันออสโมติก (Osmotic pressure) ระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรองที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate) และ ไนลอน (Nylon) โดยจะนำไปใช้บำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐานสูงหรือต้องการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อีก สำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท หรือแม้กระทั่งอาจเพื่อไปใช้เป็นน้ำประปาสำหรับอุปโภคและบริโภค การนำไปใช้งานนั้น พบว่าการใช้พวกเยื่อกรองเซลลูโลสอะซิเตต เหมาะสมกับการกำจัดสารอินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแล้ว

สำหรับการใช้แผนเปิดในการบำบัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหรือ PAH นั้นอาศัยหลักการดูดซับสารอินทรีย์ทางชีวภาพซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งในการใช้ประโยชน์แผนเปิด และนอกจากนั้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดสารปนเปื้อนชนิดต่างๆในน้ำต่อไป

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการประยุกต์ใช้แผนในด้านอื่นๆและการบำบัด PAH ด้วยวิธีต่างๆมีดังนี้

Zhu and Li (2001) ศึกษาการแยก Cr^{3+} และ Cr^{6+} ด้วย *Lemna minor*. โดยทำการเตรียม *Lemna minor*. ให้มีขนาด 160 mesh และศึกษาสภาวะค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมโดยใช้วิธีปั่นกวนให้ *Lemna minor*. สัมผัสกับสารพบว่าที่ pH 1.0 จะสามารถแยก Cr^{3+} ออกมาและที่ pH 5.0 จะสามารถแยก Cr^{6+} ออกมาได้ โดยตรวจสอบความเข้มข้นที่เหลือของสารด้วย Atomization electrothermal atomic absorption spectrometry (ETAAS) พบว่า Cr^{3+} มีความเข้มข้น 0.01 $\mu\text{g/L}$ และ Cr^{6+} มีความเข้มข้น 0.03 $\mu\text{g/L}$ โดยได้ประยุกต์วิธีนี้กับน้ำตัวอย่างพบว่าแยก Cr^{3+} และ Cr^{6+} ในน้ำได้ 97-102% และ 93-103% ตามลำดับ

Hoi-ying *et al.* (2002) ศึกษาการย่อยสลาย Pyrene ด้วยวิธีธรรมชาติโดยใช้กรดฮิวมิกในการลดความเป็นพิษของ Pyrene โดยประยุกต์ใช้อินฟราเรด สเปกโทรไมโครสโคปเป็นแหล่งแสงซึ่งไม่ทำลายแหล่งกำเนิดของซินโครตรอนโพตอน โดยเติมฮิวมิกแอซิดเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย Pyrene ด้วยโคโลนิของแบคทีเรีย โดยจะทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมตั้งแต่ 2 ชั่วโมงจนถึง 168 ชั่วโมง ในการย่อยสลาย PAHs พบว่าฮิวมิกแอซิดจะทำให้แบคทีเรียสร้างไกลโคไลปิเดมาละลาย Pyrene และทำให้เกิดการย่อยสลายที่ 168 ชั่วโมงซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดินที่ปนเปื้อนได้

Laor, Zolkov และ Armon (2002) ศึกษาการยึดจับฮิวมิกแอซิดด้วย Sol-gel matrix ซึ่งฮิวมิกแอซิดนี้อยู่ในภาวะความเป็นกรดต่างที่ต่ำทำให้สามารถละลายของ Pyrene ได้โดยทำการเตรียม Sol-gel ด้วยการสังเคราะห์ Metal alkoxide monomers โดยทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและโพลิเมอไรเซชันได้ Tetramethoxysilane (TMOS) และทำการวิเคราะห์หาปริมาณ PAHs ที่ยึดจับได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ รุ่น 6200 (JENWAY fluorimeter)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด่างรุ่น 215 (Denver pH meter model 215)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียดรุ่น205A(Precisa analytical balance model 205 A)
4. เครื่องเขย่ารุ่น varispeed (small bench centrifuge model varispeed)
5. เซลล์ควอทซ์ (Quartz cell)
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
7. ปีกเกอร์ (Beaker)
8. กระบอกตวง (Cylinder)
9. ปิเปต (Pipette)
10. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
11. หลอดหยด (Dropper)
12. ตะแกรงกรอง
13. ตะแกรงคัดขนาด

3.2 สารเคมี

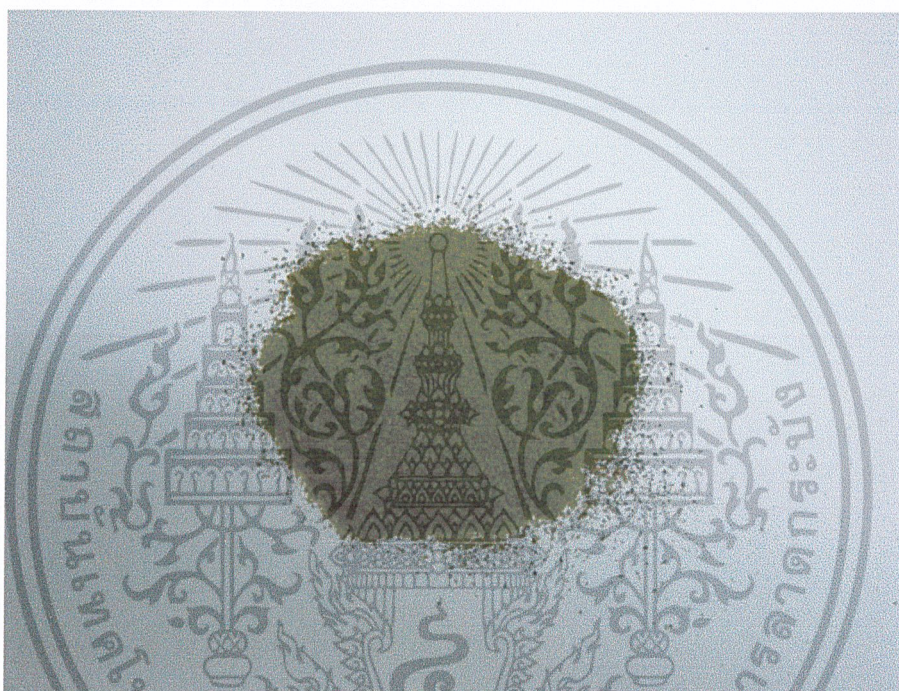
1. แหนเป็ด (*Lemna perpusilla* Torr.)
2. แนฟทาลีน (Naphthalene) Analyte grade ของบริษัท Carlo
3. ไพรีน (Pyrene) Analyte grade ของบริษัท Fluka
4. ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene) Analyte grade ของบริษัท Carlo
5. อะซีโตน (Acetone)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodiumhydroxide) 0.1M
7. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) 0.1M
8. น้ำกลั่น (Deionized water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิธีการเตรียมแหวนเปิด

นำแหวนเปิดจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาล้างด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง นำไปผึ่งแดดเป็นเวลา 2 วันแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำมาบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20, 35, 100 mesh



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของแหวนเปิดที่ใช้ในการทดลองหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมแล้ว

3.3.2 วิธีเตรียมสารเคมี

นำสารมาตรฐาน Pyrene , Phenanthrene , Naphthalene มาเตรียมให้มีความเข้มข้นเป็น 1 mg/L และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ให้พ้นจากแสง

3.3.3 ศึกษาหาค่าความเป็นกรดต่าง ที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

- ก. เติม Pyrene เข้มข้น 0.5 mg/L จำนวน 50 ml ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 5 ขวด นำขวดที่ 1-5 ไปปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M และกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M เป็น 3,5,7,10,12 ตามลำดับใส่แหวนเปิดที่ทำการอบแห้งและร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด 35 mesh จำนวน 0.5 g ทำการเขย่าเป็นเวลา 60 นาที โดยใช้อัตราเร็วรอบ 150 rpm ทำการกรองแล้วนำไปวัดหาปริมาณ

Pyrene ที่ดูดซับได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรีที่ Exited wavelength 335 nm และ Emission wavelength 372 nm ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีก 2 ชั่วโมง

- ข. ทำเช่นเดียวกับข้อ ก. แต่เปลี่ยนสารเคมีจาก Pyrene เป็น Phenanthrene โดยใช้ Exited wavelength 250 nm และ Emission wavelength 363 nm และเปลี่ยนเป็น Naphthalene โดยใช้ Exited wavelength 232 nm และ Emission wavelength 360 nm ตามลำดับ

3.3.4 ศึกษาปริมาณของแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

- ก. เติม Pyrene เข้มข้น 0.5 mg/L จำนวน 50 ml ลงในขวดรูปชมพู่ ปรับ pH เป็น 7 จำนวน 5 ขวดใส่แหวนเปิดที่ทำกรอบแห้งและร้อนด้วยตะแกรงคัดขนาด 35 mesh จำนวน 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 g ทำการเขย่าเป็นเวลา 60 นาที โดยใช้อัตราเร็วรอบ 150 rpm ทำการกรองแล้วนำไปวัดหาปริมาณ PAHs ที่ดูดซับได้ด้วยเทคนิค สเปกโทรฟลูออโรเมทรีที่ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3 ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีก 2 ชั่วโมง
- ข. ทำเช่นเดียวกับข้อ ก. แต่เปลี่ยนสารเคมีจาก Pyrene เป็น Phenanthrene โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3 และเปลี่ยนเป็น Naphthalene โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3

3.3.5 ศึกษาขนาดของแหวนเปิดที่เหมาะสมต่อการดูดซับ PAHs

- ก. เติม Pyrene เข้มข้น 0.5 mg/L จำนวน 50 ml ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวด ปรับ pH เป็น 7 ใส่แหวนเปิดที่ทำกรอบแห้งและร้อนด้วยตะแกรงขนาด 20, 35, 100 mesh จำนวน 0.5 g ทำการเขย่าเป็นเวลา 60 นาทีโดยใช้อัตราเร็วรอบ 150 rpm ทำการกรอง นำไปวัดหาปริมาณ PAHs ที่ดูดซับได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรีที่ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3 ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีก 2 ชั่วโมง
- ข. ทำเช่นเดียวกับข้อ ก. แต่เปลี่ยนสารเคมีจาก Pyrene เป็น Phenanthrene โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3 และเปลี่ยนเป็น Naphthalene โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3

3.3.6 ศึกษาหาเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

- ก. เติม Pyrene เข้มข้น 0.5 mg /L จำนวน 50 ml ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 4 ขวด ปรับค่า pH เป็น 7 ใส่แหวนเปิดที่ทำกรอบแห้งและร้อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh จำนวน 0.5 g นำไปแช่เป็นเวลา 30,60,120,300 นาทีโดยใช้ อัตราเร็วรอบ 150 rpm ตามลำดับแล้วนำไปวัดหาปริมาณ PAHs ที่ดูดซับได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรีที่ Emission wavelength nm และ Excited wavelength nm ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีก 2 ซ้ำ
- ข. ทำเช่นเดียวกับข้อ ก. แต่เปลี่ยนสารเคมีจาก Pyrene เป็น Phenanthrenen โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3 และเปลี่ยนเป็น Naphthalene โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3

3.3.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs อธิบายด้วย Freundlich Isotherm

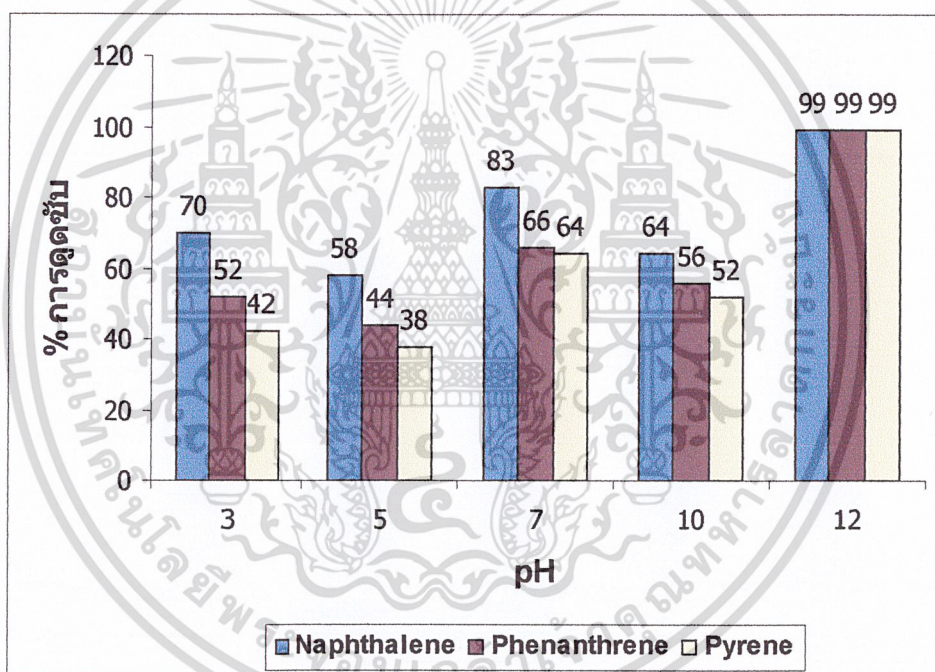
- ก. เติม Pyrene เข้มข้น 0.5 mg /L จำนวน 50 ml ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 5 ขวด ปรับค่า pH เป็น 7 ใส่แหวนเปิดที่ทำกรอบแห้งและร้อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh จำนวน 0.1,0.25,0.5,0.75,1.0 g นำไปแช่เป็นเวลา 120 นาทีโดยใช้ อัตราเร็วรอบ 150 rpm ตามลำดับแล้วนำไปวัดหาปริมาณ PAHs ที่ดูดซับได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรีที่ Emission wavelength nm และ Excited wavelength nm ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีก 2 ซ้ำ
- ข. ทำเช่นเดียวกับข้อ ก. แต่เปลี่ยนสารเคมีจาก Pyrene เป็น Phenanthrenen โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3 และเปลี่ยนเป็น Naphthalene โดยใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.3

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 pH ที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยเหน็บเปิด

จากการดำเนินการวิจัยหัวข้อ 3.3.3 ศึกษาหาค่าความเป็นกรดค่าที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs สามารถวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PAHs ที่เหลือจากการดูดซับด้วยเหน็บเปิด ผลแสดงดังรูปที่ 4.1 (ดูตารางที่ 1,3,5, ภาคผนวก ข)

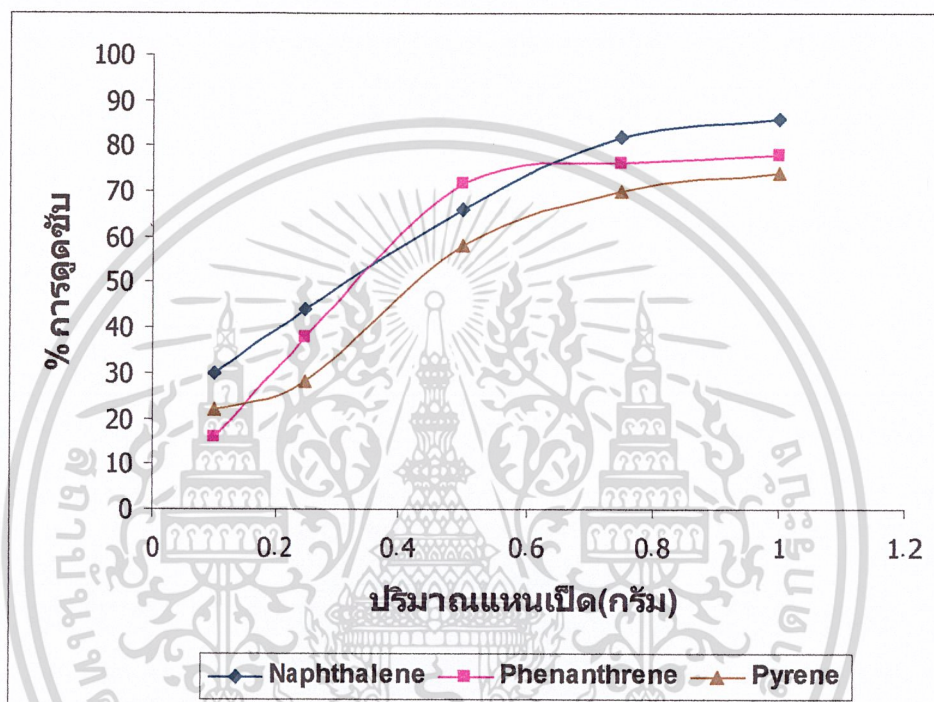


รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงผลของ pH ต่อการดูดซับ PAHs ชนิดต่างๆ

รูปที่ 4.1 พบว่าที่ pH เท่ากับ 12 การใช้ในเหน็บเปิดดูดซับ PAHs ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจากที่ภาวะเป็นเบสแก่ PAHs ถูกออกซิไดส์ทำให้ความเข้มข้นน้อยลงมาก ซึ่งไม่ได้เกิดจากการดูดซับจากเหน็บเปิดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือก pH 7 ให้เป็น pH ที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับ PAHs จากผลการทดลองนี้พบว่าเหน็บเปิดสามารถดูดซับ Naphthalene ได้ดีกว่า Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับในทุกๆค่า pH เนื่องจาก Naphthalene เป็น PAHs ที่มีขนาดของโมเลกุลเล็กกว่า Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ

4.2 ปริมาณแหนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

จากการดำเนินการวิจัยหัวข้อ 3.3.4 ศึกษาปริมาณแหนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs สามารถวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PAHs ที่เหลือจากการดูดซับด้วยแหนเปิด ผลแสดงดังรูปที่ 4.2 (ดูตารางที่ 7,9,11, ภาคผนวก ข)

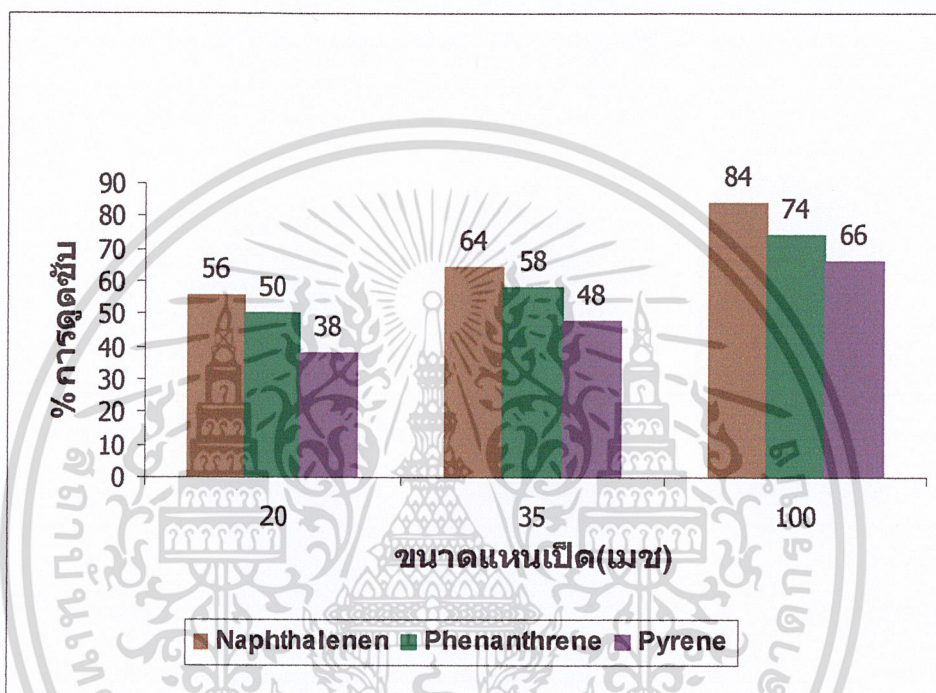


รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณแหนเปิดต่อการดูดซับ PAHs ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่ปริมาณแหนเปิดเท่ากับ 0.8 กรัม ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ Naphthalene ที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณแหนเป็น 1.0 กรัม เปอร์เซ็นต์การดูดซับไม่เพิ่มขึ้นมากนัก ส่วน Phenanthrene และ Pyrene พบว่าที่ปริมาณแหนเปิดเท่ากับ 0.5 กรัม เหมาะสมที่สุด เช่นเดียวกับ Naphthalene เมื่อเพิ่มปริมาณแหนให้มากขึ้นจากนี้ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้นมากนักดังนั้นปริมาณแหนเปิด 0.8 g ทำให้แหนเปิดสามารถดูดซับ Naphthalene ได้ดีที่สุด และที่ปริมาณแหนเปิด 0.5 g ทำให้แหนเปิดสามารถดูดซับ Phenanthrene และ Pyrene ได้ดีที่สุด

4.3 ขนาดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิด

จากการดำเนินการวิจัยหัวข้อ 3.3.5 ศึกษาขนาดแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs สามารถวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PAHs ที่เหลือจากการดูดซับด้วยแหวนเปิด ผลแสดงดังรูปที่ 4.3 (ดูตารางที่ 13,15,17, ภาคผนวก ข)

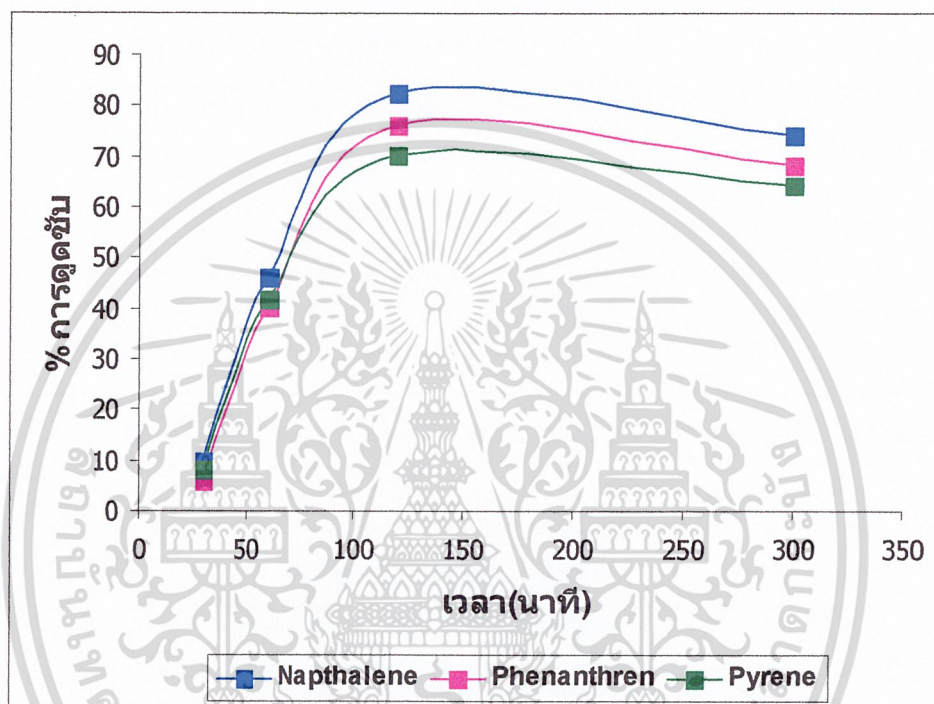


รูปที่ 4.3 แสดงผลของขนาดของแหวนเปิดต่อการดูดซับ PAHs แต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่ขนาดแหวนเปิดเท่ากับ 100 mesh ทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ Naphthalene ที่เหมาะสมที่สุดและสำหรับ Phenanthrene และ Pyrene ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน คือพบว่าที่ขนาดของแหวนเปิดเท่ากับ 100 mesh การใช้แหวนเปิดดูดซับ Phenanthrene และ Pyrene ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเหมาะสมที่สุด

4.4 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยเหน็บเปิด

จากการดำเนินการวิจัยหัวข้อ 3.3.6 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยเหน็บเปิด สามารถวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของ PAHs ที่เหลือจากการดูดซับด้วยเหน็บเปิด ผลแสดงดังรูปที่ 4.4 (ดูตารางที่ 19, 21, 23, ภาคผนวก ข)

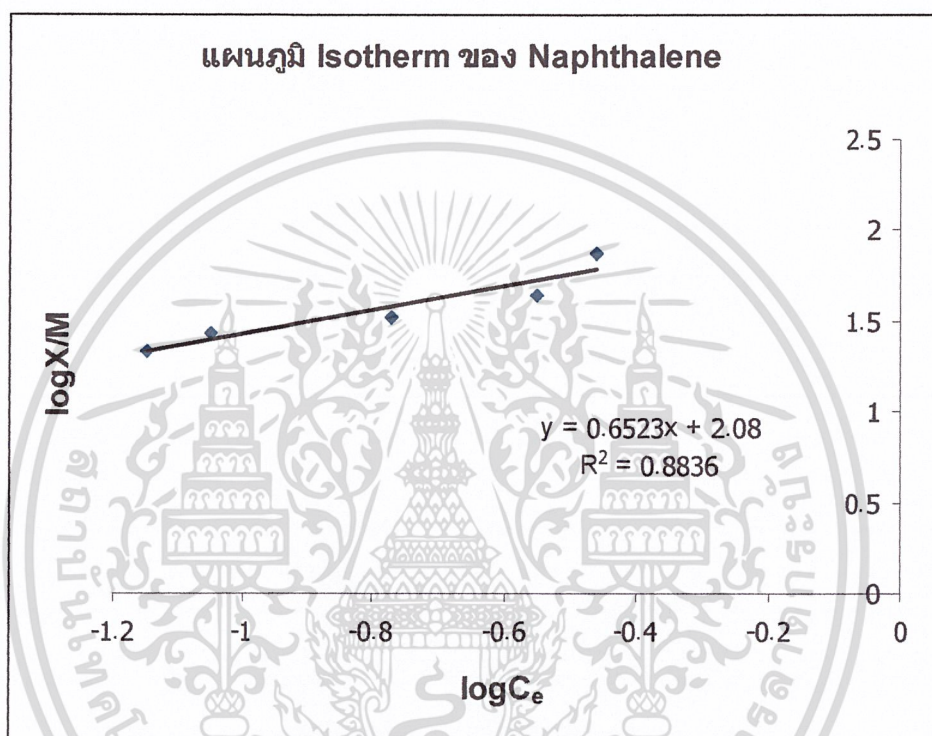


รูปที่ 4.4 แสดงผลของเวลา(นาที)ต่อการดูดซับ PAHs ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าที่เวลาการดูดซับเท่ากับ 120 นาทีทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ Naphthalene ที่เหมาะสมที่สุดและสำหรับ Phenanthrene และ Pyrene ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน คือพบว่าที่เวลาการดูดซับเท่ากับ 120 นาที การใช้เหน็บเปิดดูดซับ Phenanthrene และ Pyrene ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเหมาะสมที่สุด

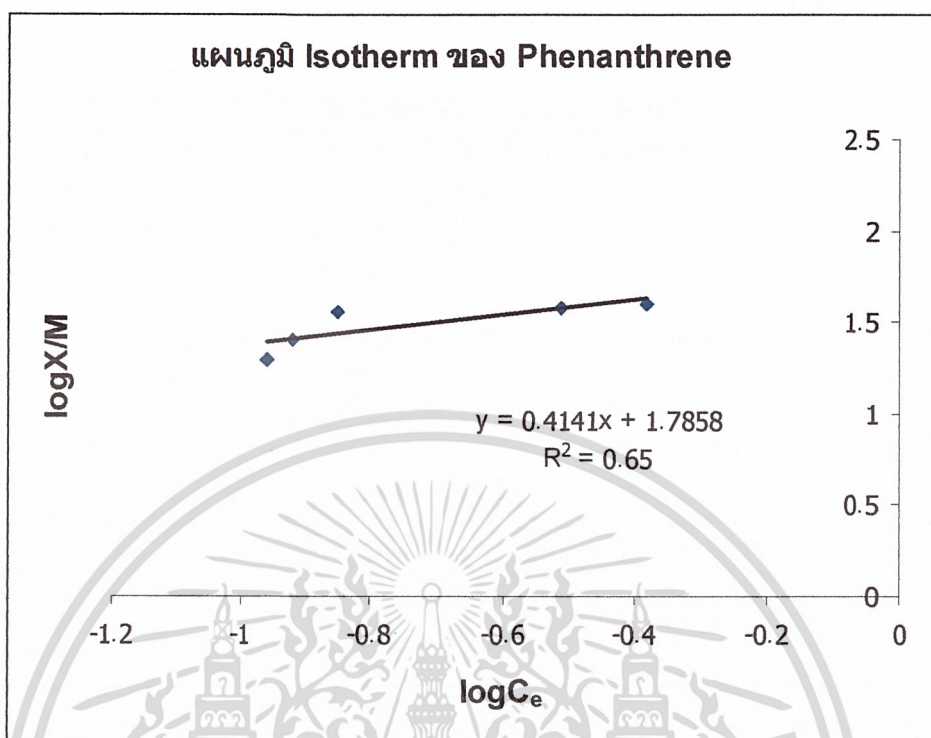
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs อธิบายด้วย Freundlich Isotherm

จากการดำเนินการวิจัยหัวข้อ 3.3.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs สามารถวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs ด้วยแผนเปิดผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.7 (ดูตารางที่ 25,26,27, ภาคผนวก ข)



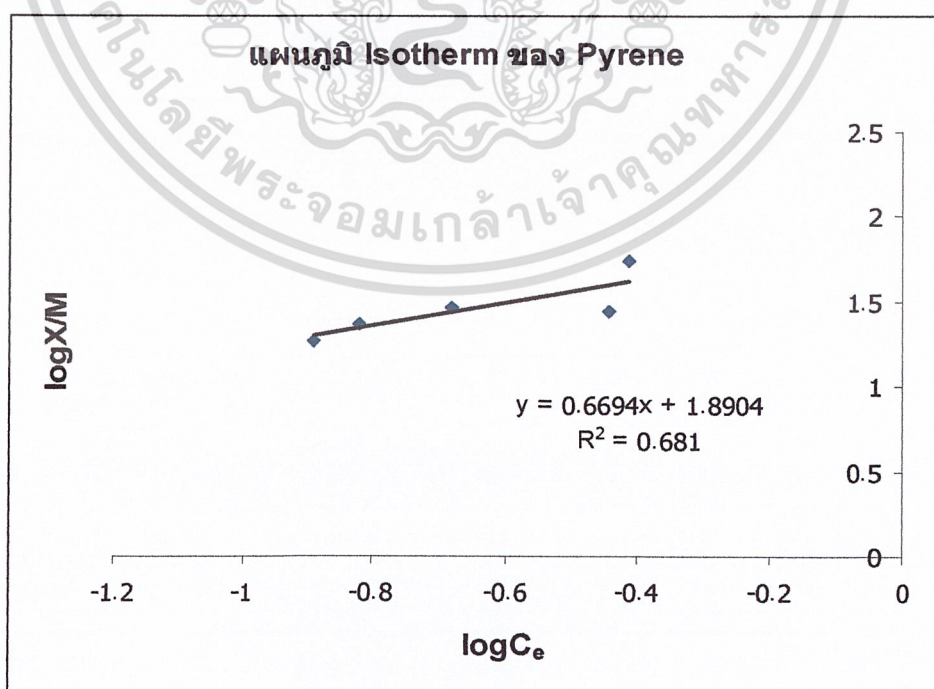
รูปที่ 4.5 แสดง Freundlich Isotherm ของการดูดซับ Naphthalene ด้วยแผนเปิด

จากรูปที่ 4.5 พบว่าสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 0.6523x + 2.08$ ทำการคำนวณหาค่าคงที่จากสมการ Freundlich Isotherm (ภาคผนวก ก) ได้ค่า $K = 120.22$ และค่า $1/n = 0.65$



รูปที่ 4.6 แสดง Freundlich Isotherm ของการดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด

จากรูปที่ 4.6 พบว่าสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 0.4141x + 01.7858$ ทำการคำนวณหาค่าคงที่จากสมการ Freundlich Isotherm (ภาคผนวก ก) ได้ค่า $K = 61.06$ และค่า $1/n = 0.4141$



รูปที่ 4.7 แสดง Freundlich Isotherm ของการดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 พบว่าสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 0.6694x + 1.8904$ ทำการคำนวณหาค่าคงที่จากสมการ Freundlich Isotherm (ภาคผนวก ก) ได้ค่า $K = 77.69$ และค่า $1/n = 0.6694$

จากรูปที่ 4.5-4.7 ทำให้ได้ค่าคงที่ในสมการ Freundlich Isotherm เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs แต่ละชนิดของແຫນើປັດພວ່ว่า ค่า K ของการดูดซับ Naphthalene ($K=120.22$) มีค่าสูงกว่าค่า K ของ Phenanthrene และ Pyrene ($K=61.06$ และ $K=77.69$ ตามลำดับ) และค่า K ของ Pyrene มีค่ามากกว่าค่า K ของ Phenanthrene จากผลการทดลองนี้พบว่า การดูดซับ Naphthalene ด้วยແຫນើປັດมีประสิทธิภาพสูงกว่าการดูดซับ Pyrene และ Phenanthrene ตามลำดับ และการดูดซับ Pyrene ด้วยແຫນើປັດมีประสิทธิภาพสูงกว่าการดูดซับ Phenanthrene



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ในน้ำด้วยแหวนเปิด โดยศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ของแหวนเปิด โดยใช้ PAHs ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs อันได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ ขนาดของแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ และเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิด
 - 1.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิดคือ pH เท่ากับ 7 ซึ่งที่ค่าความเป็นกรดต่างดังกล่าวจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเหมาะสมกว่าค่าความเป็นกรดต่างค่าอื่นๆ เป็น 83.0, 66.0 และ 64.0 เมื่อทำการดูดซับ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ
 - 1.2 ปริมาณแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs พบว่าแหวนเปิด 0.5 กรัม ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเหมาะสมกว่าค่าปริมาณแหวนเปิดค่าอื่นๆ เป็น 66.0, 72.0 และ 58.0 เมื่อทำการดูดซับ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ
 - 1.3 ขนาดของแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs พบว่าที่ขนาดแหวนเปิดเท่ากับ 100 mesh จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมื่อใช้แหวนเปิดขนาดอื่นๆ เป็น 84.0, 74.0 และ 66.0 เมื่อทำการดูดซับ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ
 - 1.4 เวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิดพบว่าที่เวลาเท่ากับ 120 นาที จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุดเป็น 82.4, 76.2 และ 70.2 เมื่อทำการดูดซับ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ
2. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิด โดยใช้ Freundlich Isotherm พบว่า
 - 2.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิดมีค่า 66.0% และวิเคราะห์เป็นสมการ Freundlich ได้ดังนี้ $\log X/M = 2.08 + 0.6523 \log C_0$ โดยคำนวณหาค่าคงที่ได้ค่า $K = 120.22$ และ $1/n = 0.65$ ซึ่งพบว่าค่า K มีค่ามากกว่าการดูดซับ Phenanthrene และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pyrene ด้วยแหวนเปิด แหวนเปิดจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Naphthalene ได้สูงกว่าดูดซับ Phenanthrene และ Pyrene ตามลำดับ

2.2 ประสิทธิภาพการดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิดมีค่า 72.0% และวิเคราะห์เป็นสมการ Freundlich ได้ดังนี้ $\log X/M = 1.7858 + 0.4141 \log C_e$ โดยคำนวณหาค่าคงที่ได้ค่า $K = 61.06$ และ $1/n = 0.4141$ ซึ่งพบว่าค่า K มีค่าน้อยกว่าการดูดซับ Naphthalene และ Pyrene ด้วยแหวนเปิด แหวนเปิดจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Phenanthrene ได้ต่ำกว่าดูดซับ Naphthalene และ Pyrene ตามลำดับ

2.3 ประสิทธิภาพการดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิดมีค่า 58.0% และวิเคราะห์เป็นสมการ Freundlich ได้ดังนี้ $\log X/M = 1.8904 + 0.6694 \log C_e$ โดยคำนวณหาค่าคงที่ได้ค่า $K = 77.69$ และ $1/n = 0.6694$ ซึ่งพบว่าค่า K มีค่ามากกว่าการดูดซับ Phenanthrene แต่มีค่าน้อยกว่าค่า K ของ Naphthalene ดังนั้นแหวนเปิดจึงมีประสิทธิภาพการดูดซับ Pyrene ได้ดีกว่าดูดซับ Phenanthrene และมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Pyrene ได้น้อยกว่า Naphthalene ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการดูดซับ PAHs ด้วยแหวนเปิดควรใช้น้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อน PAHs มาใช้ในการทดลอง
2. ควรศึกษาผลของความเข้มข้นของ PAHs เพิ่มเติม
3. ควรศึกษาผลของการดูดซับ PAHs ชนิดอื่นๆด้วยแหวนเปิดเพิ่มเติม
4. ควรศึกษาผลของการดูดซับ PAHs เมื่อเปลี่ยนตัวดูดซับเป็นชนิดอื่นๆ
5. ควรศึกษาผลของการบำบัด PAHs ในน้ำด้วยวิธีอื่นๆเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ (2543) เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง เรื่อง
พีเอเอช กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
- Behymer T.D. and Hites R.A. (1988) Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed
on fly ash. **Environ Sci Technol** 22, 1311-1319.
- Brunstrom B., Hakansson H., and lundberg K (1991) Effects of a technical PCB preparation an
fraction threof on ethoxyresorufin O – dedthylase activity vitamin A levels and thymic
developement in the milk *Mustela vison* **Pharmacol Toxicol** 69,421-426.
- Cemiglia C.E.and Heitknap M.A. (1989) Microbial degradation of polycyclic aromatic
hydrocarbons(PAHs) in the aquatic environment In : **Metabolism of Polycyclic Aromatic
Hydrocarbons in the Aqutic Environment**. Varanasi U.Editor. CRC Press Inc. Boca
Ratona,Florida,USA.
- Edward N.T.(1993) Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH) in the terrestrial environment-A
review. **Environ Qual** 12,427-441.
- Hoi-Ying N.H., Karl N. ,Darwin L.S., Charles D.M., Michael C.M. , Thomas B.,
Wayne R.M., and Ronald C.S. (2002) “Catalysis of PAH Biodegradation by Humic Acid
shown in Synchrotron Infrared Studies.” *Environ Sci technol* 36 , 1276-1280.
- IARC (1999) **Overall Evaluations of Carcinogenicity of Humans**. International Agency for
Research on Cancer. http://193.51.164.11/monoeval_ert.html. Last updated : 20 January
1999.
- IPCS (1998) **Environmental Health Criteria 202. Selected Non-heterocyclic Polycyclic
Aromatic Hydrocarbons**. The International programme on Chenehal Safety. World Health
Organization. Geneva,Switzerland.
- ITTHI(1982) **Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual**. Tokyo,Japan:The
International Technical Information Institute. 46.
- Iwata K.,Inui N., and Takeuchi T.(1981) Induction of active melanocytes in mouse skin by
carcinogens: A new method for detection of skin carcinogens. **Carinogenesis**
(London)2,589-594.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Karlin M.D., Yu P.C., Jeffrey S.B., Terry L.G., and Samuel J.T. (1995) "Solubility Enhancement and Fluorescence Quenching of Pyrene by Humic substances : The Effect of Dissolved Oxygen on quenching Process." *Environ Sci technol* 29 , 2162-2165.
- Laor Y., Zolkov CH., and Armon R. (2002) "Immobilizing Humic Acid in a Sol-Gel Matrix : A New Tool To Study Humic-contaminants Sorption Interactions." *Environ Sci technol* 36 , 1054-1060.
- Mackenzie K.M. and Angevine D.M. (1981) Infertility in mice exposed in utero to benzo[a]pyrene. **Biol Reprod** 24,183-191.
- Mitchell R.L., Burchett M.D., Pulkownik A., and McCluskey L. (1988) Effects of environmentally hazardous chemicals on the emergence and early growth of selected Australian plants. **Plant soil** 112,195-199.
- Neuhauser E.F., Loehr R.c., Malecki M.R., Milligan D.L., and Durkin P.R. (1985) The toxicity of selected organic chemicals to the earthworm *Eisenia fetida*. **J Environ Qual** 14,383-388.
- Schafer E.W. Jr., Bowles W.A. Jr., and Hurlbut J. (1983) The acute oral toxicity, repellency, and hazard potential of 998 chemical to one or more species of wild and domestic birds. **Arch Environ Contam Toxicol** 12,355-381.
- Spehar R.L., Poucher S., Brooke L.T., Hansen D.J., Champlin D., and Cox D.A. (1999) Comparative toxicity of fluoranthrene to freshwater and saltwater species under fluorescent and ultraviolet light. **Arch Environ contam Toxicol** 37,496-502.
- Suzuki, M. 1990. **Adsorption Engineering**. Tokyo : Elsevier, Inc.
- U.S.EPA (1998) **toxicological Review of Naphthalene**. (CAS No.91-20-3).
<http://www.epa.gov/iris>
- Zhu G. and Li S. (2001) "Separation and preconcentration of chromium species by selective absorption on *Lemna minor*. and determination by slurry atomization electrothermal atomic absorption spectrometry." *The Royal Society of Chemistry* 126,1453-1455.
<http://www.ku.ac.th/fish/mfish.html>.
<http://www.mobot.org/jwccross/duckweed/duckweed-anatomy.html>

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมสารละลาย Stock solution Naphthalene

1. ชั่ง Naphthalene มา 1000 มิลลิกรัม
2. นำมาละลายในตัวทำละลายอะซีโตน 400 มิลลิลิตรปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วย น้ำกลั่น
3. เก็บในอุณหภูมิ 4°C ให้พ้นแสง

วิธีการเตรียมสารละลาย Stock solution Phenanthrene

1. ชั่ง Phenanthrene มา 1000 มิลลิกรัม
2. นำมาละลายในตัวทำละลายอะซีโตน 400 มิลลิลิตรปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วย น้ำกลั่น
3. เก็บในอุณหภูมิ 4°C ให้พ้นแสง

วิธีการเตรียมสารละลาย Stock solution Pyrene

1. ชั่ง Phenanthrene มา 1000 มิลลิกรัม
2. นำมาละลายในตัวทำละลายอะซีโตน 400 มิลลิลิตรปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วย น้ำกลั่น
3. เก็บในอุณหภูมิ 4°C ให้พ้นแสง

วิธีการเตรียมแหนเปิด

1. นำแหนเปิดจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาล้างด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง
2. นำไปผึ่งแดดเป็นเวลา 2 วัน
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C
4. นำมาบดและร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด 20,35,100 mesh

วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ PAHs ด้วยแหนเปิด

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับของแหนเปิด} = [(C-CE)/C] \times 100$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของ PAHs เริ่มต้น

CE = ความเข้มข้นของ PAHs สุดท้าย

วิธีการคำนวณหาค่าคงที่ในสมการ Freundlich Isotherm

จากสมการ Freundlich Isotherm คือ $X/M = KC_e^{1/n}$ เมื่อใส่ค่า \log ลงในสมการจะได้ว่า

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

โดยที่ X = น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับ

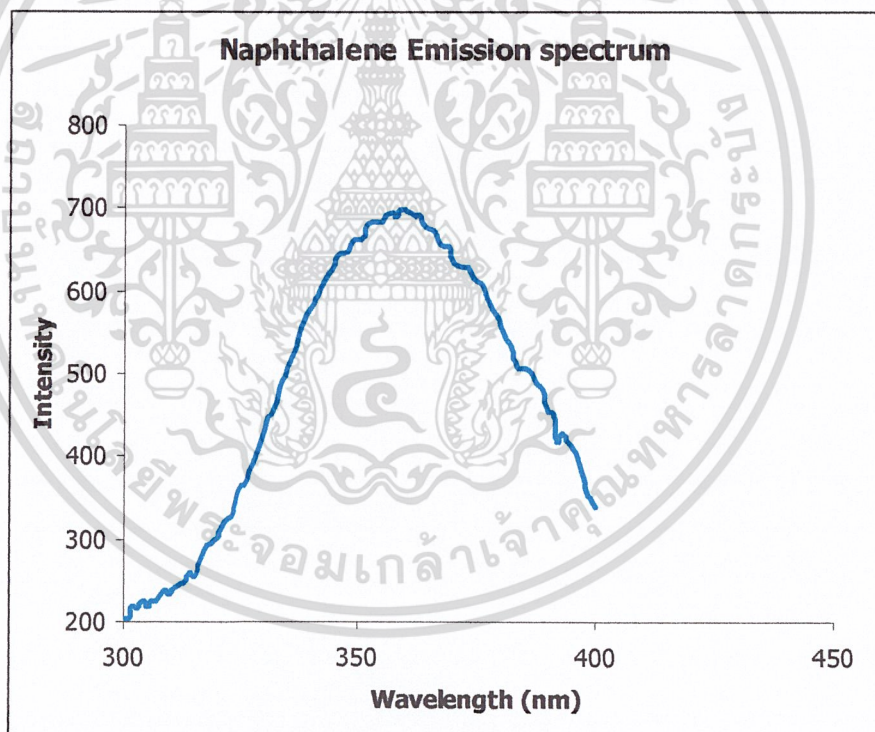
M = น้ำหนักของตัวดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลายที่สภาวะสมดุล

K = ค่าคงที่

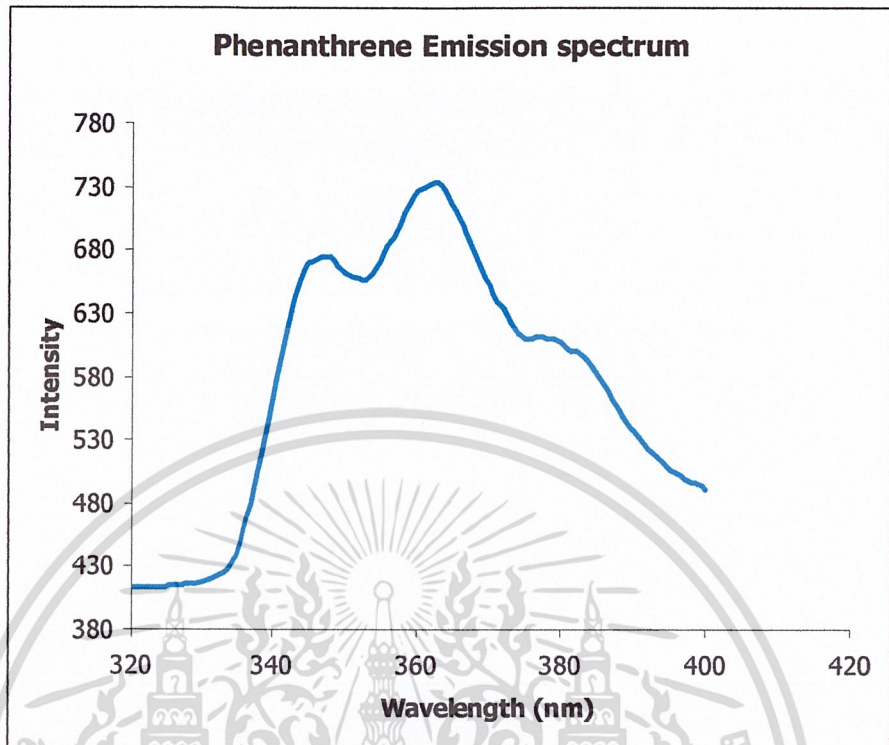
n = ค่าคงที่

Spectrum ที่วัดได้จาก PAHs เข้มข้น 1.0 ppm ชนิดต่างๆ

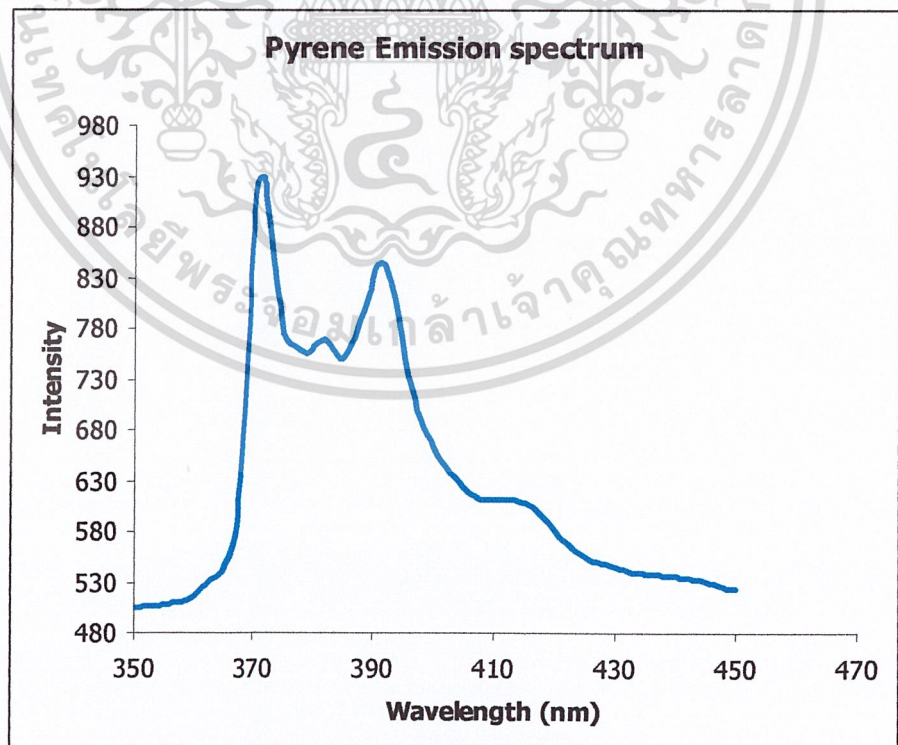


รูป ก.1 แสดง Naphthalene Emission Spectrum ($\lambda_{\max} = 360 \text{ nm}$) ที่ Exited Wavelength 232 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.2 แสดง Phenanthrene Emission spectrum ($\lambda_{\text{max}} = 363 \text{ nm}$) ที่ Exited wavelength 250 nm



รูป ก.3 แสดง Pyrene Emission spectrum ($\lambda_{\text{max}} = 372 \text{ nm}$) ที่ Exited

Wavelength 335 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลจากการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาหาสภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยเหน็บเปิด

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยเหน็บเปิด

pH	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Naph]	%
3	424.96	14.68	120.13	110.32	0.150	70.0
5	425.10	14.70	164.53	154.56	0.210	58.0
7	425.19	14.72	76.27	63.19	0.085	83.0
10	425.03	14.81	142.46	132.45	0.180	64.0
12	120.02	14.48	-294.59	0.73	0.001	99.8

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยเหน็บเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

pH	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
3	120.09	120.13	120.12	120.13
5	164.53	164.51	164.53	164.53
7	76.25	76.21	77.50	76.27
10	142.41	141.98	142.98	142.46
12	-294.54	-294.56	-294.62	-294.59

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยเหน็บเปิด

pH	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Phe]	%
3	401.22	17.21	194.90	181.48	0.24	52.0
5	401.63	17.23	225.75	211.90	0.280	44.0
7	401.78	17.01	142.57	128.79	0.170	66.0
10	401.55	17.32	180.38	166.52	0.220	56.0
12	121.11	17.03	-265.36	1.51	0.002	99.6

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

pH	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
3	194.89	194.91	194.92	194.90
5	224.93	225.60	225.99	225.75
7	142.56	142.58	142.56	142.57
10	180.35	180.40	180.38	180.38
12	-256.32	-256.38	-256.34	-265.36

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด

pH	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Py]	%
3	571.34	14.56	300.15	288.60	0.29	42.0
5	571.22	14.97	321.09	309.25	0.310	38.0
7	570.43	15.01	191.71	180.62	0.180	64.0
10	571.46	15.02	251.42	239.59	0.240	52.0
12	223.79	14.82	-330.77	4.97	0.005	99.0

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

pH	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
3	300.12	300.15	300.18	300.15
5	321.07	320.99	321.19	321.09
7	191.92	191.66	191.55	191.71
10	251.31	251.46	251.47	251.42
12	-330.75	-330.78	-330.80	-330.71

โดยที่ pH = ค่าความเป็นกรดต่าง Intensity = ค่าความเข้มแสง % = เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

B1 = ค่าความเข้มแสงโดยทำการทดลองใส่สาร PAHs โดยไม่ใส่แหวนเปิด

B2 = ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการทำการทดลองโดยใช้น้ำกลั่นไม่ใส่สาร PAHs

[Naph] = ความเข้มข้น Naphthalene หลังถูกดูดซับ

[Phe] = ความเข้มข้น Phenanthrene หลังถูกดูดซับ

[Py] = ความเข้มข้น Pyrene หลังถูกดูดซับ

การคำนวณหาความเข้มข้นของ PAHs หลังถูกดูดซับ

$$[\text{Intensity เฉลี่ย} + (\text{ค่า intensity ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{B1})] - \text{B2} = \text{Y}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า Y ที่ได้แทนลงในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานPAHs แต่ละชนิด (ภาคผนวก ค) ได้ค่า X = ความเข้มข้นหลังการดูดซับ นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ (ภาคผนวก ก)

การทดลองที่ 2 การศึกษาหาปริมาณแชนเป็ดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแชนเป็ด

ปริมาณแชนเป็ด(กรัม)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Naph]	%
0.10	427.21	3.32	258.12	257.42	0.35	30.0
0.25	427.21	7.11	210.42	205.93	0.28	44.0
0.50	427.21	13.08	135.49	125.03	0.17	66.0
0.75	427.21	15.37	78.94	66.19	0.09	82.0
1.00	427.21	16.79	65.65	51.48	0.07	86.0

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแชนเป็ด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

ปริมาณแชนเป็ด(กรัม)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
0.10	257.97	258.34	258.08	258.12
0.25	210.54	210.32	210.44	210.42
0.50	135.72	135.53	135.21	135.49
0.75	78.74	78.97	79.13	78.94
1.00	65.52	65.71	65.72	65.65

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแชนเป็ด

ปริมาณแชนเป็ด(กรัม)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Phe]	%
0.10	402.27	3.15	318.01	317.60	0.42	16.0
0.25	402.27	7.83	239.51	234.42	0.31	38.0
0.50	402.27	13.20	116.32	105.86	0.14	72.0
0.75	402.27	15.59	103.59	90.74	0.12	76.0
1.00	402.27	18.11	98.55	83.18	0.11	78.0

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

ปริมาณแหวนเปิด(กรัม)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
0.10	317.98	318.03	318.01	318.01
0.25	239.32	239.54	239.66	239.51
0.50	116.27	116.43	116.30	116.32
0.75	103.38	103.60	103.77	103.59
1.00	98.41	98.62	98.63	98.55

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด

ปริมาณแหวนเปิด(กรัม)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Py]	%
0.10	573.28	3.41	390.46	388.12	0.39	22.0
0.25	573.28	6.89	364.09	358.27	0.36	28.0
0.50	573.28	13.52	221.44	208.99	0.21	58.0
0.75	573.28	15.11	163.32	149.28	0.15	70.0
1.00	573.28	17.94	146.24	129.37	0.13	74.0

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

ปริมาณแหวนเปิด(กรัม)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
0.10	390.32	390.48	390.55	390.46
0.25	364.22	363.96	364.10	364.09
0.50	221.20	221.51	221.58	221.44
0.75	162.98	163.42	163.55	163.32
1.00	146.21	146.32	146.21	146.24

ทำการคำนวณเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 3 การศึกษาขนาดของแหวนเปิดที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด

ขนาดแหวนเปิด(mesh)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Naph]	%
20	427.77	12.95	179.42	168.53	0.22	56.0
35	427.77	13.21	150.42	139.27	0.18	64.0
100	427.77	13.10	76.89	65.85	0.08	84.0

ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

ขนาดแหวนเปิด(mesh)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
20	180.05	178.79	179.42	179.42
35	150.63	150.21	150.42	150.42
100	77.08	76.71	76.90	76.89

ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด

ขนาดแหวนเปิด(mesh)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Phe]	%
20	402.62	12.95	200.50	189.94	0.25	50.0
35	402.62	13.21	177.06	166.24	0.21	58.0
100	402.62	13.10	115.94	105.23	0.13	74.0

ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

ขนาดแหวนเปิด(mesh)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
20	199.87	201.13	200.49	200.50
35	177.18	176.94	177.06	177.06
100	116.68	115.20	115.93	115.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด

ขนาดแหวนเปิด(mesh)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Phe]	%
20	572.91	12.95	321.03	309.52	0.31	38.0
35	572.91	13.21	279.85	268.08	0.26	48.0
100	572.91	13.10	190.50	178.84	0.17	66.0

ตารางที่ ข.18 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

ขนาดแหวนเปิด(mesh)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
20	320.17	321.89	321.02	321.03
35	280.36	279.34	279.84	279.85
100	190.79	190.21	190.49	190.50

ทำการคำนวณเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs

ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด

เวลา(นาที)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Naph]	%
30	426.98	13.41	341.51	331.13	0.450	10.0
60	427.01	13.49	209.35	198.68	0.270	46.0
120	427.23	13.53	76.55	65.02	0.088	82.4
300	427.74	13.47	106.31	94.93	0.129	74.2

ตารางที่ ข.20 ผลการทดลองดูดซับ Naphthalene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

เวลา(นาที)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
30	342.12	340.95	341.47	341.51
60	209.73	209.81	208.52	209.35
120	77.34	75.83	76.49	76.55
300	106.76	106.23	105.94	106.31

ตารางที่ ข.21 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด

เวลา(นาทื)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Phe]	%
30	403.51	13.30	367.24	355.44	0.470	6.0
60	403.43	13.24	238.30	226.64	0.299	40.2
120	403.21	13.45	102.01	90.36	0.119	76.2
300	403.44	13.47	131.75	119.85	0.158	68.4

ตารางที่ ข.22 ผลการทดลองดูดซับ Phenanthrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

เวลา(นาทื)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
30	367.28	367.55	366.91	367.24
60	238.73	238.41	237.77	238.30
120	102.61	102.54	100.89	102.01
300	132.86	131.11	131.29	131.75

ตารางที่ ข.23 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด

เวลา(นาทื)	B1	B2	Intensityเฉลี่ย	Intensity-Blank	[Py]	%
30	573.42	13.24	470.06	457.75	0.459	8.2
60	573.39	13.56	301.59	288.99	0.290	42.0
120	573.12	13.42	161.29	149.10	0.149	70.2
300	573.15	13.30	190.87	178.77	0.179	64.2

ตารางที่ ข.24 ผลการทดลองดูดซับ Pyrene ด้วยแหวนเปิด(ก่อนหาค่าเฉลี่ย)

เวลา(นาทื)	Intensity1	Intensity2	Intensity3	Intensity เฉลี่ย
30	470.06	470.41	469.73	470.06
60	300.87	301.48	302.42	301.59
120	161.55	160.94	161.39	161.29
300	191.40	190.01	191.22	190.87

ทำการคำนวณเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยเหน็บเปิดอธิบายด้วย Freundlich

Isotherm

ตารางที่ ข.25 แสดงการดูดซับ Naphthalene และ Freundlich Isotherm ของเหน็บเปิด

น้ำหนัก PAHs, C (mg/L)	น้ำหนัก PAHs หลังดูดซับ, C _e (mg/L)	ปริมาตร เริ่มต้น, V	X=[C-C _e]V (mg/L)	น้ำหนัก เหน็บเปิด, M(กรัม)	X/M	logX/M	logC _e
0.5	0.35	50	7.5	0.10	75.0	1.875	-0.46
0.5	0.28	50	11.0	0.25	44.0	1.643	-0.55
0.5	0.17	50	16.5	0.50	33.0	1.518	-0.77
0.5	0.09	50	20.5	0.75	27.0	1.436	-1.05
0.5	0.07	50	21.5	1.00	21.5	1.332	-1.15

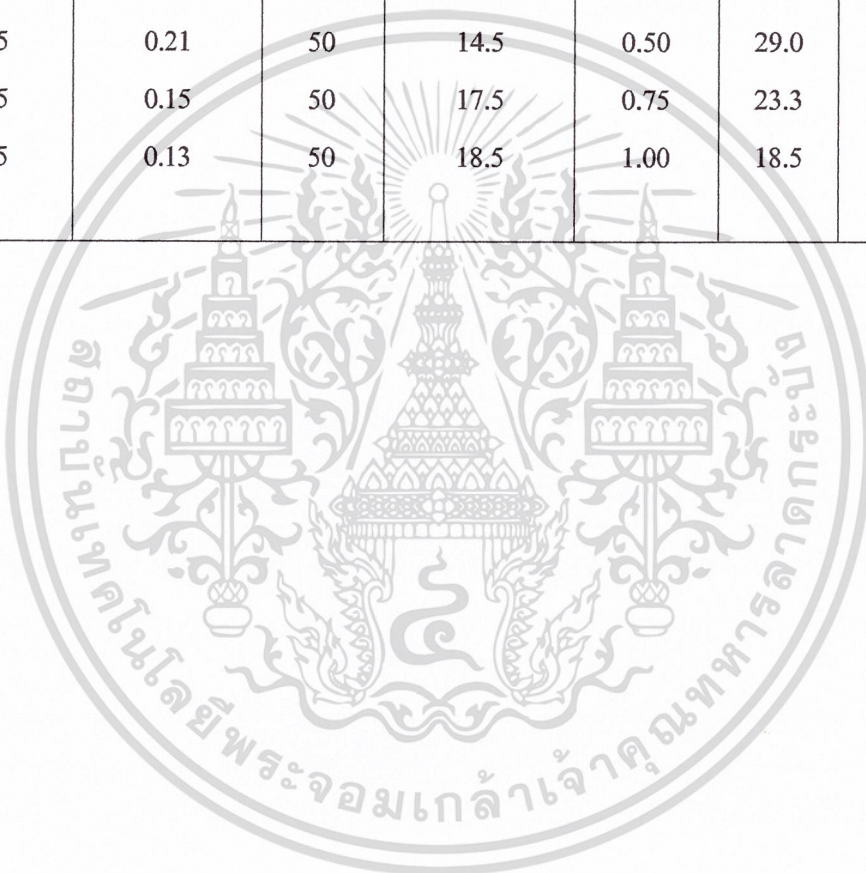
ตารางที่ ข.26 แสดงการดูดซับ Phenanthrene และ Freundlich Isotherm ของเหน็บเปิด

น้ำหนัก PAHs, C (mg/L)	น้ำหนัก PAHs หลังดูดซับ, C _e (mg/L)	ปริมาตร เริ่มต้น, V	X=[C-C _e]V (mg/L)	น้ำหนัก เหน็บเปิด, M(กรัม)	X/M	logX/M	logC _e
0.5	0.42	50	4.0	0.10	40.0	1.602	-0.38
0.5	0.31	50	9.5	0.25	38.0	1.579	-0.51
0.5	0.14	50	18.0	0.50	36.0	1.556	-0.85
0.5	0.12	50	19.0	0.75	25.0	1.403	-0.92
0.5	0.11	50	19.5	1.00	19.5	1.290	-0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.27 แสดงการดูดซับ Pyrene และ Freundlich Isotherm ของเหน็บีต

น้ำหนัก PAHs,C (mg/L)	น้ำหนักPAHs หลังดูดซับ ,C _e (mg/L)	ปริมาตร เริ่มต้น, V	X=[C-C _e]V (mg/L)	น้ำหนัก เหน็บีต ,M(กรัม)	X/M	logX/M	logC _e
0.5	0.39	50	5.5	0.10	55.0	1.740	-0.41
0.5	0.36	50	7.0	0.25	28.0	1.447	-0.44
0.5	0.21	50	14.5	0.50	29.0	1.462	-0.68
0.5	0.15	50	17.5	0.75	23.3	1.367	-0.82
0.5	0.13	50	18.5	1.00	18.5	1.267	-0.89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

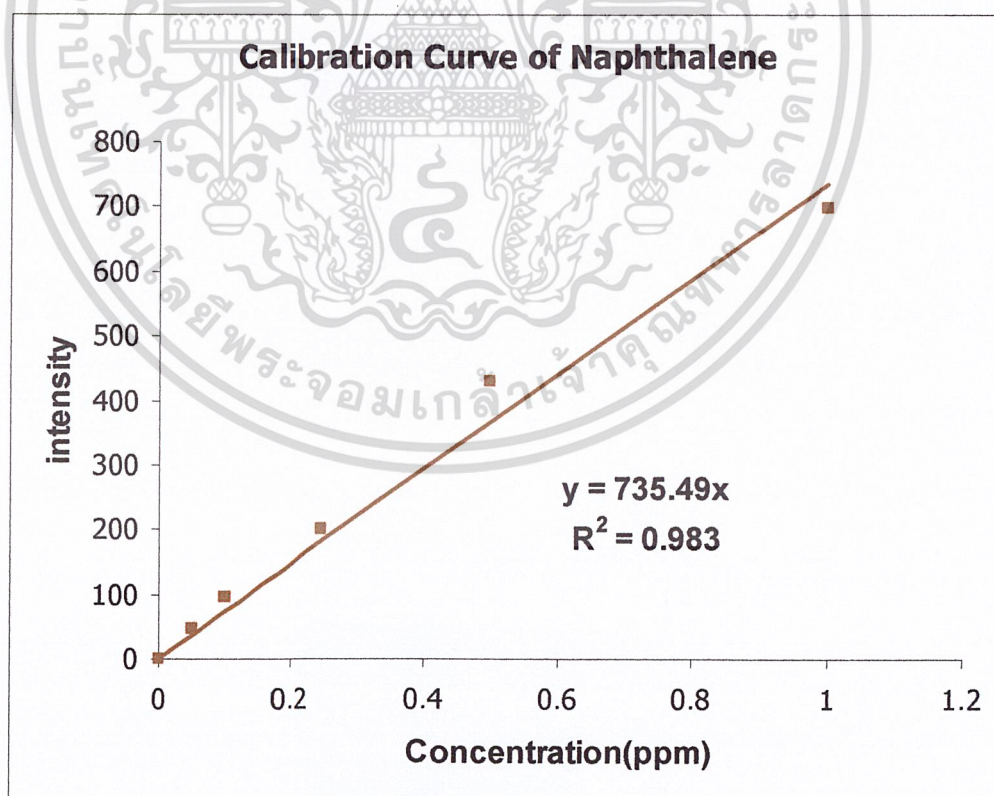
ภาคผนวก ค

กราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานของ Naphthalene

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าความเข้มข้นของ Naphthalene และค่าความเข้มแสง

ความเข้มข้นของ Naphthalene(ppm)	ค่าความเข้มแสง
1.00	697.72
0.50	429.83
0.25	199.47
0.10	96.38
0.05	47.66



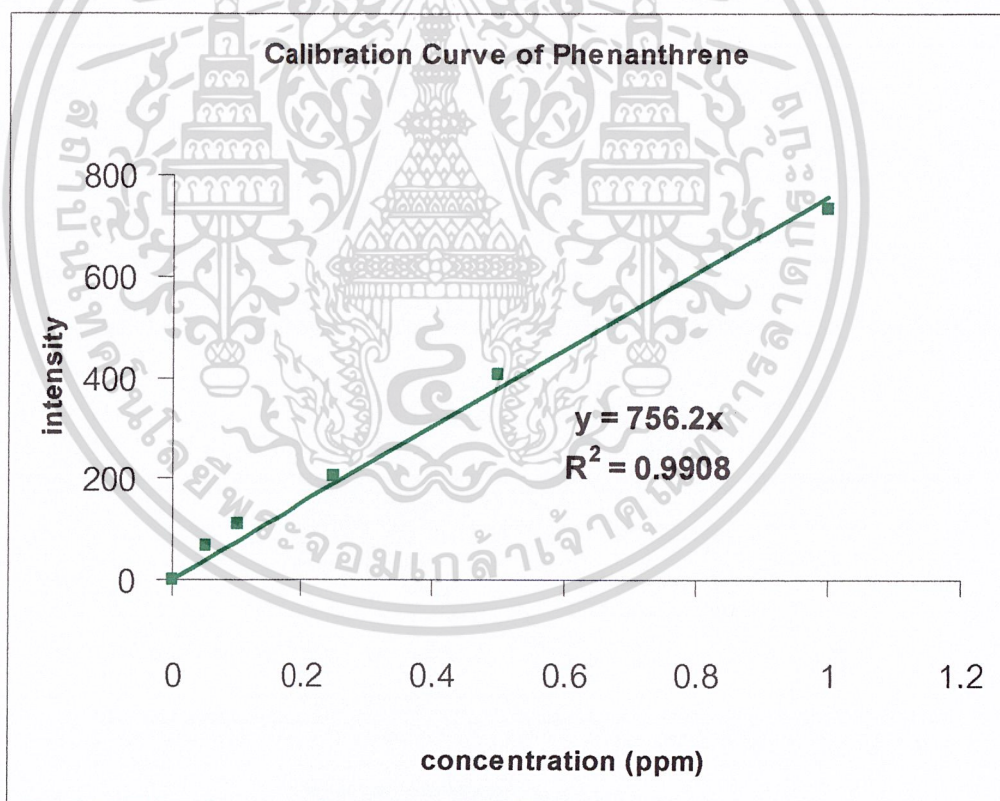
รูปที่ ค.1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Naphthalene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานของ Phenanthrene

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าความเข้มข้นของ Phenanthrene และค่าความเข้มแสง

ความเข้มข้นของ Phenanthrene(ppm)	ค่าความเข้มแสง
1.00	733.67
0.50	405.01
0.25	205.97
0.10	110.34
0.05	65.24



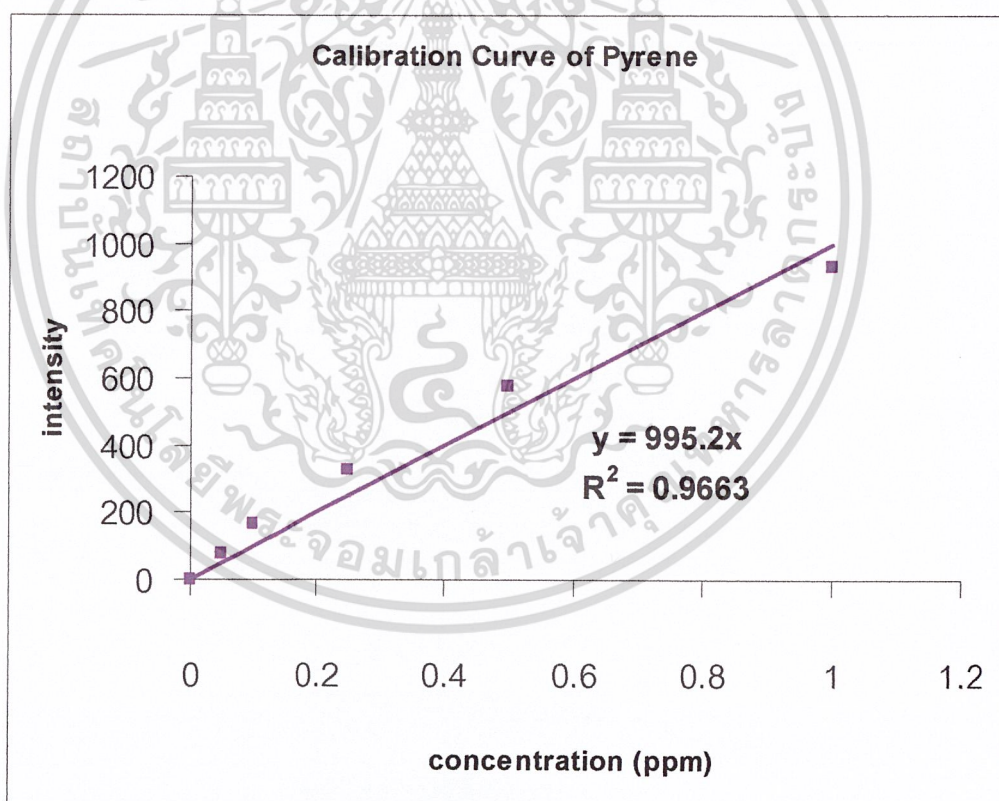
รูปที่ ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Phenanthrene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานของ Pyrene

ตารางที่ ค.3 แสดงค่าความเข้มข้นของ Pyrene และค่าความเข้มแสง

ความเข้มข้นของ Pyrene (ppm)	ค่าความเข้มแสง
1.00	929.91
0.50	574.35
0.25	325.47
0.10	164.25
0.05	75.24



รูปที่ ค.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Pyrene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้