



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
ปริญญา

.....
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

.....
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา

เรื่อง การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียด้วยถ่านรูปถ่านและตะกอนดิน

Adsorption of Formaldehyde in Wastewater by *Typha angustifolia* Linn. Carbon
and Soil Sediment

نامผู้วิจัย นางสาวสโรชา หนูยัง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(.....
รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(.....
รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)

ประธานสาขาวิชา

(.....
ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(.....
รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสีย ด้วยถ่านรูปถากและตะกอนดิน

Adsorption of Formaldehyde in Wastewater

by *Typha angustifolia* Linn. Carbon and Soil Sediment

โดย

นางสาวสโรชา หนูยัง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

สโรชา หนูยัง 2552: การดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยถ่านรูปถ่ายและตะกอนดิน
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.
89 หน้า

ฟอสฟอรัสที่เหลือหลังจากการดูดซับด้วยถ่านรูปถ่ายและตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ถูกตรวจวัดด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอสฟอรัส ได้แก่ พีเอช (3-9) ปริมาตรบัฟเฟอร์ (60-180 มิลลิลิตร/ลิตร) ความเร็วรอบการปั่นกววน (50-150 รอบ/นาที) ระยะเวลาปั่นกววน (10-120 นาที) ระยะเวลาสัมผัส (10-120 นาที) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (10-50 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณของตัวดูดซับ (10-60 กรัม/ลิตร) นอกจากนี้กระบวนการดูดซับของรูปถ่ายและตะกอนดินสอดคล้องกับสมการไอโซเทอรั่มของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ ตามลำดับ จากสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยวิธีแบบเบตซ์ในน้ำเสียจากระบบการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล ด้วยถ่านรูปถ่ายและตะกอนดิน พบว่าร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ 21.17 และ 16.40 ตามลำดับ สำหรับการทดลองโดยวิธีแบบต่อเนื่องด้วยถ่านรูปถ่ายโดยใช้อัตราการไหล 20, 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที พบว่าร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดในชั่วโมงแรกคือ 32.02, 18.85, 11.85 และ 4.85 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดมลสารอื่นๆ ได้แก่ ของแข็งแขวนลอยของแข็งที่ละลายในน้ำค่าการนำไฟฟ้า บีโอดีและซีโอดี

Sarocho Nooyoung 2009: Adsorption of Formaldehyde in Wastewater by *Typha angustifolia* Linn. Carbon and Soil Sediment. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 89 pages.

The remained formaldehyde after adsorptive extraction by *Typha Angustifolia* Linn Carbon and soil sediment from the TOC glycol company limited can be determined by spectrophotometry at 575 nm. The effects of adsorption conditions involving pH (3-9), volume of buffer (60-180 ml/L)] rate of shaking (50-150 rpm), shaking time (10-120 min.), contact time (10-120 min.), concentration of formaldehyde (10-50 mg/L) and amount of adsorbents (10-60 g/L) were reported. In addition, the adsorption process of *Typha angustifolia* Linn Carbon and soil sediment were conformed with Freundlich and Langmuir sorption models, respectively. The system has been applied to the adsorption of formaldehyde in wastewater from ethylene oxide and ethylene glycol process by using batch experiment. The results shown that the formaldehyde adsorption percentage were 21.17 and 16.40, respectively. From continuous experiment by *Angustifolia* Linn Carbon adsorbent using flow rate at 20, 40, 60 and 80 ml/min were found that the best formaldehyde treatment efficiency at first hour percentage were 32.02, 18.85, 11.85 and 4.85, respectively. Furthermore, the no efficiency to remove suspended solid dissolved solid conductivity BOD and COD.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดร.นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ และ รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์ กรรมการร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาวิจัยทดลอง รวมทั้งอุปการณ์ในการวิจัย บริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ผ่านทางโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ คุณภทรมน ไสกันธิกา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อบุญมา คุณแม่มลิวัลย์ หนูยัง ที่คอยดูแลอยู่เคียงข้างและให้กำลังใจลูกเสมอ พี่สาวคุณสุธิษา ทาศิลา คุณปริศนา และคุณศศิมา หนูยัง ที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณอัมพร รุ่งโรจน์ ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 31 ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการศึกษาวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สโรชา หนูยัง

ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	64
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	69
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด	55
2	การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ของถ่าน รูปถ่าน	56
3	การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ของตะกอน จากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด	56
4	คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลหลัง การดูดซับด้วยถ่านรูปถ่านและตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด โดยการ ทดลองแบบเบตซ์	59

ตารางผนวกที่

1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกับค่าพี เอช	70
2	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับค่าพี เอช	70
3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกับ ปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์	71
4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับ ปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์	71
5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกับ ความเร็วรอบการปั่นกว	72
6	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับ ความเร็วรอบการปั่นกว	72
7	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกับ ระยะเวลาปั่นกว	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับ ระยะเวลาปั่นกววน	73
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปฤาษีกับ ระยะเวลาสัมผัส	74
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับ ระยะเวลาสัมผัส	74
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปฤาษีกับความ เข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์	75
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์	75
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปฤาษีกับปริมาณ ถ่านรูปฤาษี	76
14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟอรั่มลดีไฮด์กับถ่านรูปฤาษี	76
15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับ ปริมาณตะกอนดิน	77
16 ไอโซเทอร์มการดูดซับของตะกอนดินจากบริษัท ที โอ ซี ไกลคอล จำกัด	77
17 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชทางสถิติโดยวิธี Duncan	78
18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณบัพเฟอร์ทางสถิติโดยวิธี Duncan	78
19 ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบการปั่นกววนทางสถิติโดยวิธี Duncan	79
20 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาสัมผัสทางสถิติโดยวิธี Duncan	79
21 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ทางสถิติโดยวิธี Duncan	80
22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวดูดซับทางสถิติโดยวิธี Duncan	80
23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวดูดซับทางสถิติโดยวิธี Duncan	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
24 ผลของประสิทธิภาพของถ่านรูปถาญีในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	82
25 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชด้วยถ่านรูปถาญีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	83
26 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำด้วยถ่านรูปถาญีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	84
27 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำด้วยถ่านรูปถาญีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	85
28 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยถ่านรูปถาญีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	86
29 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีด้วยถ่านรูปถาญีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	87
30 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีด้วยถ่านรูปถาญีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปฏิบัติการเปลี่ยนรูปของฟอร์มัดดีไฮด์	4
2 ฐูปถาณิ <i>Typha angustifolia</i> Linn. 1. ลักษณะต้น 2. ช่อดอก 3. ดอกตัวเมียที่เป็น หมัน 4. ดอกตัวเมียบปกติ	10
3 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	15
4 ถ่านฐูปถาณิแบบเกร็ด	27
5 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด	27
6 การเกิดปฏิกิริยาของฟอร์มัดดีไฮด์	29
7 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มัดดีไฮด์	29
8 การศึกษาการดูดซับแบบต่อเนื่อง	35
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของถ่านฐูปถาณิกับค่าพีเอช	37
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของตะกอนดินกับค่าพีเอช	38
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของถ่านฐูปถาณิกับปริมาตร สารละลายบัฟเฟอร์	39
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของตะกอนดินกับปริมาตร สารละลายบัฟเฟอร์	40
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของถ่านฐูปถาณิกับความเร็ว รอบการปั่นกววน	41
14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเร็ว รอบการปั่นกววน	42
15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของถ่านฐูปถาณิกับ ระยะเวลาปั่นกววน	43
16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของตะกอนดินกับระยะเวลา ปั่นกววน	44
17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัดดีไฮด์ของถ่านฐูปถาณิกับ ระยะเวลาสัมผัส	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับระยะเวลาสัมผัส	46
19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกัมกับความสัมพันธ์เริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์	47
20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์	48
21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกัมกับปริมาณถ่านรูปถ่านกัม	49
22 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของแกลเมียร์โดยใช้ถ่านรูปถ่านกัม	50
23 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของฟรุนดิชโดยใช้ถ่านรูปถ่านกัม	50
24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับปริมาณตะกอนดิน	52
25 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของแกลเมียร์โดยใช้ตะกอนดิน	53
26 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของฟรุนดิชโดยใช้ตะกอนดิน	53
27 ผลของประสิทธิภาพของถ่านรูปถ่านกัมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	58
28 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชด้วยถ่านรูปถ่านกัมแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	60
29 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำด้วยถ่านรูปถ่านกัมแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	61
30 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำด้วยถ่านรูปถ่านกัมแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	61
31 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยถ่านรูปถ่านกัมแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	62
32 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีด้วยถ่านรูปถ่านกัมแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	63
33 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีด้วยถ่านรูปถ่านกัมแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD	=	Biochemical oxygen demand
COC	=	Chemical oxygen demand
TSS	=	Total suspended solid
TDS	=	Total dissolved solid

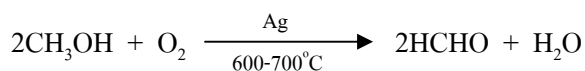
การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียด้วยถ่านรูปถากษีและตะกอนดิน

Adsorption of Formaldehyde in Wastewater

by *Typha angustifolia* Linn. Carbon and Soil Sediment

คำนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde หรือ methanal) HCHO จัดเป็นแอลดีไฮด์ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยที่สุด ในอุตสาหกรรมเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลกับแก๊สออกซิเจน ภายใต้อุณหภูมิสูง มีโลหะเงิน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



ฟอร์มาลดีไฮด์มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง (จุดเดือด -21°C) มีกลิ่นฉุน ละลายในน้ำได้ดีมากไม่สามารถเก็บอยู่ในสภาพแก๊สได้เนื่องจากมันจะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์ $(\text{CH}_2\text{O})_n$ จึงเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นร้อยละ 37-40 โดยปริมาตร เรียกสารละลายฟอร์มาลีน ใช้ฉีดศพเพื่อรักษาสภาพไม่ให้เน่าเปื่อย ใช้ดองพืชและสัตว์เพื่อการศึกษาทางชีววิทยาการแพทย์ ใช้ฆ่าเชื้อโรคและแมลง ใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์สำหรับผลิตสิ่งทอ ฉนวน พรม วัสดุที่ใช้แทนไม้และใช้เป็นตัวยาลายพลาสติก สารละลายฟอร์มาลีนมีพิษ โดยก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา จมูก ผิวหนัง ทำให้ปวดศีรษะและมึนงงได้ ถ้าให้สารละลายฟอร์มาลีนค่อยๆ ระเหยออกไปอย่างช้าๆ โดยการลดความดัน จะได้พอลิเมอร์สีขาวที่เรียกว่า พาราฟอร์มาลดีไฮด์ และจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อได้รับความร้อน จึงสะดวกในการเก็บและขนส่งฟอร์มาลดีไฮด์ สารละลายฟอร์มาลีนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์แล้วทำให้เกิดการระเหยอย่างช้าๆ จะได้ผลึกที่เรียกว่า hexamethylenetetramine $((\text{CH}_2)_6\text{N})$ สารนี้ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อในท่อปัสสาวะอักเสบ ในทางการค้าจะใช้ชื่อว่า Urotropin การปล่อยน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำและพืชน้ำ หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำที่มนุษย์ใช้อุปโภคบริโภค จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนจึงเป็นเรื่องสำคัญ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีการดูดซับ โดยใช้ถ่านรูปถากษีเป็นตัวดูดซับ เนื่องจากถ่านรูปถากษีเป็นวัชพืชน้ำ พบได้ตามแหล่งน้ำทั่วไป ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อสถานะแวดล้อมและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ เช่น กีดขวางทางไหลของน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้น

เงิน นอกจากนั้นยังเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ร้าย เมื่อแหล่งน้ำมีปริมาณดินรูปถาปีหนาแน่นมากทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของสัตว์น้ำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดโดยนำวัชพืชน้ำมาใช้ประโยชน์ และเป็นการลดต้นทุนในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์อีกด้วย ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปสู่การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนโดยใช้ถ่านรูปถาปี ในการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์

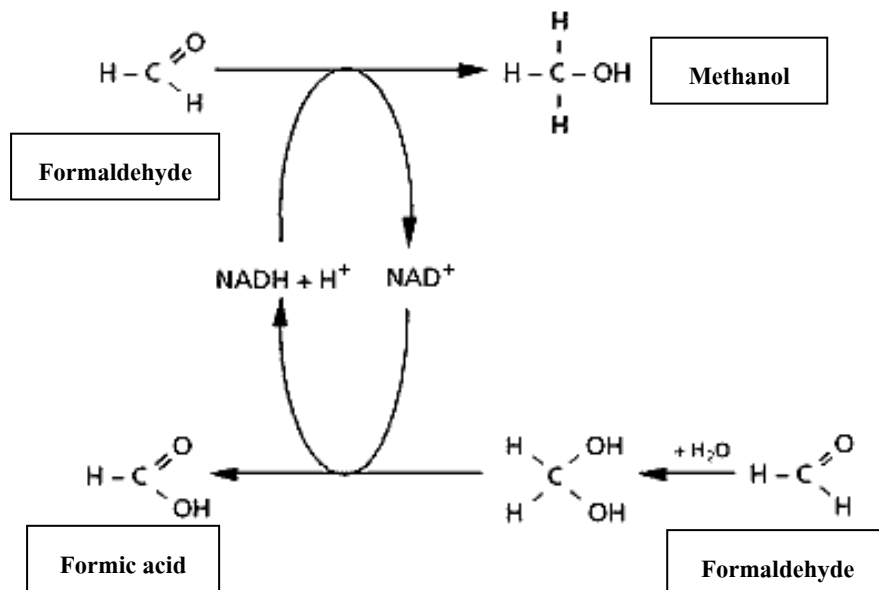
1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ของถ่านรูปถั่ว
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ของถ่านรูปถั่ว
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ของตะกอนดินจากบริษัท ทีไอซี ไกลคอล จำกัด
4. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ของตะกอนดินจากบริษัท ทีไอซี ไกลคอล จำกัด

การตรวจเอกสาร

1. ฟอर्मัลดีไฮด์

1.1 คุณสมบัติสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ หรือเรียกทั่วไปว่า “ฟอर्मาลิน” หมายถึง สารละลายที่ประกอบด้วยแก๊สฟอर्मัลดีไฮด์ประมาณ 37-50% โดยปริมาตร และมีเมทานอล ปนอยู่ด้วยประมาณ 10-15% ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ลักษณะทั่วไปของฟอर्मาลินเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว สูตรโครงสร้าง HCHO มวลโมเลกุล 30.03 g/mol การระเบิด lower explosive limit 7.0% upper explosive limit 73.0% อุณหภูมิที่ติดไฟเอง 806°F ความหนาแน่น 1.0 กรัม/ลูกบาศก์เมตร จุดเดือด -3 °F จุดวาบไฟ สูตร 37.0% (methanol free) 185 °F สูตร 15% (methanol free) 122 °F ชื่ออื่นๆ ฟอर्मิก อัลดีไฮด์ เมทานอล ออกโซมีเทน

1.2 ปฏิกริยาการเปลี่ยนรูปของฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากโรงงานพลาสติกเรซินกำจัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ ฟอर्मัลดีไฮด์จะถูกย่อยด้วยแบคทีเรีย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทานอลและ กรดฟอर्मิก ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ภาพที่ 1 ปฏิกริยาการเปลี่ยนรูปของฟอर्मัลดีไฮด์

ที่มา: Chen and Shieh (1985)

1.3 การผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาการออกซิเดชันของเมทานอล (CH_3OH) กับออกซิเจน (O_2) ในอากาศ หรือปฏิกิริยาการออกซิเดชันของมีเทน (CH_4)

1.4 การใช้

-ด้านอุตสาหกรรม ใช้ในการผลิตเรซินและพลาสติก เช่น urea-formaldehyde, melamine-formaldehyde, phenol-formaldehyde และอื่นๆ การสังเคราะห์ urotropine, propagul alcohol ยา และวัตถุระเบิดต่างๆ เช่น สีคราม สีแดง สีอะคริลิก รวมถึงการฟอกหนัง และสีตกแต่งอาหาร การย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีและสีย้อมติดแน่นขึ้น การฟอกสีและการพิมพ์ เช่น การเตรียม rongalite, Heraldite และ Decroline อุตสาหกรรมกระดาษเพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้ การผสมโลหะเพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อผลิตผลที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์ ใช้ในกระบวนการล้างฟิล์มเพื่อให้เก็บฟิล์มรักษาได้นาน

-ด้านการเกษตร ใช้สำหรับการทำลายและป้องกันจุลินทรีย์และต้นไม้ที่เป็นโรคป้องกันผลิตผลเกษตรจากการเสียหายระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา ฆ่าเชื้อโรคในดิน ทำความสะอาดสถานที่เก็บอุปกรณ์ เช่น ลังไม้ เป็นส่วนผสมของสารละลายที่ใช้เคลือบผัก ผลไม้ จำพวกส้มระหว่างการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการเน่าเสีย

-ด้านการแพทย์ ใช้ในการเก็บรักษา anatomical specimens, ดอกศพ ทำความสะอาดห้องผู้ป่วย เครื่องมือเครื่องใช้ในการเตรียมและสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ยา วัคซีน

-เครื่องสำอาง ใช้ในเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เหงื่อออกมาก ใช้ในยาสีฟัน ยาบ้วนปาก สบู่ ครีมโกนหนวด เพื่อฆ่าเชื้อ และใช้น้ำยาดับกลิ่นตัวและอื่นๆ

1.5 ฟอร์มัลดีไฮด์ เข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมการผลิตหรือใช้ฟอร์มาลิน ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล ฟอร์มัลดีไฮด์เข้าสู่บรรยากาศในลักษณะของสารมลพิษทุติยภูมิจากไอเสียรถยนต์และจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีที่มีความสลับซับซ้อนซึ่งถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้นโดยรังสีอัลตราไวโอเลต แหล่งมลพิษของฟอร์มัลดีไฮด์อีกแหล่งหนึ่งได้แก่ น้ำทิ้งจากกระบวนการหมักสำหรับปัญหาหมักพิษจากฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นกับน้ำธรรมชาติ ฟอร์มัลดีไฮด์อาจจะถูกชะล้างออกมาเป็นปริมาณมาก เช่น 4 ถึง 64.7 มิลลิกรัม/ลิตร จากดินในชั้นน้ำที่มีฟีนอล ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) เป็นองค์ประกอบ

1.6 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม พอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นสารพิษปานกลาง มีค่าความเป็นพิษ LD_{50} ต่อหนูขาว (rat) ทางกระเพาะอาหารเท่ากับ 385 ± 28.72 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับปริมาณที่ทำให้คนตาย (lethal dose) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-5.25 กรัม/กิโลกรัม

อาการที่เกิดจากความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันของพอร์มัลดีไฮด์ ที่มีต่อสัตว์ทดลองโดยการฉีดเข้าในกระเพาะอาหาร พบว่าหลังจากที่สัตว์ทดลองได้รับสารเข้าไปจะแสดงอาการคันตระหนก ตามด้วยอาการง่วงซึม อ่อนเพลีย หายใจขัดและจะตายภายใน 2-3 ชั่วโมง แรกที่ได้รับสาร ส่วนสัตว์ทดลองที่รอดชีวิตพบว่ามีอาการเยื่อชา ง่วงเหงา และเบื่ออาหาร

ทดลองหนูอายุ 2 สัปดาห์ดื่มน้ำที่มีพอร์มัลดีไฮด์ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าหนูที่ได้รับพอร์มัลดีไฮด์ 1.5 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนัก พฤติกรรม และการแสดงออกภายนอกไม่แตกต่างจากหนูกลุ่มควบคุม แต่หนูที่ได้รับพอร์มัลดีไฮด์ 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของตับและม้าม

ปริมาณพอร์มัลดีไฮด์ที่มนุษย์ได้กลืน เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่วนปริมาณในน้ำที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ เท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร

จากการศึกษาผู้ดื่มฟอร์มาลินร้อยละ 5 จำนวน 100 มิลลิลิตร พบว่าหลังจากดื่มฟอร์มาลินเข้าไปจะเกิดอาเจียน จากนั้นเกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหารตอนบนและเกิดอาการคลื่นเหียน ผู้ป่วยจะเสียชีวิตภายใน 40 วัน ด้วยอาการเลือดออกในกระเพาะอาหารและลำไส้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ผลการตรวจสุขภาพคนทำงาน ในโรงงานไม้ดัดกาวไม้อัดที่ใช้เรซินหรือกาวชนิด cabamide formaldehyde จำนวน 278 คน พบว่าคนงาน 129 คน เป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเกิดจากการหายใจเอาไอของพอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้นประมาณ 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรเข้าไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

การตรวจสุขภาพของคนงานหญิงอายุ 25-40 ปีที่ทำงานประมาณ 5-20 ปี ในโรงงานย้อมที่ใช้ฟอร์มาลิน ซึ่งมีฟอร์มาลินในบรรยากาศประมาณ 5-78 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรพบว่ามีอาการปวดหัว ทรงตัวลำบาก ระคายเคืองง่าย และน้ำตาไหลเป็นประจำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1.7 ความเป็นพิษเฉพาะด้าน

- การก่อกลายพันธุ์ เป็นที่ทราบกันว่าฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์หรือการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมตัวหนึ่งในปัจจุบัน การทดลองในแมลงวันทองแบบทีเรียและพืชแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์และการกลายพันธุ์ การที่ฟอร์มาลดีไฮด์มีผลต่อระบบพันธุกรรมของเซลล์ เกี่ยวข้องกับผลกระทบของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์ และนิวคลีโอไทด์ และ ดีโพรนิเซชัน ของ DNA

- การทำให้เกิดพิษ จากการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับไคเมททิล ไดออกเซน ต่อคนงานชาย-หญิง จำนวน 8 คน อายุระหว่าง 19-36 ปี ซึ่งได้รับสารทั้ง 2 ชนิดระหว่างการทำงานพบว่ามีอาการอ่อนเพลีย ปวดหัว วิงเวียน อาเจียน ปวดท้อง และหลังจากนั้นเล็กน้อยจะเกิดอาการระคายเคืองและระบบทางเดินหายใจ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

การทดลองให้หนูหายใจในฟีนอล และฟอร์มาลดีไฮด์แยกจากกัน โดยแต่ละชนิดมีความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมงทุกวัน และให้หายใจเอาสารทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน โดยแต่ละชนิดมีความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าหนูที่ได้รับสารแต่ละชนิดจะแสดงการได้รับพิษมากกว่าหนูที่ได้รับสาร 2 ชนิดรวมกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

การทดลองให้สารฟอร์มาลดีไฮด์แก่หนูตัวผู้โดยการดื่มน้ำและการหายใจทางอากาศพร้อมกัน ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ ความเข้มข้นในน้ำ 0.1 และ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร สัปดาห์ละ 5 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน ความเข้มข้นในอากาศ 0.5 และ 0.025 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ให้อย่างต่อเนื่องวันละ 4 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรดนิวคลีอิกลดลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

- การทำให้ไวต่อสิ่งกระตุ้น ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ทำให้เกิดอาการแพ้ หนูตะเภาหายใจเอาฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปจะเกิดอาการแพ้ ความรุนแรงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ได้รับ และ หนูจะแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ที่ความเข้มข้น 0.035 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร คนงานที่ทำงานเกี่ยวกับฟอร์มาลดีไฮด์ ยืนยันว่า ฟอร์มาลดีไฮด์ ทำให้เกิดอาการแพ้จากการตรวจสอบคนงานในโรงงานผลิต phenol – formaldehyde resins ซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศเท่ากับระดับความสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (MAC level) คนงานมีอายุระหว่าง 21-45 ปี ร้อยละ 5 เป็นคนงาน

ที่ทำงานมาแล้ว 4-5 ปี ร้อยละ 50 ทำงานเกิน 5 ปี ผลการตรวจพบว่าคนงานมีอาการของโรคแพ้ชนิดต่างๆ เช่น ลมพิษ โรคจมูก หืดหลอดลม ถ้าใส่ใหญ่อกเสบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

- ลูกวิรูป การตรวจสอบการตั้งครรภ์ของหนูขาว albino rats ที่ได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ ความเข้มข้น 1 และ 0.012 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 10 วัน ก่อนการผสมพันธุ์และตลอดระยะการตั้งครรภ์ พบว่า ฟอร์มาลดีไฮด์ มีผลต่อการเจริญของตัวอ่อน และลูกหนูที่เกิดจากแม่ที่ได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร มีการลดขนาดของ เนื้อเยื่อลิมโฟยด์ เกิดการลดปริมาณ ไกลโคเจน ในไมโอคาเดียม เกิดการสะสมของ Schick-positive substances ในไต เกิดการคงอยู่ของเหล็กใน Kupffer cells ของตับ ผลการตรวจสอบคนงานหญิงอายุ 18-30 ปี ที่ตั้งครรภ์ในโรงงานทอผ้าทำงานเกี่ยวกับฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นเวลามากกว่า 3 ปี จะมีการแท้ง และคลอดก่อนกำหนด มากกว่า ปกติ เด็กที่เกิดมีน้ำหนักและความสูงน้อยกว่าปกติ น้ำหนักตัวเด็กลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาการทำงาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

- การระคายเคืองขึ้นคัน ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างเห็นได้ชัดในการทดลองให้หนู mongrel albino rats จำนวน 20 ตัว โดยการหายใจไอของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.7- 31.4 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร วันละ 2 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 5 วัน เป็นเวลา 70 วัน จะแสดงอาการการเปลี่ยนแปลงสภาพของทางเดินหายใจ ตอนบน น้ำเมือก มีแนวโน้มจะเกิดการจับมากกว่าปกติ จากการศึกษาคนงานที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานไม้ โรงงานผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ หรือโรงงานที่เกี่ยวข้องที่มีอายุ 40 ปี จำนวน 278 คน เป็นชายจำนวน 102 คนและหญิงจำนวน 176 คน เป็นคนงานที่ทำงานน้อยกว่า 5 ปี ร้อยละ 71.2 และคนงานที่ทำงาน 6-10 ปี ร้อยละ 26.6 เป็นคนงานที่ทำงาน 10 ปี ร้อยละ 2 ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพ (pathological change) ของทางเดินหายใจตอนบน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1.8 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ในสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นที่มีผลทำให้ปลาคาร์ฟตายหมด (LC_{100}) เท่ากับ 0.2 กรัม/ลิตร และตายร้อยละ 50 (LC_{50}) เท่ากับ 0.1 กรัม/ลิตร ความเข้มข้นสูงสุดที่ปลาทนได้ เท่ากับ 0.06 กรัม/ลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งความเข้มข้นนี้ก่อให้เกิดการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงสูงสุด ไม่เกินร้อยละ 10

ฟอร์มาลดีไฮด์มีผลต่อแบคทีเรียอย่างรุนแรง ดินบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์มีปริมาณแบคทีเรียน้อยกว่าบริเวณอื่น กล่าวคือดินในแหล่งอุตสาหกรรมตรวจพบแบคทีเรีย 28,000 ถึง 40,000 ตัว/กรัม ในดินไม่ได้รับการปนเปื้อน จะมีแบคทีเรีย 900,000 ตัว/กรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำโสโครก ความเข้มข้นเกินกว่า 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร จะยับยั้งการเจริญเติบโตของระบบการหายใจ ของ microflora

ถ้าฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำมีความเข้มข้น เกินกว่า 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร กระบวนการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายทางชีวภาพจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1.9 แอลดีไฮด์ที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นน้ำมันหอมระเหยและสารที่มีกลิ่นหอมในผลไม้หรือพืชต่างๆ จึงนำมาใช้เป็นสารปรุงแต่งรสและกลิ่นของอาหาร เช่น ชินนามาลดีไฮด์ พบในอบเชย เบนซาลดีไฮด์พบในเมล็ดอัลมอนด์ วนิลาพบในเมล็ดวานิลาและใช้เป็นสารให้กลิ่นวานิลา

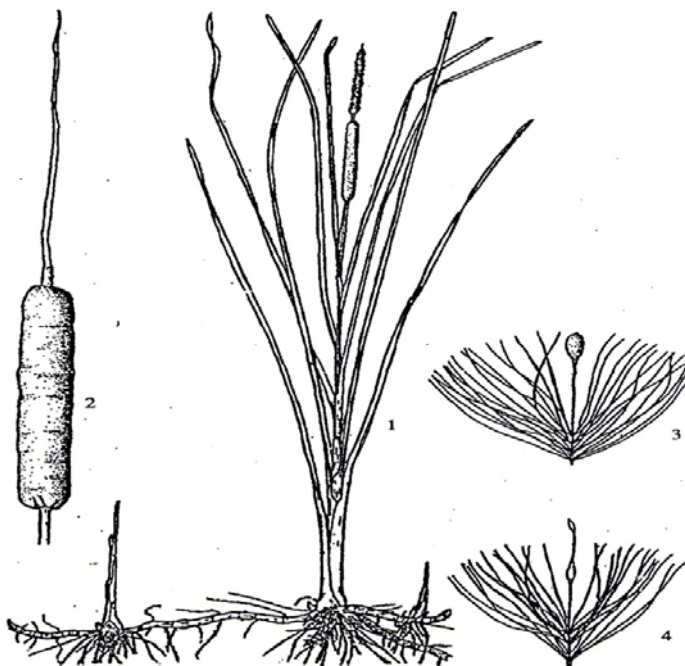
1.10 มาตรการทางกฎหมาย

มาตรฐานน้ำประปาประเทศไทย กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียต กำหนดมาตรฐานน้ำ คือ ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มและน้ำใช้เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีในแหล่งน้ำที่ใช้ในการประมงเท่ากับ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2. ต้นรูปถ่าย

รูปถ่าย เป็นวัชพืชชนิดหนึ่งที่ทำให้ความเสียหายต่อสถานะแวดล้อมและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ เช่น กีดขวางทางไหลของน้ำทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ความจุน้ำลดลง ทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็น หรือน้ำที่เก็บกักไว้ใช้มีสีผิดปกติเป็นอุปสรรคต่อการใช้น้ำและการพักผ่อนหย่อนใจ การควบคุมและกำจัดวัชพืชน้ำทำได้หลายวิธี เช่น ตัด เผา ควบคุมและใช้สารเคมี อย่างไรก็ตามการควบคุมและกำจัดด้วยวิธีการดังกล่าวไม่สามารถทำให้ต้นรูปถ่ายหมดไปจากพื้นที่ได้ เนื่องจากกำจัดได้เฉพาะส่วนที่อยู่เหนือน้ำเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความพยายามในการนำ รูปถ่าย

มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำเครื่องจักรสาน บำบัดน้ำเสีย ใช้เป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยหมัก เป็นต้น มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Typha angustifolia* Linn. ชื่อเรียกสามัญ คือ Narrow-leaved cattail, Lesser reedmace, Bulrush, Cattail, Flag, Reedmace tule, Elephant-Grass และ Indian Leedmace และ ชื่อท้องถิ่น คือ ธูปฤาษี (กรุงเทพฯ), กกช้าง (กลาง), หญ้าสลาบลวง (เหนือ), เพ็ญ, หญ้าเพ็ญ, ปรีอ, หญ้าปรีอ และหญ้ากกช้าง (ดวงพร และรังสิต, 2544; อำพล, 2544)



ภาพที่ 2 ธูปฤาษี *Typha angustifolia* Linn. 1. ลักษณะต้น 2. ช่อดอก 3. ดอกตัวเมียที่เป็นหมัน 4. ดอกตัวเมียปกติ

ที่มา: สุชาดา (2549)

ธูปฤาษีเป็นวัชพืชนิดหนึ่งมีการจัดอนุกรมวิธานดังนี้ (Kartesz, 2002)

Division Magnoliophyta

Class Liliopsida

Subclass Commelinidae

Order Typhales

Family Typhaceae

Genus *Typha*

Species *angustifolia*

พืชในสกุล *Typha* มีอยู่ทั่วโลกประมาณ 15 ชนิด (สุชาดา, 2542) ได้แก่ *Typha angustifolia*, *Typha angustata*, *Typha anstralis*, *Typha capensis*, *Typha crientalis*, *Typha davidians*, *Typha domingensis*, *Typha elephantine*, *Typha glauca*, *Typha javanica*, *Typha latifolia*, *Typha laxmannii*, *Typha minima*, *Typha muelleri*, *Typha orientalis*

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์รูปถ่ายเป็นพืชอวบน้ำอายุหลายปี ขึ้นในที่ลุ่มมีน้ำขัง เจริญตั้งตรงเป็นกอสูง ประมาณ 1-2 เมตร มีลำต้นใต้ดินเรียกว่า เหง้า ซึ่งสามารถแตกเป็นกอใหม่ได้ ใบเป็นใบเดี่ยวแบนเรียบเรียวยาวแหลม ความกว้างของใบประมาณ 5-8 มิลลิเมตร ยาวมากกว่า 1 เมตร กลางใบมีลักษณะเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นเหมือนฟองน้ำ โคนใบแผ่เป็นกาบประกบกัน กาบใบด้านในมีเมือกเหนียว ดอกออกเป็นช่อแบบสไปค์ ช่อดอกกลมคล้ายรูป ดอกตัวผู้กับดอกตัวเมียจะแยกกันอยู่คนละส่วนในช่อดอกเดียวกัน คือส่วนที่เป็นดอกตัวผู้อยู่ด้านบนของช่อดอก ดอกย่อยอยู่กันหลวมๆ รอบก้านช่อดอก มีความยาว 15-30 เซนติเมตร ส่วนล่างเป็นดอกตัวเมีย ดอกย่อยเรียงตัวอัดกันแน่น ความยาวช่อดอก 7-28 เซนติเมตร เมล็ดขนาดเล็กกว้าง 0.2-0.3 มิลลิเมตร ยาว 0.5-1.0 มิลลิเมตร เมล็ดมีขนสั้นละเอียด สีขาวคล้ายไหม ปกคลุม ปลายทั้งสองด้านเรียวยาวโดยปลายด้านหนึ่งมีหางหรือเส้นยาวยื่นออกมาจากเมล็ด มีลักษณะเป็นปุยสีขาวคล้ายปุยุ่น (สุรัชย์, 2538; ดวงพร และรังสิต, 2544; อำพล, 2545; สมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย, 2545)

นิเวศวิทยาและการแพร่กระจายรูปถ่าย จัดเป็นวัชพืชในกลุ่มวัชพืชชายตลิ่ง มีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปและอเมริกา แพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และยังพบได้ในอเมริกาเหนือและชายฝั่งแปซิฟิก สำหรับประเทศไทยนั้นพบขึ้นทั่วทุกภาคของประเทศ เช่น ในบริเวณหนองน้ำ บึง นาข้าว ร่องน้ำข้างถนน และอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ต้นรูปถ่ายที่อยู่ในเขตที่ลุ่มจะมีการเจริญเติบโตได้ตลอดทั้งปี ขยายพันธุ์โดยเหง้า และเมล็ด ออกดอกตั้งแต่เดือนสิงหาคม เป็นต้นไปช่อดอกมีลักษณะคล้ายกันรูปขนาดใหญ่สีน้ำตาล (อำไพ, 2538 และอำพล, 2545) มีเมล็ดประมาณ 20,000-700,000 เมล็ด (Grace and Harrison, 1986) เมื่อเมล็ดแก่จัดจะเริ่มแตกเป็นปุยสีขาวคล้ายปุยุ่นและปลิวกระจายทั่วไป ในสภาพที่มีแสงจัดเมล็ดสามารถงอกและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนมีจำนวนหนาแน่นทำให้ลดปริมาณแสงที่ส่องลงมาด้านล่าง เป็นการขัดขวางการเจริญของพืชชนิดอื่น (Grace and Wetzel, 1982) นอกจากนั้นยังสามารถเจริญเติบโตในสภาพดินและน้ำที่มีความเค็มสูงได้ (Wilcox, 1986 ; Penno *et al.*, 1999)

2.1 การใช้ประโยชน์

บรรจง และเอนก (2537) ศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำร่วมกับเครื่องเติมอากาศตามโครงการแก้ไขน้ำเสียอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยปลูกพืชรูปฤาษีเต็มพื้นที่คลองระบายน้ำระยะทางยาว 120 เมตร เป็นเวลา 3 เดือน บริเวณหนองสนม จังหวัดสกลนคร พบว่าดัชนีชี้วัดน้ำเสีย ได้แก่ ค่าบีโอดี ซีโอดี ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ไนโตรเจน และสารแขวนลอย ลดลงร้อยละ 39, 31, 35, 25 และ 68 ตามลำดับ

สุภาพร และเมธี (2537) พบว่า ฤาษีมีปริมาณน้ำหนักแห้งต่อไร่ประมาณ 1.7-2.4 ตันต่อไร่ สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงทดแทนได้ และมีองค์ประกอบทางเคมี คือ มีปริมาณธาตุไนโตรเจนร้อยละ 2.33 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.51 และโพแทสเซียมร้อยละ 2.35 เมื่อนำมาทำปุ๋ยหมัก จะทำให้มีปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักสูง

อำพล (2544) รายงานว่าใบอ่อนใช้เป็นอาหารวัว ควาย ช้าง ม้า ใบแก่ใช้มัดเป็นตับมุงหลังคา ชัดเบา หรือทำเป็นเส้นใยหยาบๆ ทอเป็นเชือก เสื่อ กระเป๋า สานตระกร้า และเครื่องใช้อื่นๆ ลำต้นได้ดินใช้ทำเป้งได้ คุณสมบัติคล้ายแป้งข้าวโพดได้เป้งประมาณไร่ละ 1,000 กิโลกรัม แป้งฤาษีใช้บริโภค และทำเอธิลแอลกอฮอล์ได้

2.2 ผลเสียของฤาษี

อำพร (2539) รายงานว่าฤาษีเป็นวัชพืชที่ทำความเสียหายร้ายแรงต่อระบบชลประทานในประเทศไทย โดยทำให้เกิดความเสียหายต่อสถานะแวดล้อมและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ เช่น กีดขวางทางไหลของน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ความจุน้ำลดลงทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นหรือน้ำที่เก็บกักไว้ใช้มีสีผิดปกติ เป็นอุปสรรคต่อการใช้น้ำ และการพักผ่อนหย่อนใจ นอกจากนี้ยังเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ร้าย เช่น งู และยุงซึ่งเป็นพาหะนำโรคมาลูคน และยังส่งผลต่อการลดจำนวนของสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้นฤาษีจะขึ้นหนาแน่นมากทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจ

Kasetsinsombat *et al.* (2001) รายงานว่าละอองเรณูของฤาษีเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งปอด โรคหืด และเยื่อเมือกในช่องโพรงจมูกอักเสบ โดยทดลองให้สารสกัดจากละอองเรณู ของฤาษี กก หญ้าแพรก Careless weed และหญ้าน้ำ ที่ความเข้มข้น 1,000 พีเอ็มยู/มิลลิลิตร

แก่คนไข้ พบว่าสารสกัดจากละอองเรณูของรูปฤาษีมีผลทำให้เกิดโรคมุมิแพ้กับคนไข้ 68.42 น้อยกว่าสารสกัดจากพืชอีก 4 ชนิด ที่ให้ผลในการทำให้เกิดโรคมุมิแพ้ร้อยละ 92.83, 90.20, 83.62 และ 70.95 ตามลำดับ

3. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาใส่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทที่สำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย (จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัว

ดูดซับ) เทียบกับโมเลกุลอิสระส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และโมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับ จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมี การย่อยสลายด้วยแสง หรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลชนิดเดียวกัน แต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

3.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

3.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

3.1.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

3.2 การเคลื่อนย้ายโมเลกุล

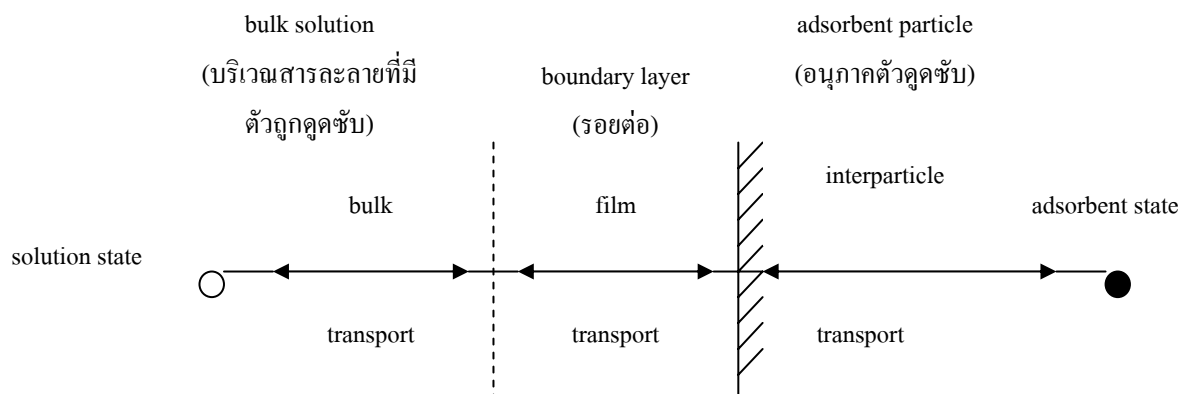
อัตราการดูดติดผิวมีความสำคัญมากโดยที่อัตราการดูดติดผิวอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดติดผิวจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่เกิดช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนในการจำกัดอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล โดยแบ่งกลไกที่สำคัญในการดูดติดผิวได้ 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้ (Eckenfelder, 1981)

3.2.1 การเคลื่อนที่ของของเหลวทั้งก้อน (bulk solution transport) สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนที่จากสารละลายสู่ด้านนอกของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิว ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่โดยการแพร่ และเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นได้เร็วที่สุด

3.2.2 การเคลื่อนที่บริเวณฟิล์มใกล้ผิวสารดูดติดผิว (film diffusion transport) โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะแพร่ผ่านชั้นน้ำ (hydrodynamic boundary layer) ที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิว เมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านสารดูดติดผิว โดยระยะทางในการเคลื่อนที่และเวลาที่เกิดขึ้นของชั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ถ้าอัตราการไหลสูงจะส่งผลให้ระยะทางสั้นลง ชั้นตอนนี้จัดเป็นชั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวชั้นตอนหนึ่ง

3.2.3 การกระจายภายในโพรงของสารดูดติดผิว (pore transport) หลังจากการเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำแล้ว สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนที่ผ่านช่องที่อยู่ภายในสารดูดติดผิวไปสู่บริเวณที่จะเกิดการดูดซับ การเคลื่อนที่แบบนี้จะเคลื่อนที่ได้ช้าทำให้จัดเป็นชั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวเช่นเดียวกัน

3.2.4 การเกาะติดทางกายภาพ (adsorption) หลังจากมีการเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่จะมีการดูดซับเกิดขึ้น และถูกดูดติดผิวทางกายภาพ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ได้ค่อนข้างเร็ว



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

สำหรับขั้นตอนการดูดติดผิวที่เกิดขึ้นที่ช้าที่สุดเรียกว่า rate limiting step ซึ่งควบคุมอัตราการกำจัดในถังปฏิกรณ์ที่มีความปั่นป่วนสูง ในขั้นตอน film diffusion transport และ pore transport จะควบคุมอัตราการกำจัด โดยขั้นตอน film diffusion transport จะควบคุมในขั้นต้น หลังจากนั้นเมื่อมีการสะสมของสารถูกดูดติดผิวในช่องภายในสารดูดติดผิวขั้นตอน Pore transport จะควบคุมอัตราการกำจัด

3.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (physical force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบ

3.3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal force) แรงแวนเดอร์วาลส์ คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โคเวเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุลทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้วและโมเลกุลไม่มีขั้ว ต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์-วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

1) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ซึ่งเรียกว่าแรงลอนดอน (London force) หรือแรงแผ่กระจาย (dispersion force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่ตลอดเวลาในขณะใดขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก หรือกล่าวได้ว่า ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราวขึ้นมา ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียง ถ้าโมเลกุลมีขั้วหันขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (induced dipole-induced dipole attraction)

แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้วรูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย เป็นต้นว่า ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย

2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (dipole-induced dipole attraction)

3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน (dipole-dipole attraction)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวก จึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนักเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน (Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ $\text{Cl}-\text{Cl}$ ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูล/โมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับคือ เกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (desorption) อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

3.3.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible process) จึงไม่เกิดการคายซ้ำ

3.4 รูปแบบของการดูดซับ

3.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption or physical adsorption or van der waals adsorption) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุล ตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

3.4.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้น จากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรี/โมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 15-50 กิโลแคลอรี/โมล และยังพบว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของกระบวนการดูดซับทางเคมีมีค่ามากกว่าทางกายภาพ ด้วยเหตุผลนี้ กระบวนการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าทางเคมี

3.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

3.5.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุนของตัวดูดซับ พบว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรูพรุน เมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิด

ได้ดีเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่ แต่ปรากรูพรุนมีขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่ม

3.5.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ

ความสามารถในการละลายน้ำของโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีผลต่อการดูดซับ พบว่าแนวโน้มของการดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับจะลดลงเมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับละลายน้ำได้ดี เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลของน้ำ เพื่อให้โมเลกุลตัวถูกดูดซับหลุดออกจากน้ำไปเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง จึงมีแนวโน้มจะถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับมากขึ้น

3.5.3 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (powder activated carbon) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (granular activated carbon)

3.5.4 ขนาดและลักษณะของตัวถูกดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอลิเมอร์ (พอลิเมอร์เข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

3.5.5 อัตราเร็วการปั่นกว

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่การปั่นกวของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกวต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในตรงกันข้าม ถ้าการปั่นกวสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

3.5.6 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรด ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น และเมื่อสารละลายมี pH เพิ่มขึ้นมีผลทำให้มี OH^- บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น และสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากขึ้น แต่ถ้าสารละลายมี pH สูงกว่า 9 จะทำให้โลหะไอออนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ และโลหะไอออนจะถูกดูดซับได้น้อยลง

3.5.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

3.5.8 เวลาสัมผัส

เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

สมการการดูดซับของฟรอนิช ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่า พื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด)

สมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (monogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัว ถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด)

3.8 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

3.8.1 สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอคติเวตเต็ดซิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

3.8.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500-1,400 ตารางเมตร/กรัม เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ และมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรส ใช้ในการกำจัดตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

3.8.3 สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน, resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

3.8.4 วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จีเลื้อย ไคโตซาน (chitosan) กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) เปลือกถั่ว เป็นต้น

3.8.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

4. ตะกอนน้ำเสีย

ตะกอนน้ำเสีย เป็นกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียโดยกากตะกอนจะมีสมบัติ และลักษณะที่แตกต่างออกไปตามขั้นตอน วิธีการและชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียนั้นๆ ซึ่ง กากตะกอนที่ได้มี 2 ประเภท คือ กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์และกากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เช่น ในระบบตะกอนเร่ง บ่อผันสภาพ เป็นต้น และกากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น ปริมาณและ ส่วนประกอบของกากตะกอนที่เกิดขึ้น จะแปรเปลี่ยนตามขนาดของกิจกรรมหลักของแต่ละชุมชน รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำเสียชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ รวมทั้ง ระดับของการบำบัดน้ำเสียด้วย โดยกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีลักษณะกึ่งแข็งถึงเหลว สีน้ำตาลถึงดำ ซึ่งยังอยู่ในรูปที่ไม่เสถียร ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้เป็น ระยะเวลาหนึ่งอาจเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีแก๊สและความร้อนออกมา เนื่องจากกระบวนการหมัก ของจุลินทรีย์ ซึ่ง อรวรรณ (2532) ได้คำนวณการเกิดกากตะกอนอย่างคร่าวๆ พบว่าโดยเฉลี่ยแล้ว 1 คน สามารถทำให้เกิดตะกอน 60 กรัมกากตะกอนแห้งต่อวัน ดังนั้นในเทศบาลเมืองเพชรบุรีซึ่งมี ประชากรประมาณ 44,769 คน (ปี พ.ศ. 2550) (เทศบาลเมืองเพชรบุรี, 2540ก) น่าจะเกิดตะกอน ประมาณ 2,687 กิโลกรัม กากตะกอนแห้งต่อวัน หรือประมาณ 967,320 กิโลกรัมกากตะกอนแห้ง ต่อปี นับว่าเป็นปริมาณที่มากและถ้าหากประชากรมีจำนวนมากขึ้นแนวโน้มที่จำนวนกากตะกอน จะเกิดขึ้นก็มากด้วย ซึ่งต่อไปอาจทำให้เกิดปัญหาการจัดการขจัดกากตะกอนตามมา

สุจินดา (2542) รายงานว่ากรุงเทพมหานครมีสลัดจ์น้ำเสียได้จากโรงบำบัดน้ำเสียของ กรุงเทพมหานคร ประมาณ 300 ตัน/วัน หรือ ใน 1 ปี มีปริมาณ 100,000 –150,000 ตัน สลัดจ์น้ำเสีย แห้ง ทั้งนี้เป็นการประเมินจากค่าเฉลี่ยว่า ปริมาณการเกิดตะกอนต่อคนต่อวัน มีค่าเท่ากับ 60 กรัม ตะกอนแห้ง

Sommers (1997) ได้ทำ การศึกษาองค์ประกอบของสลัดจ์น้ำเสียน้ำเสียจำนวน 250 ตัวอย่าง พบว่า องค์ประกอบทางเคมี ของสลัดจ์น้ำเสียมีความแตกต่างกัน ตามลักษณะแหล่งกำเนิดของน้ำ

เสียที่แตกต่างกัน องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอนประมาณร้อยละ 27 - 37 สารประกอบอินทรีย์ร้อยละ 1 - 4 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1.1 - 1.5 และโปแตสเซียมร้อยละ 0.08 - 1.1

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดฟอรั่มลดีไฮด์

Garrido J. M. *et al.* (2000) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มียูเรีย-ฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยระบบตะกอนเร่ง มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง COD ช่วง 460-3,900 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอรั่มลดีไฮด์ช่วง 220-4,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า TKN ช่วง 110-805 มิลลิกรัม/ลิตร โดยค่า COD จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของฟอรั่มลดีไฮด์ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอรั่มลดีไฮด์สูงกว่าร้อยละ 99 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ร้อยละ 70-85 และประสิทธิภาพการกำจัด TKN ร้อยละ 30-50 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.2-1.2 กิโลกรัม COD/ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 0.5-1.4 วัน

Gellman และ Heukelekian (1950) ศึกษาเรื่อง Biological oxidation of formaldehyde ที่ระดับความเข้มข้นฟอรั่มลดีไฮด์ ช่วง 45 – 175 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า เมื่อความเข้มข้นฟอรั่มลดีไฮด์เพิ่มขึ้นจาก 135 – 175 มิลลิกรัม/ลิตร จุลินทรีย์บางชนิดที่แข็งแรงและนำฟอรั่มลดีไฮด์มาเป็นอาหารได้

George R. Zoutber and Rob Frankin (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ และโรงงานผลิตสารเคมีที่มีการผลิตฟอรั่มลดีไฮด์จากเมทานอล น้ำเสียมีปริมาณฟอรั่มลดีไฮด์ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณเมทานอล 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) ด้วยระบบไร้อากาศ พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำเสียทั้งสองประเภท สูงกว่าร้อยละ 99

Hidalgo A. *et al.* (2002) ทดลองใช้จุลินทรีย์ *Rhodococcus erythropolis* UPV-1 ซึ่งใช้ฟีนอลเป็นแหล่งให้คาร์บอนและพลังงาน เพื่อใช้กำจัดฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตฟีนอลิกและเมลามีน ด้วยการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ลงไปพบว่าจุลินทรีย์ชนิดนี้ยังคงดำรงชีพอยู่ได้ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารชีวภาพเริ่มต้นและความเข้มข้นของฟอรั่มลดีไฮด์

Margareta Glancer-soljam (2001) ศึกษาการผสมจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas cepacia* และ *Trichosporon penicillatum* เพื่อใช้ย่อยฟอรั่มลดีไฮด์และกรดฟอรั่มิก ในน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจริงประเภทเมลามีน เรซิน แบบใช้อากาศ น้ำเสียมี

การปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดฟอร์มิก 500 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 24 ชม. ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ฟอร์มาลดีไฮด์ เมทานอล และบิวทานอลสูงถึงร้อยละ 90 และพบว่าจุลินทรีย์ชนิด *Trichosporon penicillatum* สามารถจับตัวเกิดเป็นกลุ่มได้ด้วยตัวเอง

G.Lettinga *et al.* (2000) ศึกษาความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อจุลินทรีย์ชนิดผลิตแก๊สมีเทนในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ พบว่าระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของน้ำเสียที่จุลินทรีย์อาศัยอยู่ หรือขึ้นอยู่กับขนาดของจุลินทรีย์ และสารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ โดย granular sludge ในระบบ UASB จากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปิโตรเคมี มีค่า IC₅₀ ของฟอร์มาลดีไฮด์ 254 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 1.0 กรัม VSS/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

CZijin Lu and W. Hegemann (1997) ศึกษาความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีผลต่อการย่อยสลายอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบไร้อากาศแบบทีละเท (batch culture) กับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ และน้ำเสียจริงที่มี ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ จากโรงงานผลิตกาวไม้อัด พบว่าที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าร้อยละ 90 และเมื่อความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่า 300 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีผลยับยั้งการย่อยสลายอินทรีย์ของจุลินทรีย์ร้อยละ 50

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

- 1.1 pH meter Index รุ่น ID 1000
- 1.2 เครื่องเขย่า (shaker) Model VRN-480 GEMMY Orbit Shaker
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น AB 204-S
- 1.4 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman
- 1.5 เครื่องบดละเอียด
- 1.6 ตะแกรงคัดแยกขนาด
- 1.7 ตู้อบ
- 1.8 เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นจนสะอาด
- 1.9 เคสซิเคเตอร์
- 1.10 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 1.11 ชุดภาชนะรูปทรงกระบอก (คาร์ทริดจ์) บรรจุตัวดูดซับแบบต่อเนื่อง

2. สารเคมี

- 2.1 ฟอรัลดีไฮด์มาตรฐาน (HCHO)
- 2.2 ชุด Formaldehyde Test ของ MERCK 1.14678.0001
- 2.3 ถ่านรูปถ่ายชนิดเกร็ด
- 2.4 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

วิธีการ

1. การเตรียมตัวดูดซับ

1.1 การเตรียมถ่านรูปถ่าน

โดยการตัดต้นรูปถ่านเลือกตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายใบ (ไม่เอาราก ก้านดอกและดอก รูปถ่าน) และสับให้ต้นรูปถ่านมีขนาดสั้นลงโดยมีความยาวไม่เกิน 2 นิ้ว และตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำต้นรูปถ่านที่ได้เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง จะได้ถ่านสีดำ และก่อนนำมา ศึกษาวิจัยควรอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 4 ถ่านรูปถ่านแบบเกร็ด

1.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

นำตะกอนดินที่ผ่านการล้างจนไม่มีฟอสฟอรัสไปตากแห้งก่อนนำไปบดและ ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน และก่อนนำมาศึกษาวิจัยควรอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 5 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

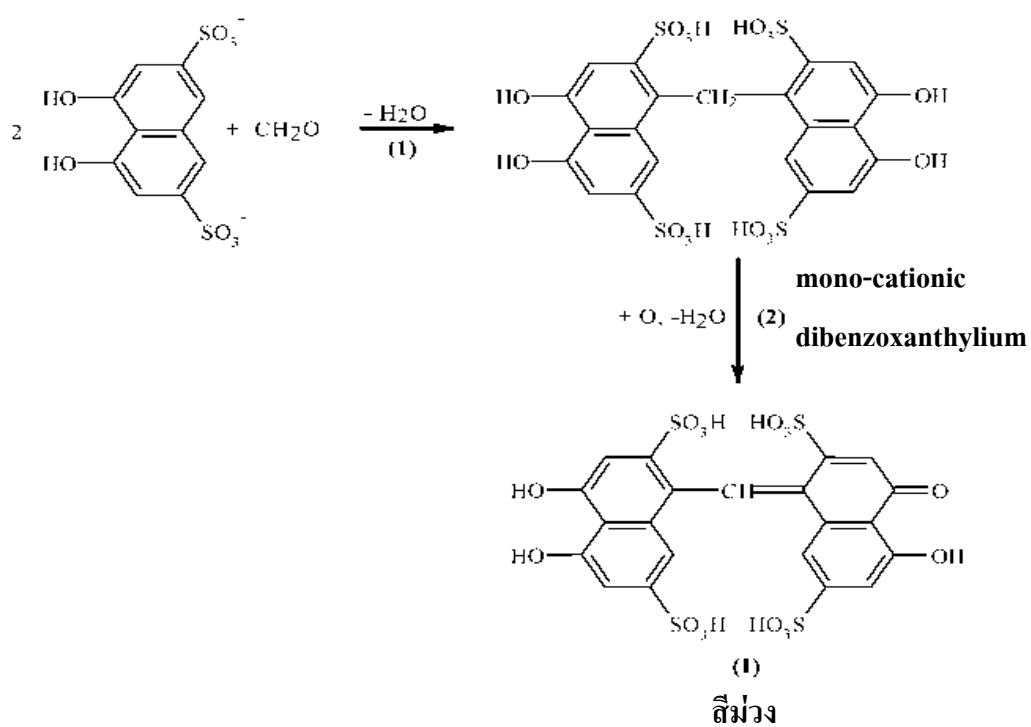
2. การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐานร้อยละ 38 มาจำนวน 2.63 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

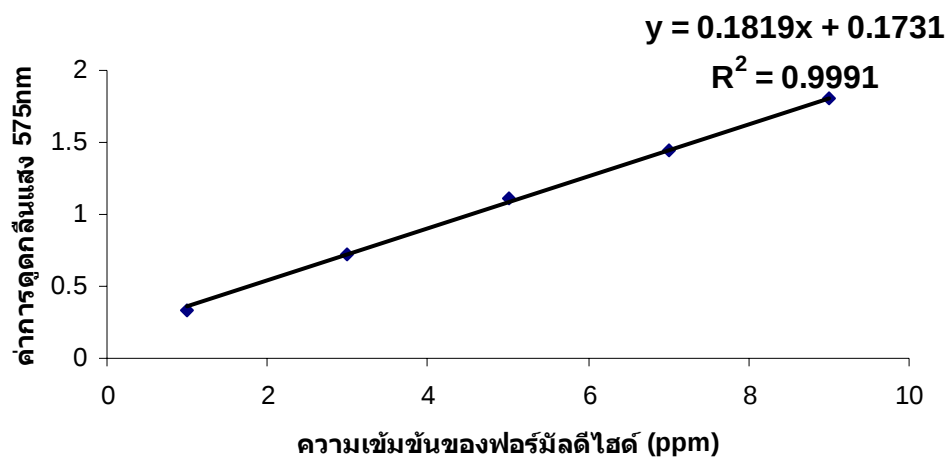
2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์จากข้อ 2.1 มาจำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3 เตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์จากข้อ 2.2 มาจำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

2.4 ละลายผงโครมาโทปิก 1 ซ้อนดวงสาร(บรรจุในขวด) กับสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 4.5 มิลลิลิตร ให้เป็นเนื้อเดียวกันในหลอดทดลอง 5 หลอด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิกรัม/ลิตร จากข้อ 2.3 จำนวน 3 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดทดลองแล้วเขย่าตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 10 นาที จะได้สารละลายสีม่วง หลังจากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร ตามวิธีของ MERCK 1.14678.0001 (Method : photometric) แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร ในแกนตั้ง และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ในแกนนอน



ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาการเกิดสีของฟอร์มาลดีไฮด์



ภาพที่ 7 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์สำหรับการทดลอง

เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์สำหรับการทดลองที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 20 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของถ่านรูปถาปีในสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

4.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

ชั่งถ่านรูปถาปีจำนวน 1 กรัม ลงในขวดรูปกรวยชมพูที่มีสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยชมพู และปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผ่านการดูดซับไปกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวัดหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือจากการดูดซับเทียบกับกราฟมาตรฐาน

4.2 การศึกษาปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมที่ศึกษาในข้อ 4.1

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 โดยใช้ปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสม (จากการทดลองข้อ 4.1) 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิลิตร ตามลำดับ

4.3 การศึกษาความเร็วรอบการปั่นกวต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ตามลำดับ

4.4 การศึกษาเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุล (ระยะเวลาปั่นกวน) ต่อการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.3 เป็นเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

4.5 การศึกษาเวลาสัมผัสต่อการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

4.6 การศึกษาความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์ต่อการดูดซับ

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.5

4.7 การศึกษาปริมาณถ่านรูปถุภษัที่ีเหมาะสมต่อการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์

ทำการทดลองโดยชั่งถ่านรูปถุภษัปริมาณ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 กรัม ตามลำดับ ต่อสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.6 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยชมพู โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.5 หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ที่เหลือจากการดูดซับ ไปกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวัดหาปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ที่เหลือจากการดูดซับเทียบกับกราฟมาตรฐาน

4.8 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ตัวอย่าง โดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

5. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

5.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

ชั่งตะกอนดินจำนวน 1 กรัม ลงในขวดรูปกรวยชมพูที่มีสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ตัวอย่างเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ถูกปรับพีเอชให้มีค่า เท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผ่านการดูดซับไปกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวัดหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือจากการดูดซับเทียบกับกราฟมาตรฐาน

5.2 การศึกษาปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมที่ศึกษาในข้อ 5.1

ทำการทดลองเหมือนข้อ 5.1 โดยใช้ปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสม (จากการทดลองข้อ 5.1) 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิลิตร ตามลำดับ

5.3 การศึกษาความเร็วรอบการปั่นกวนต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 5.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ตามลำดับ

5.4 การศึกษาเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุล (ระยะเวลาปั่นกวน) ต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 5.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ ที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.3 เป็นเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

5.5 การศึกษาเวลาสัมผัสต่อการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 5.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.4 ตั้งทิ้งไว้โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

5.6 การศึกษาความเข้มข้นของฟอรั่มลดีไฮด์ต่อการดูดซับ

ทำการทดลองเหมือนข้อ 5.1 ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ี้จากการทดลองในข้อ 5.5

5.7 การศึกษาปริมาณตะกอนดินที่เหมาะสมต่อการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์

ทำการทดลองโดยชั่งตะกอนดินจำนวน 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 กรัม ตามลำดับต่อสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.6 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยชมพู โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเหมาะสมในปริมาตรที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ี้จากการทดลองในข้อ 5.5 หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ที่เหลือจากการดูดซับ ไปกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวัดหาปริมาณฟอรั่มลดีไฮด์ที่เหลือจากการดูดซับเทียบกับกราฟมาตรฐาน

5.8 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ตัวอย่าง โดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

6. ศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ก่อนการดูดซับด้วยถ่านรูปถาญีและตะกอนดิน ทั้งแบบแบตซ์และแบบต่อเนื่อง

นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช ฟอรั้มลดีไฮด์ ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี

การวิเคราะห์ฟอรั้มลดีไฮด์นั้นทำโดยการนำน้ำตัวอย่างไปวัดค่าแอมป์แบบเซนส์และนำค่าที่ได้ไปหาความเข้มข้นของฟอรั้มลดีไฮด์จากกราฟมาตรฐานสารละลายฟอรั้มลดีไฮด์

7. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั้มลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ของถ่านรูปถาญี

ชั่งถ่านรูปถาญีจำนวน 1 กรัม ลงในขวดรูปกรวยชมพูที่มีน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ถูกปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบให้มีค่าเท่ากับระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.5 หลังจากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั้มลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญี โดยทำการทดลองแบบแบตซ์ 3 ซ้ำ

8. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั้มลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ของตะกอนดิน

ชั่งตะกอนจำนวน 1 กรัม ลงในขวดรูปกรวยชมพูที่มีน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ถูกปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบให้มีค่าเท่ากับระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.5 หลังจากนั้นไปกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั้มลดีไฮด์ของตะกอนดิน โดยทำการทดลองแบบแบตซ์ 3 ซ้ำ

9. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องของถ่านรูปถาญี

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่ทราบค่าความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์เริ่มต้นจากการทดลองที่ 6 ใ้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ซึ่งบรรจุถ่านรูปถาญีให้มีความสูงเป็นสองในสามของความสูง (10 นิ้ว) ของภาชนะรูปทรงกระบอก ด้วยอัตราการไหล 20 , 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที ตามลำดับเก็บตัวอย่างน้ำเสียภายหลังการดูดซับทุกๆ 1 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์และมลสารอื่นๆ ได้แก่ ฟิเอช ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี จนกระทั่งถ่านรูปถาญีหมดประสิทธิภาพต่อการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ (ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) เพื่อดูอายุการใช้งานในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญีและประสิทธิภาพการบำบัดมลสารตัวอื่นๆดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



การจัดชุดอุปกรณ์

(ก)



ภาชนะทรงกระบอก

(ข)



การต่อชุดคาร์ทริดจ์

(ค)

ภาพที่ 8 การศึกษาการดูดซับแบบต่อเนื่อง

10. ศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยถ่านรูปถาญีและตะกอนดินทั้งแบบแบตช์และแบบต่อเนื่อง

นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านรูปถาญีและตะกอนดินทั้งแบบแบตช์และแบบต่อเนื่องมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ฟิเอช ฟอर्मัลดีไฮด์ ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี

11. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเคมี วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

12. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาที่ทำการศึกษาทดลอง 10 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552

ผลและวิจารณ์

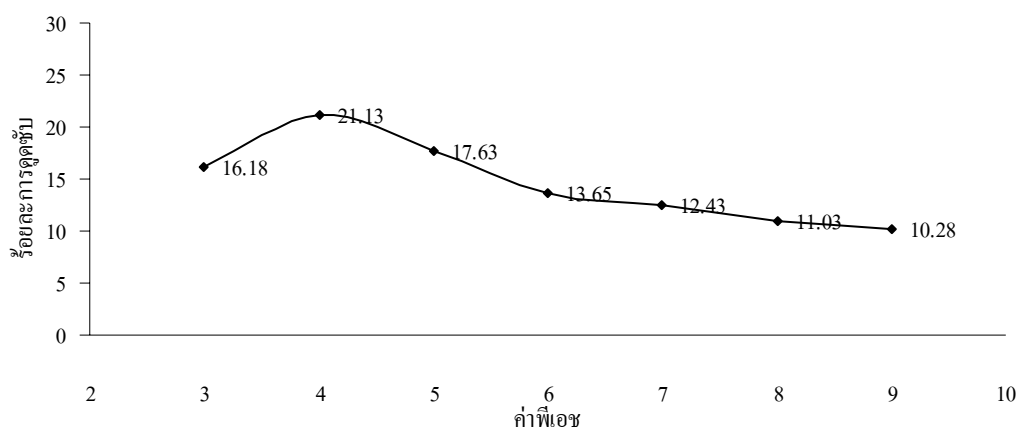
การศึกษาการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ ด้วยถ่านรูปถั่วและตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด โดยการทดลองแบบแบดซ์ 6 กระบวนการ ได้แก่ พิเษ ความเร็วรอบการปั่นกววน ระยะเวลาปั่นกววน ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ ปริมาณตัวดูดซับ และวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการของแลงเมียร์และฟรุนดลิช รวมทั้งนำเสนอที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ซึ่งมีผลสรุปดังนี้

1. ค่าพิเษเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์

1.1 ถ่านรูปถั่ว

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร และทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพิเษ ได้แก่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ ใช้ปริมาณถ่านรูปถั่วจำนวน 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ค่าพิเษ 4 ซึ่งเป็นค่าพิเษที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ พบว่าสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้สูงสุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกพิเษ ได้แก่ 3, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับดังภาพที่ 9

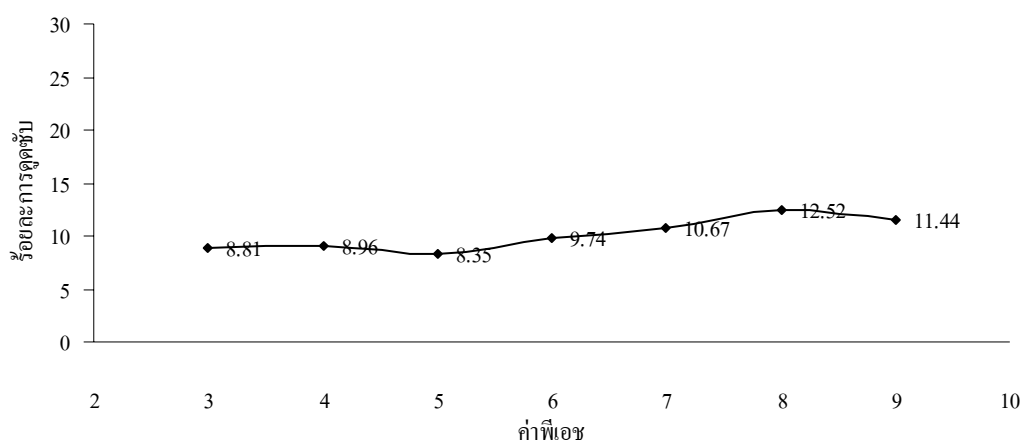


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วกับค่าพิเษ

1.2 ตะกอนดินบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร และทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ซึ่งพีเอชเริ่มต้นของสารละลายที่ทำการศึกษาทั้งหมด 7 ค่า ได้แก่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับใช้ปริมาณตะกอนดินจำนวน 1 กรัม นำไปแช่ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ค่าพีเอช 8 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่าสามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้สูงสุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกพีเอช ได้แก่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 9 ตามลำดับ โดยดูดซับได้ร้อยละ 12.52 ดังภาพที่ 10



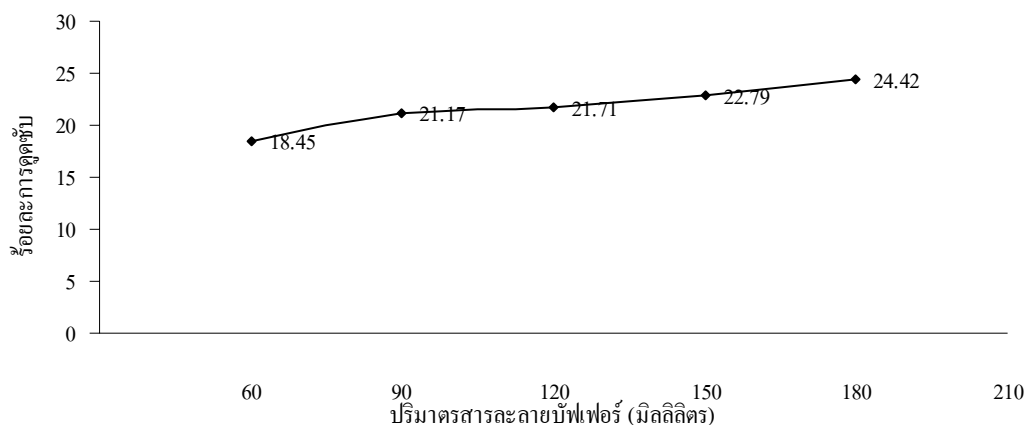
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัดกับค่าพีเอช

2. ผลของปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

2.1 ถ่านรูปถา

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ถ่านรูปถาจำนวน 1 กรัม ปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์ คือ 60, 90, 120, 150 และ 180 มิลลิลิตร ความเร็วรอบการปั่นกวนที่ 100 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่ 60 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

สารละลายบัฟเฟอร์จำนวนพีเอช 4 จำนวน 90 มิลลิลิตร มีค่าการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ร้อยละ 21.17 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับร้อยละการดูดซับในสภาวะที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองผลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ และพบว่าสามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกปริมาณบัฟเฟอร์ ได้แก่ 60, 120, 150 และ 180 มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 11

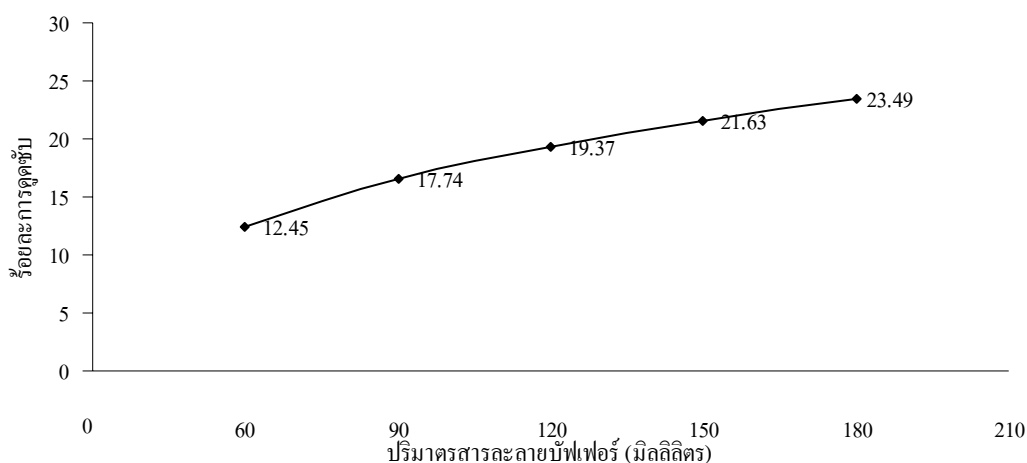


ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญีกับปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์

2.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเท่ากับ 8 ใช้ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม ปรับปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์ 60, 90, 120, 150 และ 180 มิลลิลิตร ตามลำดับ ความเร็วรอบการปั่นกวที่ 100 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่ 60 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 8 จำนวน 60 มิลลิลิตร มีค่าการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ร้อยละ 12.45 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับร้อยละการดูดซับในสภาวะที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองผลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ และพบว่าสามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกปริมาณบัฟเฟอร์ ได้แก่ 90, 120, 150 และ 180 มิลลิลิตร/ลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 12



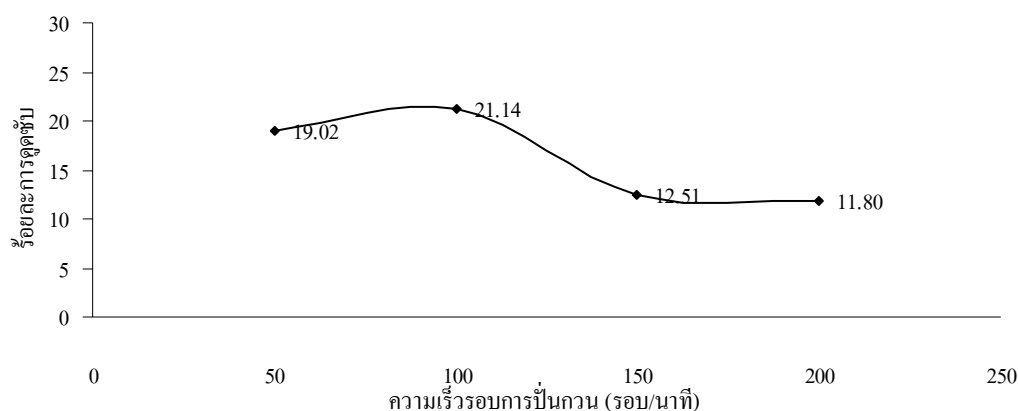
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสของตะกอนดินกับปริมาณสารละลายฟอสเฟต

3. ผลของความเร็วยรอบในการปั่นกวนต่อการดูดซับฟอสฟอรัส

3.1 ถ่านรูปถ่าย

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ถ่านรูปถ่ายจำนวน 1 กรัม ทดลองแปรผันความเร็วยรอบการปั่นกวนที่ 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบ/นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่างที่ 60 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ความเร็วยรอบการปั่นกวน 100 รอบ/นาที ซึ่งเป็นความเร็วยรอบการปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัส พบว่าสามารถดูดซับฟอสฟอรัส ได้แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกความเร็วยรอบการปั่นกวน ได้แก่ 0, 50, 150 และ 200 รอบ/นาที ตามลำดับ โดยดูดซับได้ร้อยละ 21.14 ดังภาพที่ 11

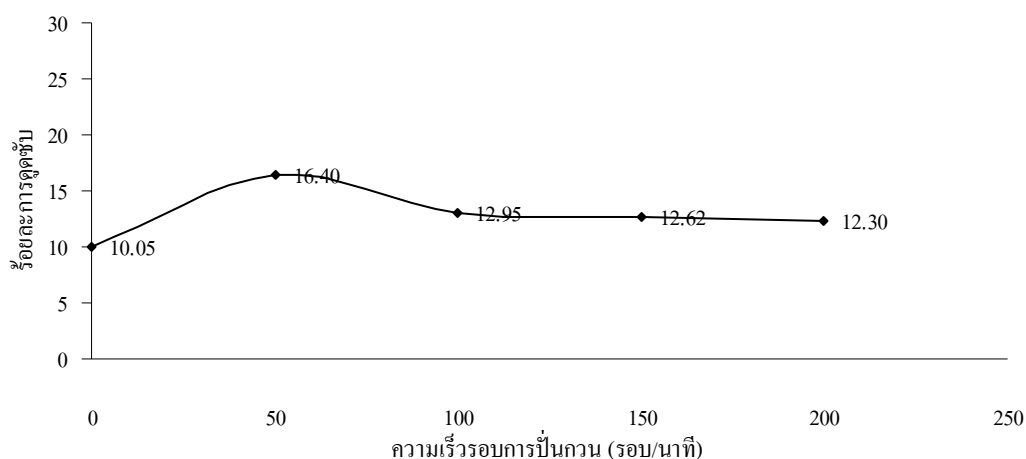


ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วกับความเร็วรอบการปั่นกววน

3.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 8 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม ทดลองแปรผันความเร็วรอบการปั่นกววนที่ 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบ/นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่างที่ 60 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ความเร็วรอบการปั่นกววน 50 รอบ/นาที เป็นความเร็วรอบการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดิน พบว่าสามารถดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกความเร็วรอบการปั่นกววน ได้แก่ 0, 100, 150 และ 200 รอบ/นาที ตามลำดับ โดยดูดซับได้ร้อยละ 16.40 ดังภาพที่ 14



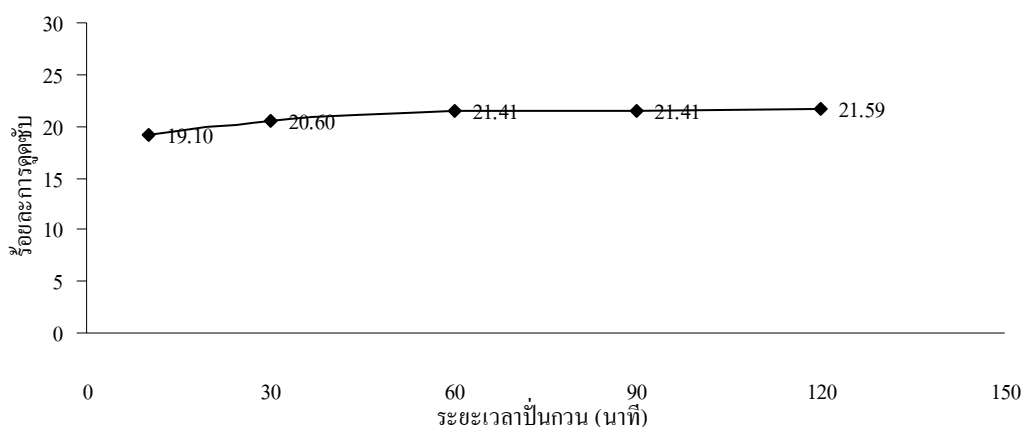
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเร็วรอบการปั่นกววน

4. ผลของเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุล (ระยะเวลาปั่นกววน)ต่อการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์

4.1 ถ่านรูปถาผี

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ถ่านรูปถาผีจำนวน 1 กรัม นำไปแช่ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ทดลองแปรผันระยะเวลาปั่นกววน โดยเก็บตัวอย่างที่ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ระยะเวลาปั่นกววน 60 นาที เป็นระยะเวลาปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์พบว่าสามารถดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับระยะเวลาปั่นกววน 10 และ 30 นาที แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับระยะเวลาปั่นกววน 90 และ 120 นาที โดยดูดซับได้ร้อยละ 21.41 ดังภาพที่ 15

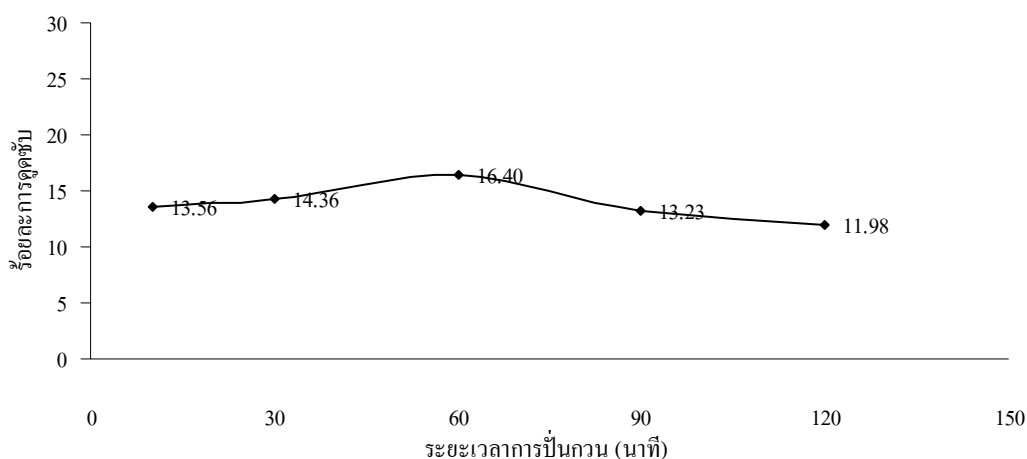


ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับพอร์มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วกับระยะเวลาปั่นกวน

4.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานพอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 8 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที ทดลองแปรผันระยะเวลาปั่นกวนโดยเก็บตัวอย่างที่ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ระยะเวลาปั่นกวน 60 นาที เป็นระยะเวลาปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับพอร์มัลดีไฮด์พบว่าสามารถดูดซับพอร์มัลดีไฮด์ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับระยะเวลาปั่นกวน 10, 30, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ โดยดูดซับได้ร้อยละ 16.40 ดังภาพที่ 16



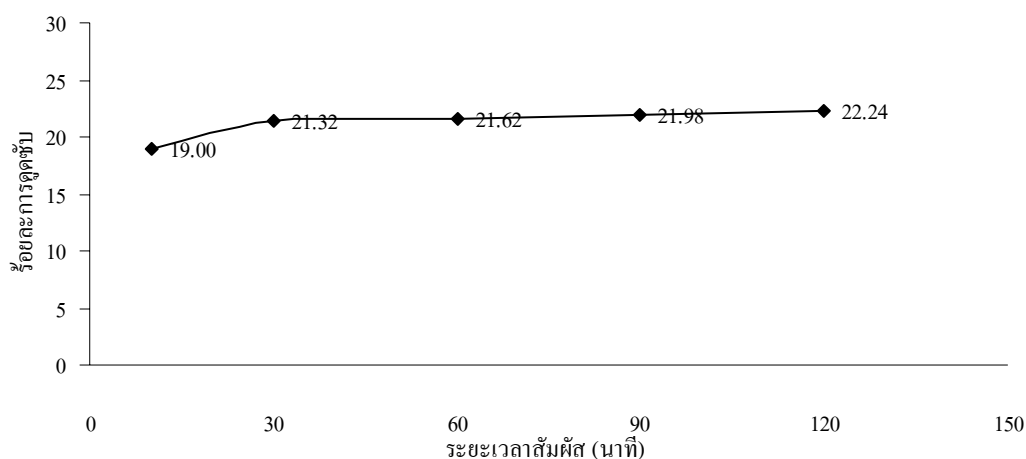
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับระยะเวลาปั่นกวน

5. ผลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับฟอรัลดีไฮด์

5.1 ถ่านรูปถั่ว

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรัลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ถ่านรูปถั่วจำนวน 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที และทดลองการแปรผันของระยะเวลาสัมผัส โดยตั้งทิ้งไว้แล้วเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ ให้ผลการทดลองดังนี้

ถ่านรูปถั่วที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที เป็นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ พบว่าสามารถดูดซับฟอรัลดีไฮด์ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับระยะเวลาสัมผัส 10, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับระยะเวลาสัมผัส 60 นาที โดยดูดซับได้ร้อยละ 21.26 ดังภาพที่ 17

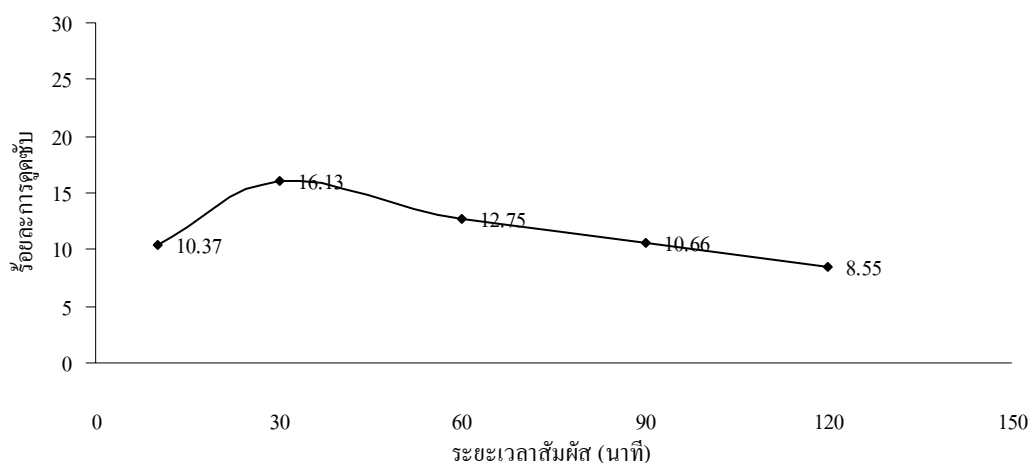


ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถุ่กับระยะเวลาสัมผัส

5.2 ตะกอนดินบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 8 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 60 มิลลิตร ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาทื เป็นเวลา 60 นาทื และทดลองการแปรผันของระยะเวลาสัมผัสโดยตั้งทิ้งไว้แล้วเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาทื ตามลำดับ ให้ผลการทดลองดังนี้

ถ่านรูปถุ่ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาทื เป็นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าสามารถดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับระยะเวลาสัมผัส 10, 60, 90 และ 120 นาทื ตามลำดับ โดยดูดซับได้ร้อยละ 16.13 ดังภาพที่ 18



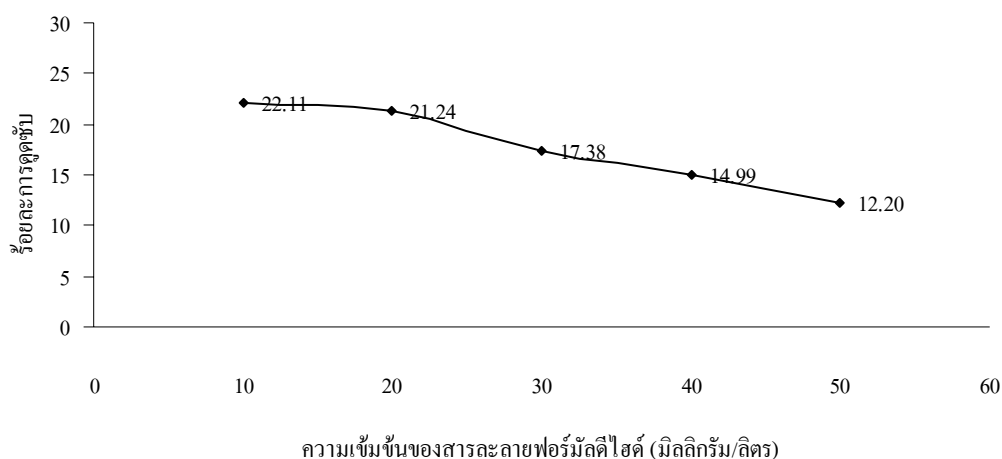
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับระยะเวลาสัมผัส

6. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์

6.1 ถ่านรูปถาญี

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกัน คือ 10, 20, 30, 40, และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ถ่านรูปถาญีจำนวน 1 กรัม นำไปแช่ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทื เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ถ่านรูปถาญีที่ความเข้มข้นฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ 10 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นความเข้มข้นที่ดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ที่เหมาะสม พบว่าสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกความเข้มข้น 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 19

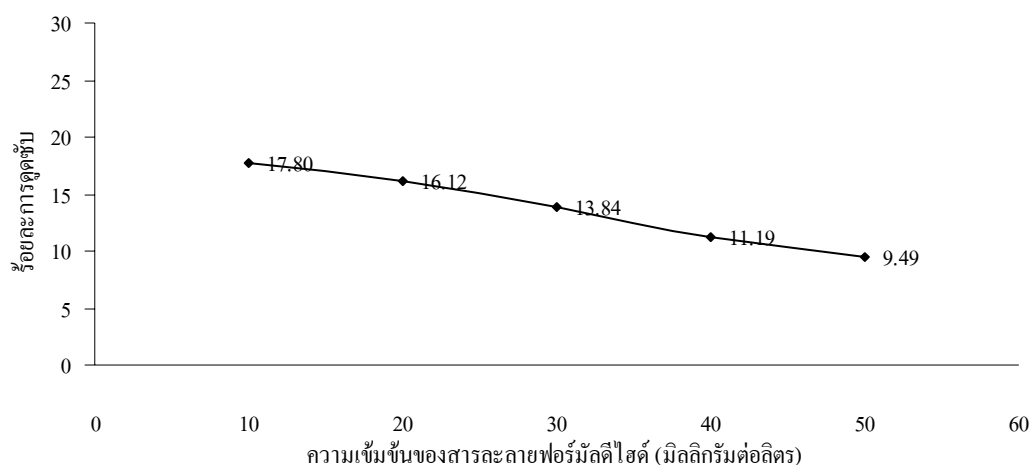


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของถ่านรูปลูกาญีกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

6.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกัน คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 8 ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ถ่านรูปลูกาญีที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 10 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นความเข้มข้นที่ดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหมาะสม พบว่าสามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกความเข้มข้น 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 20



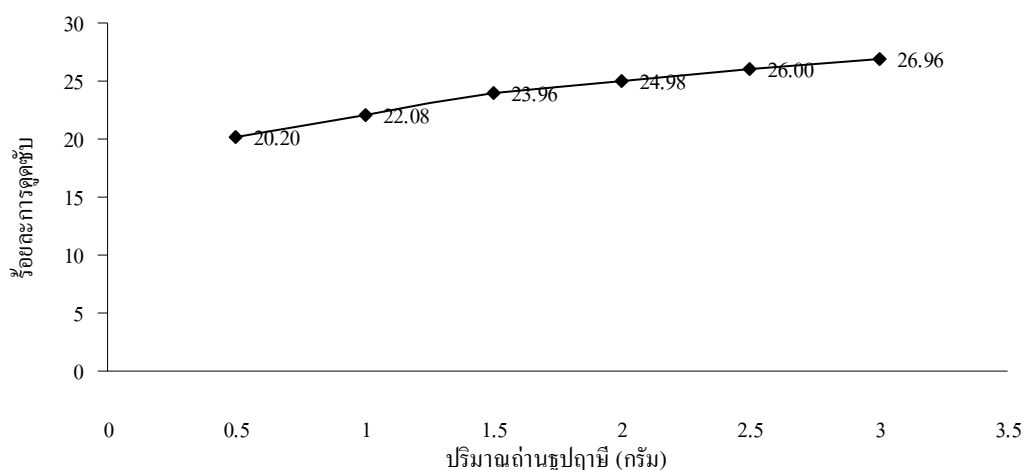
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

7. ผลของปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมและไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

7.1 ถ่านรูปถ่าน

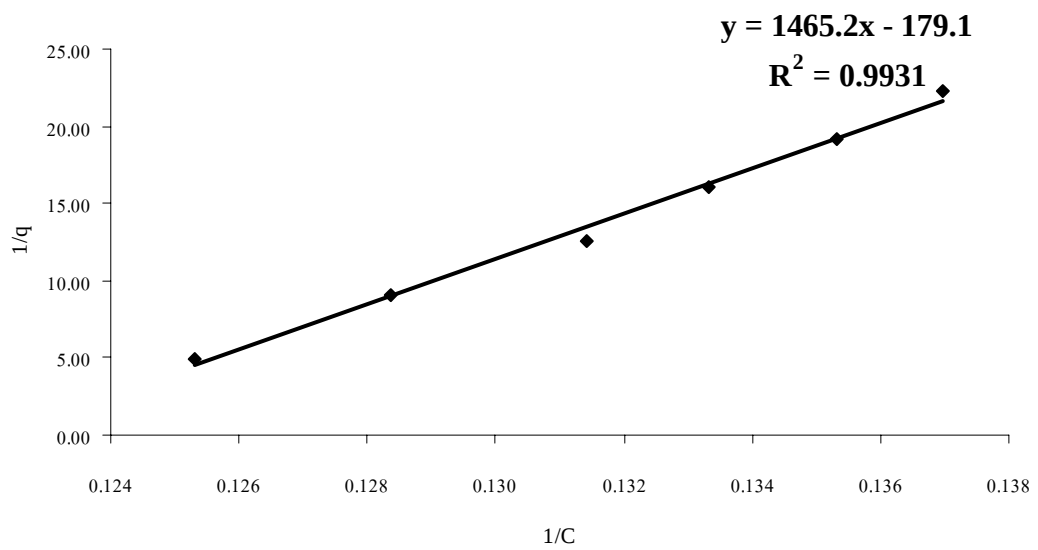
การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ทำการแปรผันปริมาณถ่านรูปถ่านแตกต่างกัน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ตามลำดับ แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

ถ่านรูปถ่านจำนวน 1 กรัม/ลิตร ที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ พบว่าสามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณถ่านรูปถ่าน 0.5, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 21

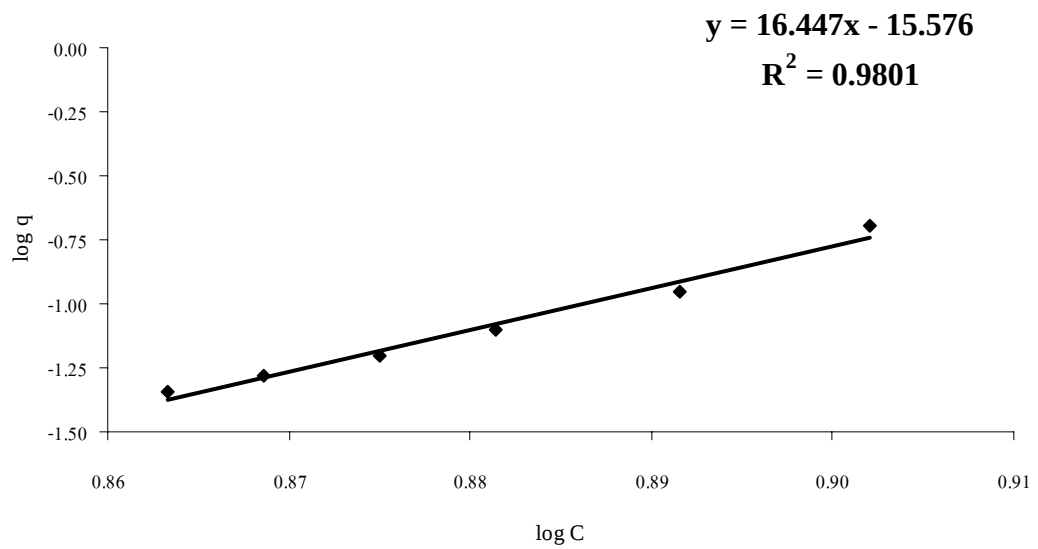


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วกับปริมาณถ่านรูปถั่ว

สำหรับไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วเมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ดังภาพที่ 22 และ 23 ตามลำดับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์มีค่า 0.9931 และ 0.9801 ตามลำดับ ซึ่งไอโซเทอร์มการดูดซับทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700 - 1.0200) กลไกการดูดซับเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า ซึ่งกลไกการดูดซับของแลงเมียร์คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบลักษณะเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ不会再มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว



ภาพที่ 20 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ของถ่านเมียร์โดยใช้ถ่านรูปถั่ว



ภาพที่ 23 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ของฟรุณดิชโดยใช้ถ่านรูปถั่ว

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของฟรุณดิชโดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของล็อกการิทึมได้ดังสมการที่ 7

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{-----} \quad (7)$$

$$\log q = 1.9846 + 2.177 \log C \quad \text{-----} \quad (8)$$

จากสมการที่ 8 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 2.177 นั่นคือ

$$\log K = 1.9846$$

$$1/n = 2.177$$

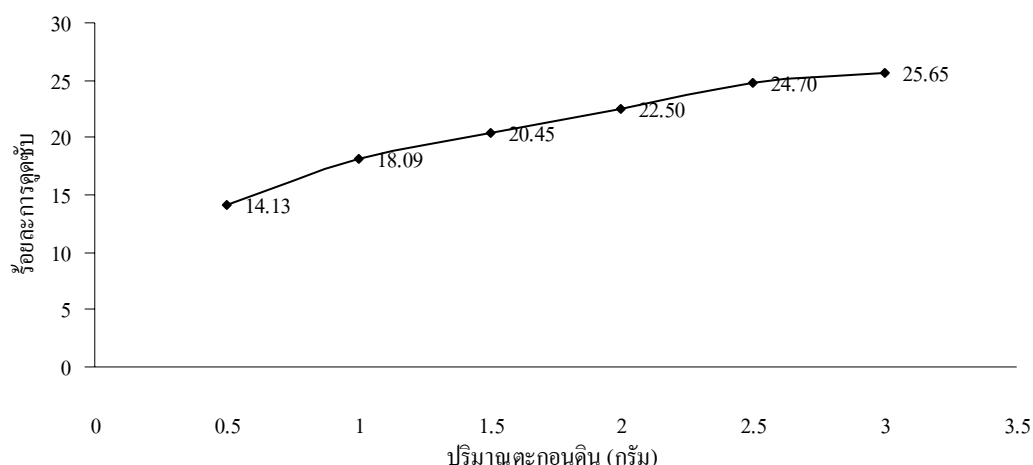
$$n = 0.4593$$

จากไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ด้วยถ่านรูป ฤยิ พบว่า ค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่าเป็นพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

7.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

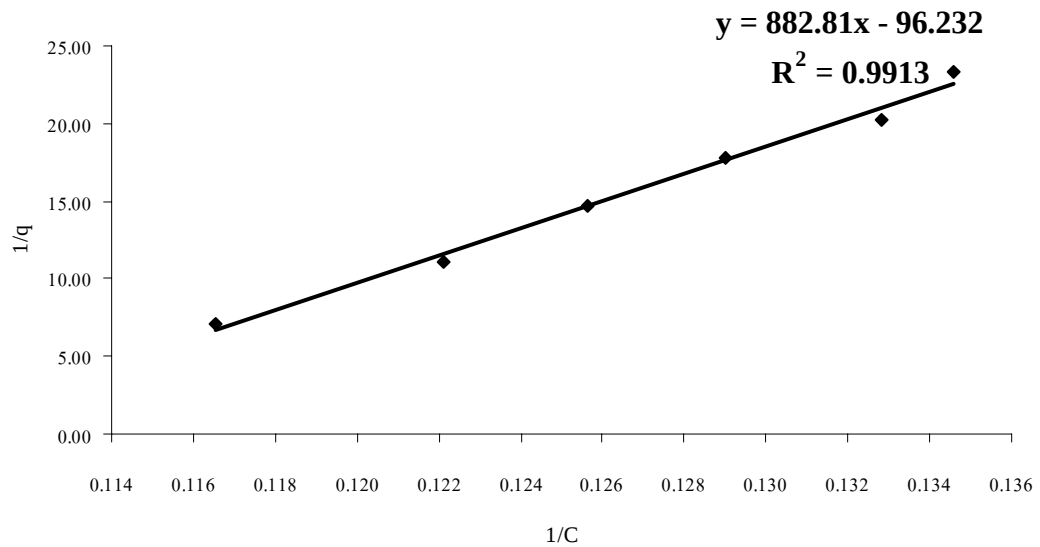
การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 8 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ทำการแปรผันปริมาณตะกอนดินแตกต่างกัน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ตามลำดับ แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม ที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ พบว่าสามารถดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณตะกอนดิน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 24

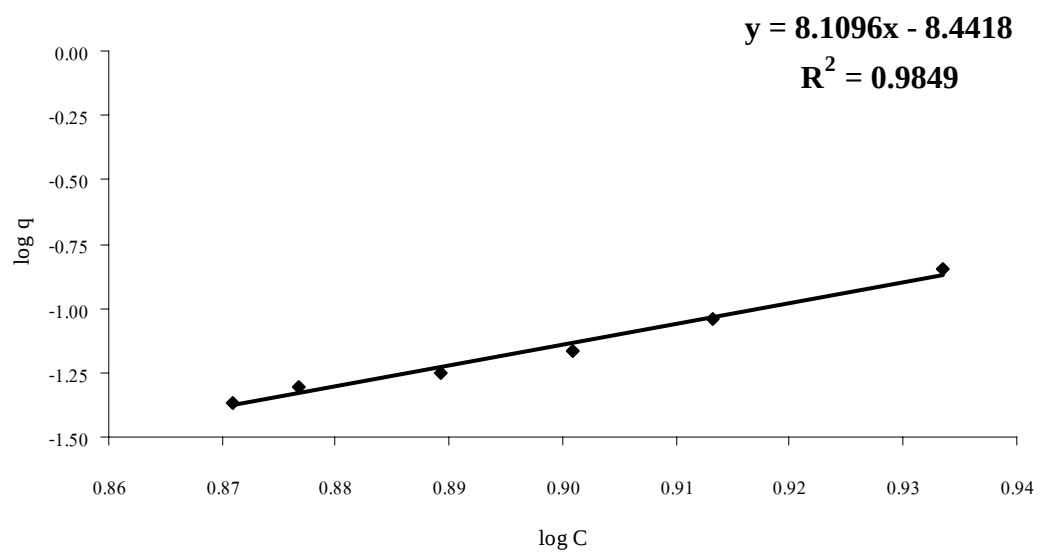


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับปริมาณตะกอนดิน

สำหรับไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดิน เมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และ ฟรุณดิช ดังภาพที่ 25 และ 26 ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์มีค่าเท่ากับ 0.9913 และ 0.9849 ตามลำดับ ซึ่งไอโซเทอร์มการดูดซับทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700 - 1.0200) กลไกการดูดซับเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า ซึ่งกลไกการดูดซับของแลงเมียร์คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบลักษณะเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว



ภาพที่ 25 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของแลงเมียร์โดยใช้ตะกอนดิน



ภาพที่ 26 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของฟรูนดิชโดยใช้ตะกอนดิน

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของฟรูนดิชโดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึมได้ดังสมการที่ 9

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{----- (9)}$$

$$\log q = 4.2393 + 3.67 \log C \quad \text{-----} \quad (10)$$

จากสมการที่ 8 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 3.67 นั่นคือ

$$\log K = 4.2393$$

$$1/n = 3.67$$

$$n = 0.27$$

จากไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั้มลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอรั้มลดีไฮด์ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด พบว่า ค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวได้ว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

8. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซีไกลคอลล จำกัด

ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาทำการศึกษาทั้งหมด 2 ชุดตัวอย่างโดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้แก่ พีเอช ฟอรั้มลดีไฮด์ ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี มีผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

ตารางที่ 1 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียบริษัท ทีโอซีไกลคอด จำกัด

พารามิเตอร์	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรม
pH	8.7	8.5	5.5-9.0
ฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	44.20	13.71	1
TSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	58	33	50
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	2380	1750	3000
Conductivity($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	3232	2537	ไม่ได้กำหนด
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	16	12	20
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	84	67	120

หมายเหตุ : ตัวอย่างที่ 1 เก็บวันที่ 14 ตุลาคม 2551 (ภายหลังจาก บริษัท ทีโอซีไกลคอด จำกัด
ทำความสะอาดระบบในกระบวนการผลิต 3 ปี/ครั้ง)

ตัวอย่างที่ 2 เก็บวันที่ 6 มีนาคม 2552

9. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซีไกลคอด จำกัด

9.1 ถ่านรูปถั่ว

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียชุดตัวอย่างที่ 1 และ ตัวอย่างที่ 2 จากบริษัท ทีโอซีไกลคอด จำกัด
ปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์ คือ พีเอชเท่ากับ 4 ถ่านรูปถั่วจำนวน 1 กรัม
นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการ
ทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ของถ่านรูปถาษี

ครั้งที่	ฟอर्मัลดีไฮด์		ร้อยละการดูดซับ	ฟอर्मัลดีไฮด์		ร้อยละการดูดซับ
	(ตัวอย่างที่ 1)			(ตัวอย่างที่ 2)		
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	44.20	38.87	12.06	13.71	10.74	21.65
2	44.20	38.76	12.31	13.71	11.09	19.09
3	44.20	39.42	10.82	13.71	10.79	21.33
ค่าเฉลี่ย	44.20	39.02	1.73	13.71	10.85	20.69
±S.D.	0	0.35	0.80	0	0.19	1.39

9.2 ตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียชุดตัวอย่างที่ 2 จาก บริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ปรับสภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบดซ์ คือ พีเอชเท่ากับ 8 ตะกอนดินจำนวน 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ของตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

ครั้งที่	ฟอर्मัลดีไฮด์ (ตัวอย่างที่ 2)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	13.71	11.68	14.77
2	13.71	11.60	15.36
3	13.71	11.48	16.25
ค่าเฉลี่ย	13.71	11.59	15.46
±S.D.	0	0.10	0.74

จากผลการศึกษาโดยทำการทดลองแบบเบดซ์ พบว่า ถ่านรูปถาษีมีประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด (ตัวอย่างที่ 2) ให้ค่าร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์

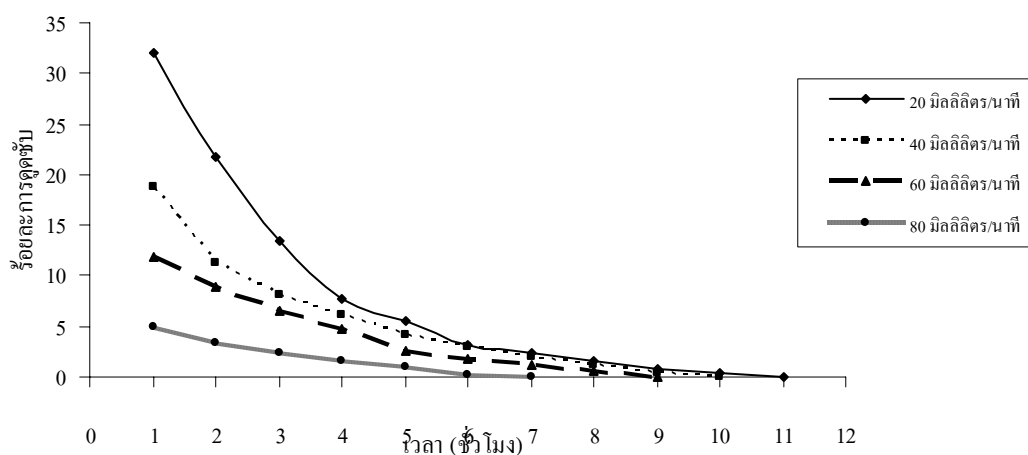
เท่ากับ 20.69 ซึ่งมากกว่าตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ให้ค่าร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์เท่ากับ 15.46 และยังพบว่าความเข้มข้นของฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ส่งผลต่อการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองเรื่องความเข้มข้นที่ต่างกัน แบบเบตท์ ดังตารางที่ 2 และ 3

10. ผลของประสิทธิภาพของถ่านรูปถาญีในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซีไกลคอล จำกัด โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

การทดลองนี้ใช้น้ำเสียชุดตัวอย่างที่ 2 จากบริษัท ทีโอซีไกลคอล จำกัด ที่ทราบค่าความเข้มข้นของฟอรั่มลดีไฮด์เริ่มต้นจากการทดลองที่ 6 ให้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอก (คาร์ทริดจ์) ด้วยอัตราการไหล 20 , 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ ตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียภายหลังการดูดซับทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์และมลสารอื่นๆ ได้แก่ พีเอช ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี จนกระทั่งถ่านรูปถาญีหมดประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ (ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) เพื่อดูอายุการใช้งานในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญีและประสิทธิภาพการบำบัดมลสารตัวอื่นๆดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ให้ผลการทดลองดังนี้

อายุการใช้งานในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญีในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซีไกลคอล จำกัด จากการทดลอง พบว่า จะมีค่าลดลง เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยพบว่าอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ มีอายุการใช้งานสูงสุดกล่าวคือมีระยะเวลาในการหมดประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ (ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) มีค่าเท่ากับ 11 ชั่วโมง สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 10, 9 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังภาพที่ 27 และตารางผนวที่ 24

ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซีไกลคอล จำกัด จากการทดลองพบว่าจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยพบว่าในชั่วโมงแรกของการเก็บตัวอย่างน้ำอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ได้สูงสุด มีค่าเท่ากับ 32.02% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ ตามลำดับ สามารถดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ได้เท่ากับ 18.85, 11.85 และ 4.85 % ตามลำดับ ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพของถ่านรูปถั่วในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

11. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยถ่านรูปถั่ว และตะกอนดินจากการทดลองแบบแบตช์

นํานํ้าเสียชุดตัวอย่างที่ 1 จากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านรูปถั่ว และตะกอนแบบแบตช์ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้แก่ พีเอช ฟอร์มาลดีไฮด์ ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี ให้ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนโกลคอลหลังการดูดซับด้วยถ่านรูปถั่วและตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี โกลคอล จำกัด โดยการทดลองแบบเบตซ์

พารามิเตอร์	ดูดซับด้วยถ่านรูปถั่ว		ดูดซับด้วยตะกอนดิน		ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
pH	4	7.4	8	7.8	5.5-9.0
ฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	13.71	14.83	13.71	21.83	1
TSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	12.6	301.6	12.6	10	50
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	1220	18020	1220	1072	3000
Conductivity($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	1865	23650	1865	1659	ไม่ได้กำหนด
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	20	19.8	20	18.1	20
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	96	52	96	48	120

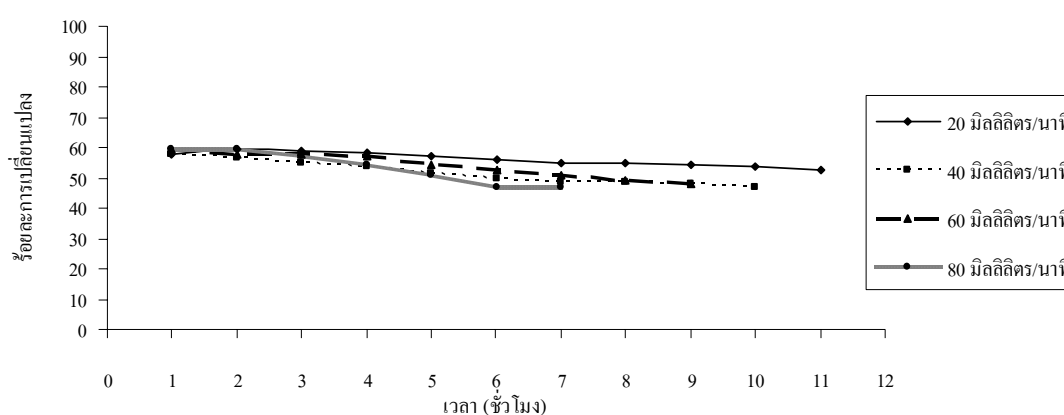
12. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนโกลคอล หลังการดูดซับด้วยถ่านรูปถั่วและการทดลองแบบต่อเนื่อง

นำน้ำเสียชุดตัวอย่างที่ 2 จากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนโกลคอล ที่ผ่านการดูดซับอย่างต่อเนื่องโดยให้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอก (คาร์ทริดจ์) ด้วยอัตราการไหล 20, 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ ตามลำดับ โดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 1 ชั่วโมงจนครบเวลาที่หมดประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ (ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) มาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารอื่นๆ ได้แก่ ฟิเชอร์ ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี ให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ถ่านรูปถั่วแบบต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 20, 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ ตามลำดับ ใช้เวลาในหนึ่งรอบการศึกษา (ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) เท่ากับ 11, 10, 9 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังตารางผนวกที่ 24

12.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช

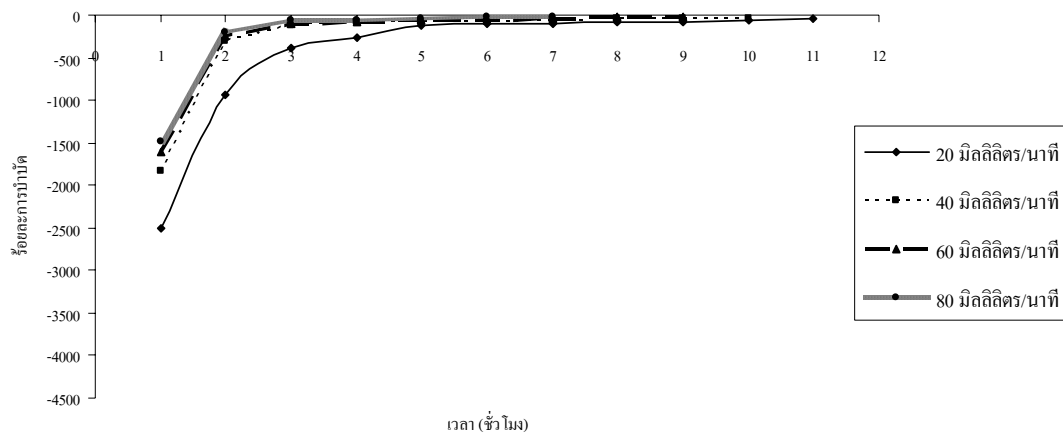
จากการทดลองพบว่าทุกอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล ในทิศทางเดียวกันและเมื่อครบหนึ่งรอบการศึกษา(ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) ที่อัตราการไหล 20, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเพิ่มขึ้นสูงสุด มีค่าเท่ากับ 59.18 % สำหรับอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ มีค่าเท่ากับ 57.89% ตามลำดับ ดังภาพที่ 28 และตารางผนวกที่ 25



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชด้วยถ่านรูปยาสูบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

12.2 ศึกษาการบำบัดของแข็งแขวนลอย

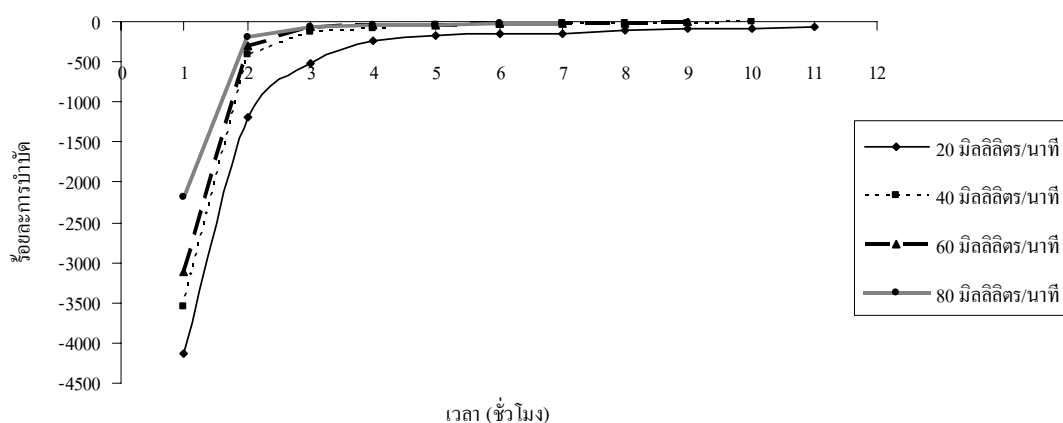
ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล จากการทดลองพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลได้ โดยพบว่าในชั่วโมงแรกของการเก็บตัวอย่างน้ำอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้ต่ำสุด มีค่าเท่ากับ -2496.97% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้เท่ากับ -1832.12, -1612.73 และ -1488.79% ตามลำดับ ดังภาพที่ 29 และตารางผนวกที่ 26



ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำด้วยถ่านรูปถ่ายแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

12.3 ศึกษาการบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำ

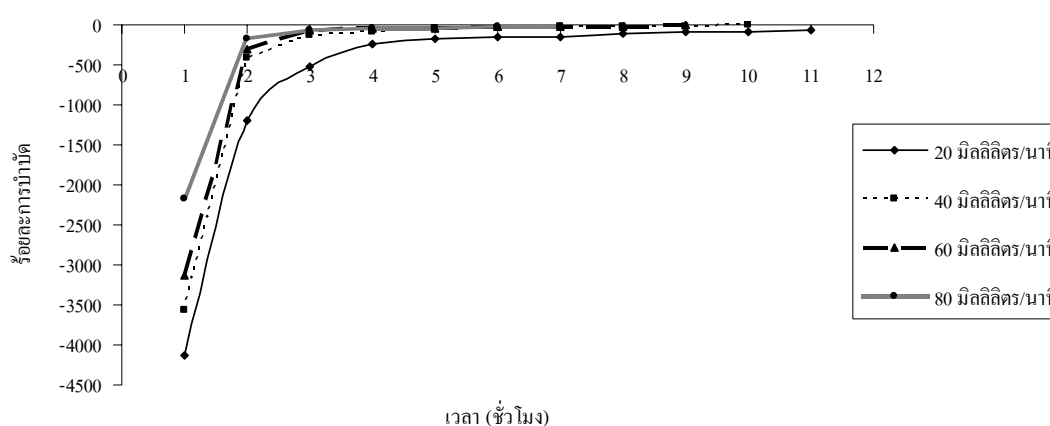
ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล จากการทดลองพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลได้ โดยพบว่าในชั่วโมงแรกของการเก็บตัวอย่างน้ำอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้ต่ำสุด มีค่าเท่ากับ -4134.43% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้เท่ากับ -3558.82, -3120.72 และ -2182.58% ตามลำดับ ดังภาพที่ 30 และตารางผนวกที่ 27



ภาพที่ 30 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำด้วยถ่านรูปถ่ายแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

11.4 ศึกษาการบำบัดค่าการนำไฟฟ้า

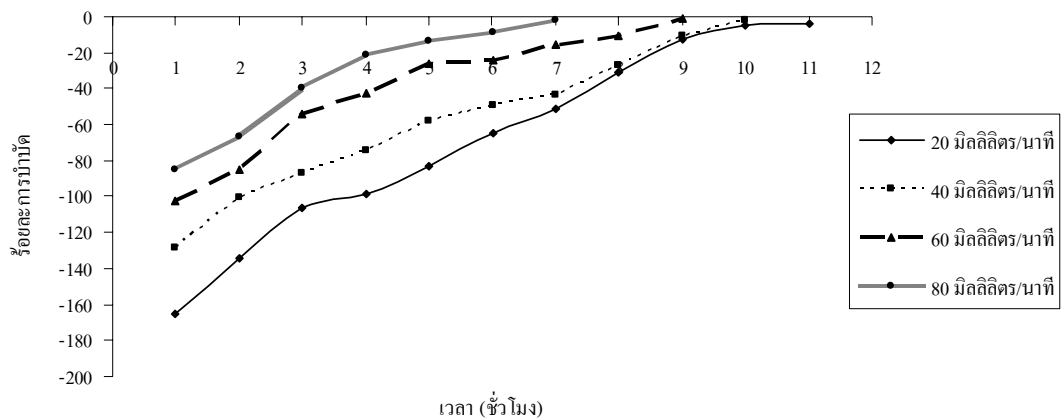
ประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล จากการทดลองพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบำบัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลได้ โดยพบว่าในช่วงแรกของกระบวนการเก็บตัวอย่างน้ำอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้ต่ำสุด มีค่าเท่ากับ -4278.02% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้เท่ากับ -4131.96, -3141.77 และ -2947.11% ตามลำดับ ดังภาพที่ 31 และตารางผนวกที่ 28



ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยถ่านรูปถ้วยแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

12.5 ศึกษาการบำบัดค่าบีโอดี

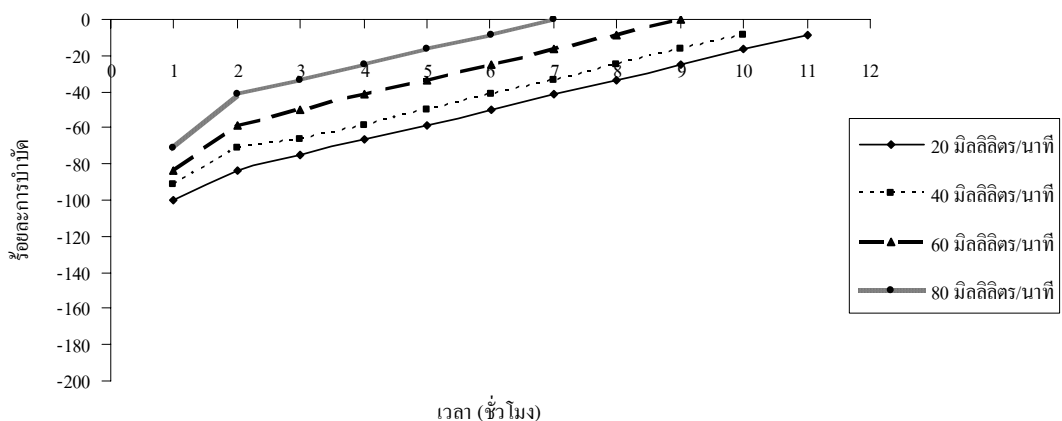
ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล จากการทดลองพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบำบัดบีโอดีในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลได้ โดยพบว่าในช่วงแรกของกระบวนการเก็บตัวอย่างน้ำอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้ต่ำสุด มีค่าเท่ากับ -165% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้เท่ากับ -128.80, -102.30 และ -85.00% ตามลำดับ ดังภาพที่ 32 และตารางผนวกที่ 29



ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีด้วยผ่านรูปถ่ายแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

12.6 ศึกษาการบำบัดค่าซีไอดี

ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล จากการทดลองพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบำบัดซีไอดีในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลได้ โดยพบว่าในชั่วโมงแรกของการเก็บตัวอย่างน้ำอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้ต่ำสุด มีค่าเท่ากับ -100.00% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ สามารถบำบัดได้เท่ากับ -91.67, -83.33 และ -70.83% ตามลำดับ ดังภาพที่ 33 และตารางผนวกที่ 30



ภาพที่ 33 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีด้วยผ่านรูปถ่ายแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ ด้วยถ่านรูปถาญีและตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 4 และ 8 ตามลำดับ สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ร้อยละ 21.13 และ 12.52 ตามลำดับ ปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 และ 8 คือ 90 และ 60 มิลลิลิตร ตามลำดับ สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ร้อยละ 21.17 และ 12.45 ตามลำดับ ความเร็วรอบการปั่นกวนที่เหมาะสม คือ 100 และ 50 รอบ/นาที ตามลำดับ สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ร้อยละ 21.14 และ 16.40 ตามลำดับ ระยะเวลาปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ คือ 60 นาที เท่ากัน สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ ร้อยละ 21.41 และ 16.40 ตามลำดับ ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ 30 นาที เท่ากัน สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ ร้อยละ 21.32 และ 16.13 ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ที่เหมาะสม สำหรับการทดลองครั้งนี้เลือกความเข้มข้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะสามารถดูดซับได้ดีที่สุด สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 22.11 และ 17.80 ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นยิ่งเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ยิ่งลดลง โดยใช้จำนวน 1 กรัม เท่ากัน ส่วนปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง พบว่าปริมาณยิ่งมากความสามารถในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ยิ่งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการดูดซับดังกล่าวสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์

การทดลองการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์แบบแบดซ์ ด้วยถ่านรูปถาญีและตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ปรากฏว่า ถ่านรูปถาญีสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้ดีกว่าตะกอนดิน และถ่านรูปถาญีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่าตะกอนดิน เนื่องจากตะกอนดินต้องมีการกำจัดฟอर्मัลดีไฮด์ในตะกอนก่อนนำมาดูดซับ เมื่อจะนำมาใช้ประโยชน์จึงต้องมีต้นทุนในการกำจัดฟอर्मัลดีไฮด์สูงเพื่อที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นถ่านรูปถาญีจึงมีคุณสมบัติดีกว่าทั้งด้านการดูดซับ และต้นทุนการผลิตเพื่อการใช้งาน

2. ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทีสินออกไซค์และเอทีสินไกลคอล ชุดตัวอย่างที่ 1 และชุดตัวอย่างที่ 2 โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ พบว่า ถ่านรูปถาญีสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้เฉลี่ยร้อยละ 11.73 และ 20.69 ตามลำดับ สำหรับตะกอนดินจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้เฉลี่ยร้อยละ 15.46 โดยใช้สถานะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์

3. ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของถ่านรูปถาวยิในน้ำเสียจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ชุดตัวอย่างที่ 2 โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยการบรรจุถ่านรูปถาวยิให้มีความสูงเป็นสองในสามของความสูง(10 นิ้ว) ของภาชนะรูปทรงกระบอก (คาร์ทริดจ์) ทำการทดลองด้วยอัตราการไหล 20, 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ พบว่าอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ มีอายุการใช้งานสูงสุดกล่าวคือ มีระยะเวลาในการหมดประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ (ร้อยละการดูดซับเท่ากับศูนย์) มีค่าเท่ากับ 11 ชั่วโมง สำหรับอัตราการไหลที่ 20 และ 40 มิลลิลิตร/นาที่ มีค่าเท่ากับ 10, 9 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ และอัตราการไหลที่ 20 มิลลิลิตร/นาที่ มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดคือ 32.02% สำหรับอัตราการไหลที่ 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร/นาที่ มีค่าเท่ากับ 18.85, 11.85 และ 4.85 %ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดมลสารอื่นๆ ได้แก่ ฟิเอช ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และ ซีโอดี

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองที่ผ่านมาในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่าง เพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป จึงเสนอแนะไว้ดังนี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจดังนี้

1. ควรมีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านรูปถาวยิในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์และมลสารอื่นๆในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลแหล่งอื่น

2. ควรศึกษาวัสดุดูดซับพืชชนิดอื่น ได้แก่ พืชที่มีรุกรุนมากๆ เพื่อให้เกิดการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียได้ประสิทธิภาพดีที่สุดต่อไป

3. ควรศึกษาวัสดุดูดซับชนิดอื่น ที่พบว่า มีค่าฟิเอชเป็นกลางให้สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียได้ประสิทธิภาพดีที่สุดต่อไป และสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า บีโอดี และ ซีโอดี ได้อีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **ฟอร์มัลดีไฮด์**. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2526. **โพลีเมอร์เชิงพาณิชย์**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ดวงพร สุวรรณกุล และรังสิต สุวรรณเขตนิกม. 2544. **วัชพืชในประเทศไทย**.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทศบาลเมืองเพชรบุรี. 2540 ก. รายงานฉบับกลาง โครงการศึกษาความเหมาะสมระบบจัด
การมูลฝอย เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.

นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์ และคณิดา ดังคนานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2542. **พลาสติก**. พิมพ์ครั้งที่ 15. ห.จ.ก. ป. สัมพันธ์พาณิชย์, กรุงเทพฯ.

บรรจง วรรณพงษ์ และเอนก ก้านสังวร. 2537. ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย, น.233-247. ใน เอกสารการ
ประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก
โครงการพระราชดำริ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศันสนีย์ เพชรทองบุญ. การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตพลาสติก-เรซิน ด้วย
กระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย. 2545. **วัชพืชสามัญภาคกลาง**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้
พับบลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

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

สุรัชย์ มัจฉาชีพ. 2538. วัชพืชในประเทศไทย. สำนักพิมพ์แพรวพิตยา, กรุงเทพฯ.

อรรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2532. ทางเลือกที่ได้รับประโยชน์คืนมาจากการลงทุนแก้ปัญหาหมากะน้ำ. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 11 : 69-87.

อำพร คล้ายแก้ว. 2539. วัชพืชบริเวณอ่างเก็บน้ำโครงการชลประทานในท้องที่ภาคเหนือของ ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำพล เสนาณรงค์. 2544. ธูปฤาษี. ชีวปริทรรศน์ 3 (6) : 2-3.

อำไพ ขงบุญเกิด. 2538. อนุกรมวิธานพืชอักษร ก. ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. เพื่อนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

Garrido J. M. 2000. **Treatment of wastewaters from a formaldehyde-urea adhesives factory.** Department of Chemical Engineering, University of Santiago de Compostela, Spain.

George R. Zoutberg and Rob Frankin. 1996. **Anaerobic treatment of chemical and brewery wastewater with a new type of anaerobic reactor; the biobed EGSB reactor.** Water Science and Technology Vol 34 No 5- 6 pp 375-381, IWA Publishing, the Netherlands.

Grace, J.B. and R.G. Wetzel. 1982. **Effect of size and growth rate on vegetative reproduction in Typha.** Oecologia. 50 : 158-161.

Henriet J. Matijn A. and Povlsen H. H. 1985. **Analysis of Technical and Formulated Pesticides.** CIPAC HANDBOOK volume 1 c.

- Hu C.. 2003. **Oxidation treatment of formaldehyde-containing wastewater by electro-fenton method**. Environmental Science Institute, South China University of Technology, Guangzhou, China.
- Kasetsinsombat, K., S. Wimolwattanapun, C. Manochnon and S. Klyprayong. 2001. Allergenic potential of *Typha angustifolia* allergy in Thailand. **40th Siriraj Scientific Congress, Siriraj Hospital**. 28: 240. **Mahidol University Annual Research Abstracts** 40 (2000): Abstract No.399.
- NIOSH Manual of Analytical Methods. 1994. fourthed., US Department Health, Education, and Welfare, method 3500(2).
- NIOSH Manual of Analytical Methods. 1977. second ed., vol. 1, US Department Health, Education, and Welfare, Publ.(NIOSH) 77-157-A.
- Penno, S.V., K. Cartwright, B.R. Hensel, I.G. Krapac and V.A. Nuzzo. 1999. **Impact of urban development on the chemical composition of ground water in a fen-wetland complex**. Wetlands 19 (1) : 236-245.
- Srisuda Sae-ung and Virote Boonamnuyvitaya. 2003. **Adsorption of formaldehyde vapor by using activated carbon prepared from coffee residue**. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.
- Wilcox, D.A. 1986. **The effect of deicing salts on vegetation in Pinhook Bog**, Indiana. Canadian Journal of Botany. 64 : 865-874.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถากับค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	16.80	17.03	16.47	16.77	0.28	16.18
4	15.96	15.74	15.62	15.77	0.17	21.13
5	16.52	16.58	16.35	16.48	0.12	17.63
6	17.31	17.20	17.31	17.27	0.06	13.65
7	17.48	17.64	17.42	17.51	0.11	12.43
8	17.76	17.98	17.64	17.79	0.17	11.03
9	17.87	18.20	17.76	17.94	0.23	10.28

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	18.34	18.06	18.32	8.81	0.78	8.81
4	18.06	18.15	18.41	8.96	0.92	8.96
5	18.24	18.24	18.51	8.35	0.76	8.35
6	18.34	17.97	17.85	9.74	1.26	9.74
7	18.06	17.87	17.67	10.67	0.98	10.67
8	17.50	17.41	17.57	12.52	0.41	12.52
9	17.69	17.78	17.67	11.44	0.30	11.44

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วกับปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์

ปริมาณ บัฟเฟอร์ (มิลลิลิตร/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
60	16.52	16.52	16.52	16.52	0.00	18.45
90	16.03	15.97	15.97	15.99	0.03	21.17
120	15.86	15.92	15.86	15.88	0.03	21.71
150	15.70	15.64	15.64	15.66	0.03	22.79
180	15.31	15.31	15.31	15.31	0.00	24.42

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของตะกอนดินกับปริมาณบัฟเฟอร์

ปริมาณ บัฟเฟอร์ (มิลลิลิตร/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
60	17.67	17.29	17.57	17.51	0.20	12.45
90	16.83	16.83	16.45	16.70	0.22	16.49
120	16.45	15.89	16.03	16.12	0.29	19.37
150	15.94	15.33	15.75	15.67	0.31	21.63
180	15.57	15.15	15.19	15.30	0.23	23.49

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถาวยากับความเร็วรอบการปั่นกววน

ความเร็วรอบ การปั่นกววน (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	18.94	18.73	18.41	18.70	0.27	6.52
50	16.25	16.30	16.04	16.20	0.14	19.02
100	15.67	15.88	15.77	15.77	0.11	21.14
150	17.36	17.52	17.62	17.50	0.13	12.51
200	17.78	17.46	17.68	17.64	0.16	11.80

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเร็วรอบการปั่นกววน

ความเร็วรอบ การปั่นกววน (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	17.78	18.02	18.17	17.99	0.20	10.05
50	16.62	16.72	16.82	16.72	0.10	16.40
100	17.30	17.49	17.44	17.41	0.10	12.95
150	17.39	17.49	17.54	17.47	0.08	12.62
200	17.59	17.49	17.54	17.54	0.05	12.30

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญีกับระยะเวลา
ปั่นกวน

ระยะเวลา ปั่นกวน (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	16.20	16.14	16.20	16.18	0.03	19.10
30	15.93	15.88	15.83	15.88	0.05	20.60
60	15.71	15.67	15.77	15.72	0.05	21.41
90	15.71	15.67	15.77	15.72	0.05	21.41
120	15.66	15.67	15.72	15.68	0.03	21.59

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับระยะเวลา
ปั่นกวน

ระยะเวลา ปั่นกวน (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	17.30	17.35	17.20	17.28	0.08	13.56
30	16.90	17.20	17.05	17.05	0.15	14.36
60	16.80	16.70	16.65	16.72	0.08	16.40
90	17.35	17.30	17.40	17.35	0.05	13.23
120	17.50	17.60	17.70	17.60	0.10	11.98

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถาญีกับ
ระยะเวลาสัมผัสด

ระยะเวลา สัมผัสด (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	16.09	16.20	16.31	16.20	0.11	19.00
30	15.66	15.77	15.82	15.75	0.08	21.32
60	15.60	15.66	15.77	15.68	0.09	21.62
90	15.44	15.55	15.60	15.53	0.08	21.98
120	15.50	15.44	15.44	15.46	0.03	22.24

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับ
ระยะเวลาสัมผัสด

ระยะเวลา สัมผัสด (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	17.82	18.22	17.74	17.93	0.26	10.37
30	16.74	16.84	16.75	16.78	0.06	16.13
60	17.43	17.58	17.34	17.45	0.12	12.75
90	17.73	17.92	17.93	17.86	0.11	10.66
120	18.42	18.12	18.33	18.29	0.15	8.55

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของถ่านรูปถั่วกับ
 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์

ความเข้มข้น เริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	7.75	7.78	7.83	7.79	0.04	22.11
20	15.64	15.75	15.86	15.75	0.11	21.24
30	24.93	24.77	24.66	24.79	0.14	17.38
40	34.11	33.89	34.00	34.00	0.11	14.99
50	43.79	43.90	44.01	43.90	0.11	12.20

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับความเข้มข้นของ
 สารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์

ความเข้มข้น เริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	8.16	8.22	8.27	8.22	0.06	17.80
20	16.96	16.63	16.74	16.78	0.17	16.12
30	25.87	25.76	25.92	25.85	0.08	13.84
40	35.54	35.38	35.65	35.52	0.14	11.19
50	45.49	44.94	45.33	45.25	0.28	9.49

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่านกับปริมาณ
ถ่านรูปถ่าน

ปริมาณ ถ่านรูปถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	7.95	7.97	8.02	7.98	0.04	20.20
1	7.81	7.76	7.8	7.79	0.03	22.08
1.5	7.68	7.55	7.59	7.61	0.07	23.96
2	7.59	7.44	7.48	7.50	0.08	24.98
2.5	7.49	7.3	7.37	7.39	0.10	26.00

ตารางผนวกที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟอรั่มลดีไฮด์ของถ่านรูปถ่าน

ปริมาณ ถ่านรูปถ่าน (กรัม)	C_0	C	V (ml)	q	1/q	1/C	log q	log C
0.5	10	7.98	50	0.20	4.95	0.1253	-0.69	0.9020
1	10	7.79	50	0.11	9.05	0.1284	-0.96	0.8915
1.5	10	7.61	50	0.08	12.55	0.1314	-1.10	0.8814
2	10	7.50	50	0.06	16.00	0.1333	-1.20	0.8751
2.5	10	7.39	50	0.05	19.16	0.1353	-1.28	0.8686

ตารางผนวกที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของตะกอนดินกับปริมาณตะกอนดิน

ปริมาณ ตะกอน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	8.68	8.54	8.53	8.58	0.08	14.13
1	8.25	8.21	8.11	8.19	0.07	18.09
1.5	7.97	7.98	7.92	7.96	0.03	20.45
2	7.83	7.74	7.68	7.75	0.08	22.50
2.5	7.64	7.46	7.49	7.53	0.10	24.70

ตารางผนวกที่ 16 ไอโซเทอร์มการดูดซับของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียบริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด

ปริมาณ ตะกอน (กรัม)	C_0	C	V (ml)	q	1/q	1/C	log q	log C
0.5	10	8.58	50	0.14	7.04	0.1166	-0.85	0.9335
1	10	8.19	50	0.09	11.05	0.1221	-1.04	0.9133
1.5	10	7.96	50	0.07	14.71	0.1256	-1.17	0.9009
2	10	7.75	50	0.06	17.78	0.1290	-1.25	0.8893
2.5	10	7.53	50	0.05	20.24	0.1328	-1.31	0.8768

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถั่ว		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ค่าพีเอช	ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัส มัลดีไฮด์	ค่าพีเอช	ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัส มัลดีไฮด์
3	16.18 ^B	3	8.81 ^D
4	21.13 ^A	4	8.96 ^D
5	17.63 ^B	5	8.35 ^D
6	13.65 ^C	6	9.74 ^{CD}
7	12.43 ^{CD}	7	10.67 ^{BC}
8	11.03 ^{DE}	8	12.52 ^A
9	10.28 ^E	9	11.44 ^{AB}

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสมัลดีไฮด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณบัพเฟอร์ทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถั่ว		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ปริมาณบัพเฟอร์ (มิลลิลิตร/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัส มัลดีไฮด์	ปริมาณบัพเฟอร์ (มิลลิลิตร/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัส มัลดีไฮด์
60	18.45 ^E	60	12.45 ^D
90	21.17 ^D	90	16.49 ^C
120	21.71 ^C	120	19.37 ^B
150	22.79 ^B	150	21.63 ^{AB}
180	24.42 ^A	180	23.49 ^A

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสมัลดีไฮด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบการปั่นกวนทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถั่ว		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ความเร็วรอบการปั่น กวน (รอบ/นาที)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์	ความเร็วรอบการปั่น กวน (รอบ/นาที)	ร้อยละการดูด ซับฟอรั่มัลดีไฮด์
0	6.52 ^D	0	10.05 ^C
50	19.02 ^B	50	16.40 ^A
100	21.14 ^A	100	12.95 ^B
150	12.51 ^C	150	12.62 ^B
200	11.80 ^C	200	12.30 ^B

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาปั่นกวนทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถั่ว		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ระยะเวลาปั่นกวน (นาที)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์	ระยะเวลาปั่นกวน (นาที)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์
10	19.10 ^C	10	13.56 ^C
30	20.60 ^B	30	14.36 ^B
60	21.41 ^A	60	16.40 ^A
90	21.41 ^A	90	13.23 ^C
120	21.59 ^A	120	11.98 ^D

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาสัมผัสทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถั่ว		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์	ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์
10	19.00 ^C	10	10.37 ^C
30	21.32 ^B	30	16.13 ^A
60	21.62 ^{AB}	60	12.75 ^B
90	21.98 ^{AB}	90	10.66 ^C
120	22.24 ^A	120	8.55 ^D

หมายเหตุ XX^x: ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถั่ว		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์
10	22.11 ^A	10	17.80 ^A
20	21.24 ^B	20	16.12 ^B
30	17.38 ^C	30	13.84 ^C
40	14.99 ^D	40	11.19 ^D
50	12.20 ^E	50	9.49 ^E

หมายเหตุ XX^x: ร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวดูดซับทางสถิติโดยวิธี Duncan

ถ่านรูปถ่าน		ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
ปริมาณถ่านรูปถ่าน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัส มิลลิไฮโดรเจน	ปริมาณตะกอน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัส มิลลิไฮโดรเจน
0.5	20.20 ^E	0.5	14.13 ^E
1	22.08 ^D	1	18.09 ^D
1.5	23.96 ^C	1.5	20.45 ^C
2	24.98 ^B	2	22.50 ^B
2.5	26.00 ^A	2.5	24.70 ^A

หมายเหตุ XX^x: ร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสมิลลิไฮโดรเจนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ 24 ผลของประสิทธิภาพของถ่านรูปถาวยี่ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

ชั่วโมงที่	ร้อยละการดูดซับ			
	20 มิลลิลิตร/นาที่	40 มิลลิลิตร/นาที่	60 มิลลิลิตร/นาที่	80 มิลลิลิตร/นาที่
1	32.02	18.85	11.85	4.85
2	21.75	11.31	8.83	3.35
3	13.49	8.11	6.56	2.34
4	7.65	6.22	4.79	1.51
5	5.44	4.15	2.52	1.00
6	3.22	3.02	1.77	0.17
7	2.42	1.88	1.26	0.00
8	1.61	1.13	0.50	
9	0.81	0.38	0.00	
10	0.40	0.00		
11	0.00			

ตารางผนวกที่ 25 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชด้วยผ่านรูปถ่ายแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

ชั่วโมง ที่	อัตราการไหล							
	20 มิลลิลิตร/นาที่		40 มิลลิลิตร/นาที่		60 มิลลิลิตร/นาที่		80 มิลลิลิตร/นาที่	
	คุณภาพ	ร้อยละการ	คุณภาพ	ร้อยละการ	คุณภาพ	ร้อยละการ	คุณภาพ	ร้อยละการ
	น้ำ	เปลี่ยนแปลง	น้ำ	เปลี่ยนแปลง	น้ำ	เปลี่ยนแปลง	น้ำ	เปลี่ยนแปลง
1	9.5	57.89	9.5	57.89	9.8	59.18	9.8	59.18
2	9.8	59.18	9.2	56.52	9.5	57.89	9.8	59.18
3	9.7	58.76	8.9	55.06	9.4	57.45	9.3	56.99
4	9.6	58.33	8.6	53.49	9.3	56.99	8.7	54.02
5	9.3	56.99	8.2	51.22	8.7	54.02	8.1	50.62
6	9.1	56.04	8	50.00	8.4	52.38	7.5	46.67
7	8.9	55.06	7.8	48.72	8.1	50.62	7.5	46.67
8	8.9	55.06	7.8	48.72	7.9	49.37		
9	8.8	54.55	7.7	48.05	7.7	48.05		
10	8.6	53.49	7.5	46.67				
11	8.4	52.38						

ตารางผนวกที่ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำด้วยถ่านรูปทรงแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

ชั่วโมง ที่	อัตราการไหล							
	20 มิลลิลิตร/นาที่		40 มิลลิลิตร/นาที่		60 มิลลิลิตร/นาที่		80 มิลลิลิตร/นาที่	
	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด
	(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)	
1	857.0	-2496.97	637.6	-1832.12	565.2	-1612.73	524.3	-1488.79
2	345.1	-945.76	132.1	-300.30	113.2	-243.03	102.0	-209.09
3	160.8	-387.27	75.5	-128.79	67.2	-103.64	55.6	-68.48
4	123.2	-273.33	62.5	-89.39	61.9	-87.58	50.3	-52.42
5	70.4	-113.33	61.4	-86.06	56.3	-70.61	46.7	-41.52
6	69.2	-109.70	56.9	-72.42	54.0	-63.64	42.2	-27.88
7	65.0	-96.97	52.6	-59.39	48.7	-47.58	38.6	-16.97
8	59.2	-79.39	49.0	-48.48	42.6	-29.09		
9	57.1	-73.03	45.8	-38.79	39.8	-20.61		
10	54.3	-64.55	44.7	-35.45				
11	49.4	-49.70						

ตารางผนวกที่ 27 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำด้วยถ่านรูปทรงแปดหน้าต่อเนื้อที่อัตราการใช้
ต่างกัน

ชั่วโมง ที่	อัตราการใช้							
	20 มิลลิลิตร/นาที่		40 มิลลิลิตร/นาที่		60 มิลลิลิตร/นาที่		80 มิลลิลิตร/นาที่	
	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ
	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด
	(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)	
1	51660	-4134.43	44644	-3558.82	39285	-3120.72	27842	-2182.58
2	15773	-1192.83	6307	-416.89	4946	-305.49	3465	-184.07
3	7502	-514.92	2691	-120.54	2115	-73.39	2007	-64.54
4	4127	-238.28	2192	-79.65	1809	-48.31	1722	-41.18
5	3222	-164.10	1733	-42.03	1699	-39.29	1645	-34.86
6	3002	-146.07	1625	-33.18	1569	-28.63	1508	-23.63
7	2957	-142.38	1539	-26.13	1531	-25.52	1367	-12.07
8	2552	-109.18	1483	-21.54	1377	-12.89		
9	2349	-92.54	1354	-10.97	1278	-4.77		
10	2263	-85.49	1310	-7.36				
11	2102	-72.30						

ตารางผนวกที่ 28 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยถ่านรูปลายีแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

ชั่วโมง ที่	อัตราการไหล							
	20 มิลลิลิตร/นาที่		40 มิลลิลิตร/นาที่		60 มิลลิลิตร/นาที่		80 มิลลิลิตร/นาที่	
	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ
	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด
	(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)	
1	81650	-4278.02	78926	-4131.96	60450	-3141.77	56820	-2947.11
2	20150	-1409.38	10886	-483.70	8215	-340.55	5543	-197.26
3	12450	-567.56	4430	-137.53	3708	-98.85	3486	-86.94
4	6805	-264.88	3615	-93.83	3215	-72.41	2912	-56.32
5	5345	-186.60	2865	-53.62	2977	-59.65	2689	-44.20
6	4965	-166.22	2755	-47.72	2755	-46.67	2389	-28.44
7	4875	-161.39	2700	-44.77	2555	-37.02	2185	-17.07
8	4270	-128.95	2608	-39.84	2280	-22.27		
9	3910	-109.65	2387	-27.99	2134	-14.44		
10	3745	-100.80	2130	-14.21				
11	3470	-86.06						

ตารางผนวกที่ 29 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีด้วยถ่านรูปถั่วแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

ชั่วโมง ที่	อัตราการไหล							
	20 มิลลิลิตร/นาที่		40 มิลลิลิตร/นาที่		60 มิลลิลิตร/นาที่		80 มิลลิลิตร/นาที่	
	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด	คุณภาพ น้ำ	ร้อยละ การบำบัด
	(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)	
1	53.00	-165.00	45.76	-128.80	40.46	-102.30	37.00	-85.00
2	46.78	-133.90	40.00	-100.00	37.06	-85.30	33.42	-67.10
3	41.25	-106.25	37.44	-87.20	30.77	-53.85	27.89	-39.45
4	39.80	-99.00	34.88	-74.40	28.56	-42.80	24.31	-21.55
5	36.55	-82.75	31.52	-57.60	25.17	-25.85	22.78	-13.90
6	33.00	-65.00	29.92	-49.60	24.82	-24.10	21.67	-8.35
7	30.25	-51.25	28.64	-43.20	23.12	-15.60	20.40	-2.00
8	26.1	-30.50	25.44	-27.20	22.18	-10.90		
9	22.43	-12.15	22.06	-10.30	20.23	-1.15		
10	21.05	-5.25	20.44	-2.20				
11	20.78	-3.90						

ตารางผนวกที่ 30 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีด้วยถ่านรูปทรงแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลต่างกัน

ชั่วโมง ที่	อัตราการไหล							
	20 มิลลิลิตร/นาที		40 มิลลิลิตร/นาที		60 มิลลิลิตร/นาที		80 มิลลิลิตร/นาที	
	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ	คุณภาพ	ร้อยละ
	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด	น้ำ	การบำบัด
	(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)		(มิลลิกรัม /ลิตร)	
1	192	-100.00	184	-91.67	176	-83.33	164	-70.83
2	176	-83.33	164	-70.83	152	-58.33	136	-41.67
3	168	-75.00	160	-66.67	144	-50.00	128	-33.33
4	160	-66.67	152	-58.33	136	-41.67	120	-25.00
5	152	-58.33	144	-50.00	128	-33.33	112	-16.67
6	144	-50.00	136	-41.67	120	-25.00	104	-8.33
7	136	-41.67	128	-33.33	112	-16.67	96	0.00
8	128	-33.33	120	-25.00	104	-8.33		
9	120	-25.00	112	-16.67	96	0.00		
10	112	-16.67	104	-8.33				
11	104	-8.33						

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสโรชา หนูยัง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 พฤษภาคม 2528
สถานที่เกิด	สถานีอนามัยตำบลบ้านหนองหาด จังหวัดนครศรีธรรมราช อำเภอยะเอยว
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ประมง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-เจ้าหน้าที่โครงการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท ทีโอซี ไกลคอด จำกัดผ่านโครงการศึกษาวิจัยและ พัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก พระราชดำริ