



รายงานสหกิจศึกษาบับสมบูรณ์

การศึกษากระบวนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ด้วยวิธีการตกตะกอนและการดูดซับ
Study of Formaldehyde Removal Process using Coagulation and
Adsorption

นายสิทธิศานต์ ไตรสัตยา

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

การศึกษากระบวนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ด้วยวิธีการตกตะกอนและการดูดซับ

Study of Formaldehyde Removal Process using Coagulation and
Adsorption

นายสิทธิศานต์ ไตรสัตยา

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา : การศึกษากระบวนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ด้วยวิธีการตกตะกอนและ การดูดซับ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา : นายสิทธิศานต์ ไตรสัตยา

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา : วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ : ผศ.ดร.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน : นายวรพล พวงโกศล

สถานประกอบการ : บริษัท ไทยมิตซูซุสเปเชียลตีเคมีคอล จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้ เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ของ กระบวนการบำบัดน้ำเสียกระบวนการหนึ่งซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนใหญ่ๆทั้งหมด 2 ขั้นตอนคือ 1) การ ทำให้น้ำเสียตกตะกอนโดยใช้สารช่วยตกตะกอนที่มีชื่อทางการค้าว่า Micronice® Bio Separator - A (Sep-A) และ 2) การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เมื่อตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในสภาวะของ กระบวนการนี้เปลี่ยนไป โดยตัวแปรที่ผู้ทดลองได้ทำการเปรียบเทียบนั้นมีอยู่ทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ 1) ปริมาตรสารช่วยตกตะกอนที่ใส่ในขั้นตอนการตกตะกอน 2) อุณหภูมิของน้ำเสียในขั้นตอนการดูดซับ 3) สัดส่วนของมวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณของน้ำเสีย และ 4) จำนวนครั้งที่ใส่ถ่านกัมมันต์ใน การดูดซับ โดยเพื่อที่จะเปรียบเทียบ ผู้ทำการทดลองได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจริงเป็นแบตช์ขนาดเล็ก ทั้งหมด 5 แบตช์ ได้แก่ แบตช์ฐาน, แบตช์ 1 ซึ่งเหมือนกับแบตช์ฐานทุกประการ แต่เปลี่ยนปริมาตรสาร ช่วยตกตะกอนที่ใส่ในขั้นตอนการตกตะกอน, แบตช์ 2 ซึ่งเหมือนกับแบตช์ฐานทุกประการ แต่เปลี่ยน อุณหภูมิของน้ำเสียในขั้นตอนการดูดซับ, แบตช์ 3 ซึ่งเหมือนกับแบตช์ฐานทุกประการ แต่เปลี่ยนสัดส่วน ของมวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณของน้ำเสีย และ แบตช์ 4 ซึ่งเหมือนกับแบตช์ฐานทุก ประการ แต่ทดลองแยกใส่ถ่านกัมมันต์ 2 ครั้งในขั้นตอนการดูดซับ และจึงนำแต่ละแบตช์มาเปรียบเทียบ กันว่าผลการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละแบตช์แตกต่างกันอย่างไร

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสีย, ถ่านกัมมันต์, ฟอร์มาลดีไฮด์, การตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์, การดูดซับ

Cooperative Title : Study of Formaldehyde Removal Process using Coagulation and Adsorption
Student Intern Name : Mr.Sitthisan Trisattaya
Faculty : Engineering
Department : Chemical Engineering
Advisor Name : Asst.prof. Siripan Murathathunyaluk
Mentor Name : Mr.Worapol Puangkosol
Company : Thai Mitsui Specialty Chemicals Co., Ltd.

Abstract

This study is a comparison of the Formaldehyde Removal Efficiency of a Wastewater Treatment Process where Formaldehyde is removed from the Wastewater contaminated with Formaldehyde and N-Butanol when 4 parameters in the Process Condition are varied one at a time while the other parameters remain unchanged. The Removal Process is composed of two major steps which are 1) Coagulation by using a Natural Coagulant having Micronice® Bio Separator - A (Sep-A) as its Trade Name and 2) Adsorption in an agitation batch by using Coconut Shell-Based Activated Carbon. In this study, the 4 varied parameters include 1) Volume of the Coagulant used in the Coagulation Step, 2) Temperature of the Wastewater in the Adsorption Process, 3) Ratio between mass of the Activated Carbon used and volume of the Wastewater, and 4) Number of times that the Activated Carbon is introduced into the batch (Pour in all Activated Carbon at once vs. pour in half of the Activated Carbon first, then pour in the other half after the first time Adsorption is complete). In order to make the comparison, 5 batches of Lab-Scaled Formaldehyde Removal Process are prepared for observation, which include Base Batch, Batch 1 in which the Volume of Coagulant is varied, Batch 2 in which the Temperature is varied, Batch 3 in which the ratio is varied, and Batch 4 in which the Number of times that Activated Carbon is introduced is varied.

Keywords : Wastewater Treatment, Activated Carbon, Formaldehyde, Coagulation, Adsorption

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษากระบวนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีการตกตะกอนและการดูดซับนี้สำเร็จได้ด้วย การดูแล ความช่วยเหลือ การแนะนำและการติดตามเป็นอย่างดีของคุณวรพล พ่วงโกศล ผู้จัดการแผนกสาธารณูปโภคแห่งบริษัท ไทยมิทซูสเปเซียลตีเคมิคอล จำกัด และ ผศ.ดร.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ แห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้จัดทำโครงการนี้ขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยมิทซูสเปเซียลตีเคมิคอล จำกัด ที่ได้ให้โอกาสให้ผู้จัดทำเข้ามาทำโครงการร่วมกับทางบริษัท รวมถึงการสนับสนุนข้อมูลต่างๆ

ขอขอบพระคุณทางทีมงานฝ่ายสาธารณูปโภคของทางบริษัท ไทยมิทซูสเปเซียลตีเคมิคอล จำกัด ที่คอยให้คำปรึกษา และความรู้ข่าวสารต่างๆเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงาน ซึ่งได้นำมาพิจารณาในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ทางคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำสำหรับโครงการครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำรูปเล่มโครงการ

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ประวัติโดยย่อของสถานประกอบการ [1].....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาตรวจสอบ.....	2
1.4.2 ตัวแปรสถานะที่จะทำการเปรียบเทียบ	2
1.4.3 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.5.1 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอน	3
1.5.2 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์	4
1.5.3 การกรองถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำเสีย	4
1.5.4 การฉีด GC.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) [2]-[7].....	7
2.1.1 คำอธิบาย	7

2.1.2	อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการดูดซับ	7
2.1.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	8
2.2	กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) [8]-[9].....	11
2.2.1	คำอธิบาย	11
2.2.2	ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการไพโรไลซิส	12
2.2.3	ชนิดของกระบวนการไพโรไลซิส	12
2.3	ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) [10]-[20].....	13
2.3.1	คำอธิบาย	13
2.3.2	วัตถุดิบของถ่านกัมมันต์	14
2.3.3	กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	14
2.3.4	การนำมาใช้งานของถ่านกัมมันต์	18
2.3.5	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	18
2.4	กระบวนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวตกตะกอน (Coagulation) [21]-[27].....	20
2.4.1	รายละเอียดของคอลลอยด์.....	20
2.4.2	คุณสมบัติของอนุภาคคอลลอยด์	20
2.4.3	เสถียรภาพของคอลลอยด์ (Colloidal Stability).....	23
2.4.4	การทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวตกตะกอน (Coagulation).....	24
2.5	ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) [28]-[33].....	27
2.5.1	คำอธิบาย	27
2.5.2	คุณสมบัติ.....	28
2.5.3	การประยุกต์ใช้.....	29
2.5.4	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งของโรงงาน พ.ศ.2560	30
2.6	กระบวนการอื่นๆที่สามารถใช้กำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ [34]-[40]	31
2.6.1	Fenton Process.....	31

2.6.2 Photocatalysis	31
2.6.3 การเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการ	33
2.7 เอ็น-บิวทานอล (N-Butanol) [41]-[42].....	35
2.7.1 คำอธิบาย	35
2.7.2 คุณสมบัติ.....	35
2.7.3 การประยุกต์ใช้.....	36
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
2.8.1 การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์ และ เอทิลีนไกลคอล ด้วยถ่านกัมมันต์ [32].....	36
2.8.2 Evaluation of wastewater treatment contaminated with Formaldehyde by using activated carbon prepared from cypress leaf. [33].....	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2 สารที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.3 การเตรียมการก่อนการทดลอง	45
3.3.1 การเตรียมสารต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.3.2 การวัดความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ในน้ำเสียดิบ	46
3.4 สมมุติฐานในการทดลอง	47
3.5 การทดลอง.....	47
3.5.1 ขั้นตอนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการตกตะกอน.....	47
3.5.2 ขั้นตอนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์	48
3.5.3 ขั้นตอนการกรองถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำเสีย	50
3.5.4 ขั้นตอนการฉีด GC.....	50
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	51
4.1 ผลการวัดความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ในน้ำเสียเริ่มต้น.....	51

4.2 ผลการทดลองในแต่ละแบคทีเรีย.....	51
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	62
ก. รายละเอียดของสารช่วยตกตะกอน Micro-Nice® Bio Separator - A [43].....	62
ข. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ที่ใช้ในการทดลอง.....	67
ค. รายละเอียดของกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman™ Grade 2.....	67
ง. การคำนวณผลการทดลองในแต่ละแบคทีเรีย.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	72

สารบัญญัตินี้

ตารางที่ 2.1 ชื่อเรียกและตัวอย่างของคอลลอยด์ตามเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจายตัวชนิดต่างๆ	20
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการที่สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้.....	34
ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการตกตะกอน สำหรับทุกแบคทีเรีย.....	48
ตารางที่ 3.2 ขั้นตอนการดูดซับสำหรับทุกแบคทีเรียยกเว้นแบคทีเรีย 4.....	49
ตารางที่ 3.3 ขั้นตอนการดูดซับสำหรับแบคทีเรีย 4.....	50
ตารางที่ 4.1 ผลการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในทุกแบคทีเรีย.....	53
ตารางที่ 4.2 ผลการกำจัดเอ็น-บิวทานอลในทุกแบคทีเรีย.....	54
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละแบคทีเรีย.....	55
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด เอ็น-บิวทานอล ในแต่ละแบคทีเรีย.....	55
ตารางที่ 6.1 ผลการวัดค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ.....	68
ตารางที่ 6.2 ผลการวัดค่าความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอล ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ.....	68

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แบบจำลองอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับ [5].....	8
รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี [6].	10
รูปที่ 2.3 ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดเล็กละเอียด (Granular) [11].....	13
รูปที่ 2.4 ภาพขยายจากกล้อง SEM แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ [11]	13
รูปที่ 2.5 ทฤษฎีประจุไฟฟ้า 2 ชั้น (Electric Double Layer Theory) [24].....	22
รูปที่ 2.6 ทฤษฎี DLVO [24].....	23
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเคมีของ พอร์มาลดีไฮด์	27
รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเชื่อมต่อโครงสร้าง (Crosslinking) ระหว่างโปรตีน 2 โมเลกุล ที่เกิดขึ้นโดยมีพอร์มาลดีไฮด์ เป็นตัวเชื่อมต่อโครงสร้าง (Crosslinker).....	28
รูปที่ 2.9 โครงสร้างเคมีของ เอ็น-บิวทานอล.....	35
รูปที่ 2.10 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับพอร์มาลดีไฮด์ที่ pH ต่างๆในงานวิจัยของคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์, คุณนิพนธ์ ตังคนานุรักษ์ และ คุณวิथा ปันสุวรรณ [32].....	38
รูปที่ 2.11 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับพอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นพอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นต่างๆในงานวิจัยคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ และทีมงาน [32].....	38
รูปที่ 2.12 ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับพอร์มาลดีไฮด์ที่มวลของถ่านกัมมันต์ต่างๆต่อปริมาตรน้ำเสีย 50 mL ในงานวิจัยคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ และทีมงาน [32]	39
รูปที่ 2.13 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับพอร์มาลดีไฮด์ที่ pH ต่างๆในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33].....	41
รูปที่ 2.14 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับพอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นพอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นต่างๆในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33].....	42
รูปที่ 2.15 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับพอร์มาลดีไฮด์ที่อุณหภูมิของน้ำเสียต่างๆ ในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33].....	43

รูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อใช้เวลาในการดูดซับต่างๆ ในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33].....	43
รูปที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียดิบจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins	45
รูปที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของสารช่วยตกตะกอน Sep-A.....	46
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ ตลอดการดูดซับ	51
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล ตลอดการดูดซับ	52
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ ตลอดการดูดซับ	52
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล ตลอดการดูดซับ	53
รูปที่ 6.1 เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสาร Micro-Nice® Bio Separator - A [43].....	66



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ประวัติโดยย่อของสถานประกอบการ [1]

บริษัท ไทยมิทซูสเปเชียลตี้เคมีคอล จำกัด ถูกก่อตั้งขึ้นในวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ.2540 เป็นบริษัทที่แตกแขนงออกมาจาก Mitsui Chemical Inc. ซึ่งเป็นบริษัทแม่ตั้งอยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น เป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจประเภทเคมีภัณฑ์ ในปัจจุบันนี้ บริษัทฯมีการผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ 1) ผลิตภัณฑ์จำพวก Resins ซึ่งแบ่งเป็น Water-Based Resins ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตสีน้ำ กาว กับ Solvent-Based Resins ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตสีทาผนัง และ 2) ผลิตภัณฑ์จำพวกโพลีเมอร์ที่เป็น Urethane Chemicals ต่างๆ เช่น โพลีเมอร์ฉนวน โพลีเมอร์เคลือบผิว โพลีเมอร์สีทาผนัง เป็นต้น

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบัน บริษัท ไทยมิทซูสเปเชียลตี้เคมีคอล จำกัด จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดน้ำเสียทั้งหมด ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในส่วนของกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins ไปบำบัดที่หน่วยงานภายนอก เนื่องจากน้ำเสียในกระบวนการผลิตดังกล่าว มีสารพิษฟอร์มาลดีไฮด์เจือปนอยู่ ซึ่งสารพิษชนิดนี้สามารถทำให้เชื้อจุลินทรีย์ในบ่อ Sequence Batch Bio-Reactor ที่เป็นบ่อบำบัดบ่อหนึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานซึ่งทำหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย นั้นเกิดอาการช็อคตัว และไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ทำให้บริษัทฯ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนี้เพิ่มเติม บริษัทฯจึงจัดทำโครงการนี้ขึ้นเพื่อหาแนวทางการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียของตนเอง ซึ่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins นี้ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดตามปกติของบริษัทฯ จะต้องผ่านการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ก่อน

สำหรับกระบวนการนี้ บริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นบริษัทเสนอจำหน่ายสารเคมีหลากหลายชนิด นั้นก็ได้มาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องการบำบัดน้ำเสียนี้ว่า ขั้นตอนแรก จะต้องทำให้น้ำเสียดังกล่าวตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนที่สามารถไปลดประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาเป็นชั้นของตะกอนด้านล่างก่อน โดยสามารถใช้สารช่วยตกตะกอนจากธรรมชาติซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Micro-Nice® Bio Separator - A (Sep-A) จัดจำหน่ายโดย บริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด แล้วค่อยแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ด้านบนของชั้นตะกอนออกมาผ่านการกวนโดยใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในการกำจัดสารพิษดังกล่าว อย่างไรก็ตาม บริษัทฯยังไม่ทราบอย่างแน่ชัดว่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการนี้สามารถส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับ โครงการนี้จึงถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดทำขึ้นเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนตัวแปรสถานะต่างๆในกระบวนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ดังกล่าว

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins ให้มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงจนสามารถนำน้ำเสียดังกล่าวมาบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียตามปกติของโรงงานได้ในอนาคต
- 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ Sep-A ในการตกตะกอน และ ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาตรวจสอบ

เป็นตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins ซึ่งถูกเก็บไว้อยู่ที่แผนกบำบัดน้ำเสียของบริษัท ไทยมิตซูซุสเปเชียลตีเคมีคอล จำกัด

1.4.2 ตัวแปรสถานะที่จะทำการเปรียบเทียบ

- 1) ตัวแปรสถานะที่จะทำการเปรียบเทียบ (ตัวแปรต้น) ของโครงการนี้มีดังนี้ :
 - ปริมาตรของสารช่วยตกตะกอนที่ใช้ในขั้นตอนการตกตะกอน
 - อุณหภูมิของน้ำเสียในขั้นตอนการดูดซับ
 - สัดส่วนระหว่างมวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณน้ำเสีย
 - จำนวนครั้งในการใส่ถ่านกัมมันต์เข้าไปดูดซับ
- 2) ตัวแปรที่ใช้ติดตามผลการทดลอง (ตัวแปรตาม) ของโครงการนี้มีดังนี้ :
 - ความเข้มข้นสุดท้ายของฟอร์มาลดีไฮด์หลังกระบวนการดูดซับ
 - เวลาที่ใช้ในกระบวนการดูดซับที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มคงที่
- 3) ตัวแปรที่มีการควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง (ตัวแปรควบคุม) ของโครงการนี้มีดังนี้ :
 - ความดันสัมบูรณ์ = 1 atm
 - ความเร็วรอบในการกวน = 200 rpm

1.4.3 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่วันที่ 06/08/2561 จนถึงวันที่ 23/11/2561 รวมเป็นเวลาทั้งหมด 16 สัปดาห์ โดยคิดเป็นจำนวนวันทั้งหมด 110 วัน เมื่อไม่รวมวันหยุดต่างๆ

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนั้นจะเป็นการทดลองนำน้ำเสียของโรงงานจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins มาทดลองทำการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์จริงในห้องทดลองในรูปแบบของแบคทีเรียหลายๆแบคทีเรียที่จะนำมาเปรียบเทียบกับว่าความเข้มข้นสุดท้ายของฟอร์มาลดีไฮด์ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ในขั้นตอนการดูดซับของแต่ละแบคทีเรานั้น แตกต่างกันอย่างใด โดยในแต่ละแบคทีเรีย จะมีขั้นตอนหลักๆอยู่ 4 ขั้นตอน ดังนี้ :

1.5.1 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอน

เนื่องจากในน้ำเสียตัวอย่าง มีอนุภาคคอลลอยด์เจือปนอยู่ ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์ดังกล่าวนี้ อาจเข้าไปรบกวนความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้ ผู้ทำการทดลองจึงได้รับคำแนะนำโดยตรงจากบริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด ให้ทำการแยกอนุภาคคอลลอยด์ดังกล่าวออกจากน้ำเสียโดยใช้ Sep-A (ดูรายละเอียดของ Sep-A ได้ที่ ภาคผนวก ก. เป็นสารช่วยตกตะกอน (Coagulant) ซึ่ง Sep-A นี้จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำเสียเกิดการตกตะกอนลงมารวมตัวอยู่ที่ส่วนล่างของน้ำเสีย จึงส่งผลให้น้ำเสียส่วนบนปราศจากอนุภาคคอลลอยด์และมีลักษณะใส แล้วจึงแยกน้ำเสียส่วนบนมาทำการทดลองต่อไป ดังนั้นผลสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ ได้น้ำเสียที่ปราศจากอนุภาคคอลลอยด์

สำหรับการใช้ Sep-A นั้น ทางผู้ทำการทดลอง ได้รับคำแนะนำจากผู้จัดจำหน่าย Sep-A มาว่า จากผลการทดลองของบริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด การใช้ Sep-A ในกรณีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins ของบริษัท ไทยมิทซูสเปเซียลตีเคมีคอล จำกัด นั้นจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อทำตามขั้นตอนซึ่งเรียงตามลำดับได้ดังต่อไปนี้

- 1) ปรับ pH ของน้ำเสียให้เป็น 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (น้ำเสียดังกล่าว มี pH = 6.26 ซึ่งน้อยกว่า 8)
- 2) ใส่ Sep-A ลงในน้ำเสียจนกว่าน้ำเสียจะมี pH อยู่ในช่วงระหว่าง 4 ถึง 5 (Sep-A มีฤทธิ์เป็นกรด)
- 3) ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน

1.5.2 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนหลักที่ฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกกำจัดออก โดยใช้ถ่านกัมมันต์เข้าไปในน้ำเสีย ปรากฏจากอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ในขั้นตอนนี้ ผู้ทำการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียโดยใช้หลอดดูดสารพลาสติกใสขวด GC แต่ละขวดตลอดระยะเวลาการดูดซับ เพื่อดูแนวโน้มการลดลงของฟอร์มาลดีไฮด์ตลอดการดูดซับ ในระหว่างที่เกิดการดูดซับขึ้น จะมีการกวนน้ำเสีย โดยใช้เครื่องกวนด้วยเพื่อให้น้ำเสียนั้นมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากันทุกส่วนของสารละลายตลอดการดูดซับ ซึ่งผลสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ ได้ตัวอย่างน้ำเสียหลายๆตัวอย่าง ซึ่งเป็นน้ำเสียหลังผ่านการดูดซับในระยะเวลาที่ต่างกัน โดยน้ำเสียที่เก็บได้นี้ ยังคงมีถ่านกัมมันต์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย

1.5.3 การกรองถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำเสียที่บรรจุอยู่ในขวด GC แต่ละขวดยังคงมีถ่านกัมมันต์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งถ่านกัมมันต์ดังกล่าวนี้ อาจเข้าไปอุดตันในส่วนคอลัมน์ของเครื่อง GC ได้ ผู้ทำการทดลองจึงมองเห็นความสำคัญว่าควรแยกถ่านกัมมันต์นี้ออกจากตัวอย่างน้ำเสียแต่ละขวดก่อนที่จะไปฉีด GC โดยในส่วนของ การกรอง ผู้ทำการทดลองได้ใช้กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman™ Grade 2 ในการกรองถ่านกัมมันต์ออก หลังผ่านการกรองแล้ว จะได้ตัวอย่างน้ำเสียหลายๆตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำเสียที่พร้อมฉีด GC แล้ว

1.5.4 การฉีด GC

เพื่อดูแนวโน้มการลดลงของฟอร์มาลดีไฮด์ตลอดระยะเวลาในการดูดซับ ผู้ทำการทดลองจำเป็นต้องรู้ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ของน้ำเสียแต่ละตัวอย่างที่ได้เก็บมา จึงต้องนำตัวอย่างน้ำเสียแต่ละตัวอย่างไปฉีด GC เพื่อหาความเข้มข้นดังกล่าว และนอกจากฟอร์มาลดีไฮด์แล้ว เครื่อง GC ดังกล่าวนี้อีกก็สามารถแสดงค่าความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอลด้วย ผู้ทำการทดลองจึงได้รับมอบหมายให้ทำการบันทึกค่าเอ็น-บิวทานอลเพื่อเป็นข้อมูลเสริมด้วย ดังนั้น ผลสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ ได้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์และเอ็น-บิวทานอลของน้ำเสียตัวอย่างที่เก็บมาตลอดระยะเวลาการดูดซับ

สำหรับการทดลองนี้ ผู้ทดลองได้ทำการทดลองทั้งหมด 5 แบทช์ ประกอบไปด้วย แบทช์ฐาน, แบทช์ 1, แบทช์ 2, แบทช์ 3 และ แบทช์ 4 ซึ่งแบทช์ฐานจะเป็นแบทช์ที่ผู้ทำการทดลองเลือกใช้สภาวะดังต่อไปนี้

- ปริมาณ Sep-A ที่ใช้ : ใส่จนน้ำเสียมี pH = 5 (pH เริ่มต้นของน้ำเสียคือ 6.26)
- ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ : ใส่ให้มีอัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรน้ำเสียเป็น 1 g : 2 mL

- อุณหภูมิของน้ำเสียในทุกขั้นตอนของการทดลอง = 31.4 °C (อุณหภูมิห้องที่ใช้ทดลอง)
- ความเร็วรอบในการกวนน้ำเสียในขั้นตอนการดูดซับ = 200 rpm
- ความดันภายในระบบตลอดการทดลอง = 1 atm
- ปริมาณน้ำเสียเริ่มต้น (ก่อนแยกอนุภาคคอลลอยด์ออก) = 300 mL
- ปริมาณน้ำเสียหลังตกตะกอน (หลังแยกอนุภาคคอลลอยด์ออก) = 200 mL.

ส่วนแบตเตอรี่ 1, แบตเตอรี่ 2, แบตเตอรี่ 3 จะเป็นแบตเตอรี่ที่มีขั้นตอนทดลองเหมือนแบตเตอรี่ฐานทุกประการ แต่ปรับเปลี่ยนตัวแปรสถานะตัวแปรหนึ่งไปจากแบตเตอรี่ฐาน ดังต่อไปนี้

- สำหรับแบตเตอรี่ 1 : ทดลองเปลี่ยน ปริมาณการใส่ Sep-A จาก ใส่จน pH ของน้ำเสีย = 5 ไปเป็น pH ของน้ำเสีย = 4
- สำหรับแบตเตอรี่ 2 : ทดลองเปลี่ยน อุณหภูมิของน้ำเสียในขั้นตอนการดูดซับ จากอุณหภูมิห้อง (31.4 °C) ไปเป็น 60 °C
- สำหรับแบตเตอรี่ 3 : ทดลองเปลี่ยน ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในขั้นตอนการดูดซับ จาก ใช้ อัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณน้ำเสียเป็น 1 g : 2 mL ไปเป็น 1 g : 4 mL

ซึ่งเป้าหมายของการทดลองนี้คือ การนำแบตเตอรี่ 1, แบตเตอรี่ 2, แบตเตอรี่ 3 มาเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ฐาน ว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังการดูดซับและเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มคงที่นั้นเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ฐาน

ส่วนแบตเตอรี่ 4 นั้นเป็นแบตเตอรี่ที่ทดลองโดยเอาน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับในแบตเตอรี่ 3 แล้วไปทำการดูดซับโดยใช้สัดส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณน้ำเสียเดียวกับแบตเตอรี่ 3 อีกครั้งหนึ่ง โดยมีเป้าหมายคือ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ระหว่าง แบตเตอรี่ฐาน ซึ่งใช้ถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนการดูดซับเป็นอัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณน้ำเสียเป็น 1 g : 2 mL ในการใส่ครั้งเดียว กับ แบตเตอรี่นี้ ซึ่งใช้ถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนการดูดซับด้วยอัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ใช้ต่อปริมาณน้ำเสียเป็น 1 g : 2 mL ในการใส่ทั้งหมด 2 ครั้งๆละ 1 g : 4 mL (ในแบตเตอรี่ 3 ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไป 1 g : 4 mL และในแบตเตอรี่นี้ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับอีก 1 g : 4 mL) จากนั้นจึงทำการบันทึกผลความเข้มข้นสุดท้ายของฟอร์มาลดีไฮด์ กับเวลาที่ใช้ในการดูดซับทั้งหมดของแบตเตอรี่นี้ และจึงนำข้อมูลเหล่านี้ ไปเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ฐานว่า แตกต่างกันอย่างไร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) โรงงานจะทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นต่างๆข้างต้นที่มีต่อความสามารถในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถเป็นข้อมูลในการออกแบบกระบวนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ของจริงในอนาคตได้
- 2) โรงงานจะทราบข้อมูลประสิทธิภาพในการใช้ Sep-A และ ถ่านกัมมันต์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพเพียงใด คำนวณค่าที่จะสร้างระบบบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์นี้หรือไม่



บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการครั้งนี้ ผู้ศึกษาจะต้องศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) [2]-[7]

2.1.1 คำอธิบาย

กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) คือ กระบวนการแยกสารเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนขนาดเล็กในระดับโมเลกุล ที่เจือปนอยู่ในเฟสที่เป็นของไหล (เฟสของเหลวหรือแก๊ส) โดยใช้พื้นผิวของของแข็งที่มีรูพรุนมาเป็นตัวจับสิ่งเจือปนขนาดเล็กดังกล่าว ในที่นี้สิ่งเจือปนที่เป็นเป้าหมายในการกำจัดดังกล่าวจะเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) และของแข็งที่มีรูพรุนดังกล่าวจะเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent)

2.1.2 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการดูดซับ

เมื่อเกิดการดูดซับระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จะมีปรากฏการณ์ต่างๆเกิดขึ้นคือ ในขณะที่พื้นผิววัสดุของตัวดูดซับไปสัมผัสกับตัวถูกดูดซับ พื้นผิววัสดุของตัวดูดซับจะเกิดแรงดึงดูด (Attractive Force) กับโมเลกุล อะตอม หรือ ไอออน ของตัวถูกดูดซับ เมื่อแรงดึงดูดดังกล่าวนี้สูงเพียงพอจนสามารถเอาชนะแรงอื่นๆที่สวนทางกัน เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเดียวกัน (Cohesion Force) ของตัวถูกดูดซับ เป็นต้น ตัวถูกดูดซับก็ถูกยึดติดไปกับพื้นผิวของตัวดูดซับและถูกแยกออกจากเฟสของไหล โดยกระบวนการเกิดแรงดึงดูดนี้จะเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Process) ส่วนแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการดูดซับนั้นจะเป็นแรงดึงดูดชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของการดูดซับซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

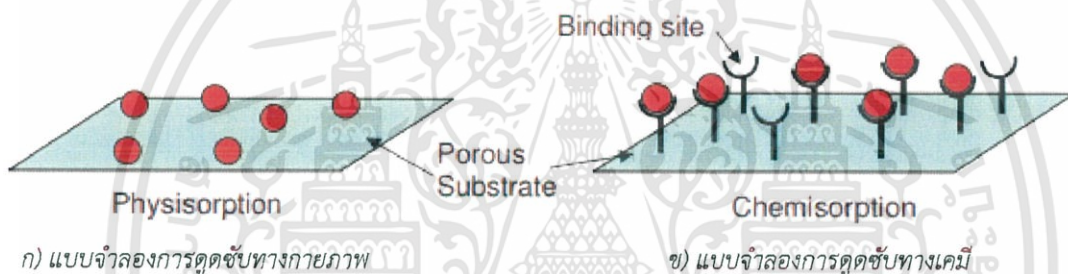
2.1.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption)

การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption หรือ Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยไม่มีปฏิกิริยาใดๆเกิดขึ้น ชนิดของแรงดึงดูด (Attractive Force) ที่ทำให้เกิดการดูดซับประเภทนี้คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่มีชื่อเรียกว่า แรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals Force) และแรงจากไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Forces) ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับทางกายภาพนั้นเป็นกระบวนการที่สามารถผันกลับได้ มีการคายพลังงานออกมาเพียงเล็กน้อยและเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับกระบวนการดูดซับทางเคมี และโดยส่วนมากจะไม่เฉพาะเจาะจงชนิดของตัวถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

การดูดซับทางเคมี (Chemisorption หรือ Chemical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมีปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเกิดขึ้น โดยในกระบวนการตัวดูดซับจะสร้างพันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) กับตัวถูกดูดซับ การดูดซับทางเคมีนั้นจะมีการคายพลังงานออกมาสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพมาก ดังนั้น ชนิดของแรงดึงดูด (Attractive Force) ที่ทำให้เกิดการดูดซับประเภทนี้คือ แรงที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมี (Chemical Bonding Forces) ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับทางเคมีนั้น เป็นกระบวนการที่ไม่สามารถผันกลับได้ มีการคายพลังงานออกมาสูงมากและอาจเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับกระบวนการดูดซับทางกายภาพ และโดยส่วนมากจะเฉพาะเจาะจงชนิดของตัวถูกดูดซับ



ก) แบบจำลองการดูดซับทางกายภาพ

ข) แบบจำลองการดูดซับทางเคมี

รูปที่ 2.1 แบบจำลองอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับ [5]

จากรูปที่ 2.1 ลูกบอลสีแดงจะใช้เป็นตัวแทนของตัวถูกดูดซับ และแผ่นราบสีฟ้าจะใช้เป็นตัวแทนของตัวดูดซับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในการดูดซับทางกายภาพ ตัวถูกดูดซับจะเพียงถูกดูดให้ติดกับตัวดูดซับเท่านั้น ดังรูปย่อย ก) และในการดูดซับทางเคมี ตัวถูกดูดซับจะยึดติดกับตัวดูดซับผ่านทางพันธะเคมี ซึ่งในที่นี้ใช้ชื่อเรียกว่า Binding site ดังรูปย่อย ข)

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

กระบวนการดูดซับจะเกิดได้มากน้อยเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่นปัจจัยดังต่อไปนี้

2.1.3.1 พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ปริมาณการดูดซับนั้น จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับและผิวของเฟสของไหลที่บรรจุตัวถูกดูดซับ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดกระบวนการดูดซับขึ้น ดังนั้นการที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากนั้นหมายความว่าพื้นที่ที่เกิดการดูดซับก็จะมากขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับเกิดได้มากขึ้น

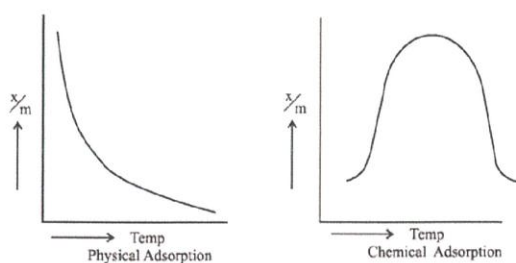
2.1.3.2 ความดันของเฟสไอที่บรรจุตัวถูกดูดซับ

ในกรณีที่ตัวถูกดูดซับเจือปนอยู่ในเฟสไอนั้นยิ่งไอดังกล่าวมีความดันสูง ความสามารถในการดูดซับตัวถูกดูดซับก็จะยิ่งมาก เนื่องจากความดันของไอที่มากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการชนของตัวถูกดูดซับที่ไปชนกับพื้นผิวของตัวถูกดูดซับมากขึ้น ทำให้โอกาสที่ตัวถูกดูดซับจะไปสัมผัสกับพื้นผิวที่พร้อมจะดูดซับตัวถูกดูดซับมากขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

2.1.3.3 อุณหภูมิ

สำหรับการดูดซับทางกายภาพนั้นอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณในการดูดซับลดลง ดังรูปย่อย ก) ในรูปที่ 2.2 เนื่องจากกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Process) ซึ่งกระบวนการคายความร้อนนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดได้ไม่ดีเมื่ออุณหภูมิสูง ทำให้ตัวถูกดูดซับมีพลังงานจลน์ที่สูงหรือก็คือเกิดการเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับลดลงจนความสามารถในการดึงดูดดังกล่าวลดลง ดังนั้น การเพิ่มอุณหภูมินั้นก็สามารถเป็นวิธีการหนึ่งที่จะกำจัดตัวถูกดูดซับออกเพื่อล้างตัวดูดซับให้มากกลับมาใช้ใหม่ได้

สำหรับการดูดซับทางเคมีนั้นแม้ว่าจะเป็นกระบวนการคายความร้อนที่ควรจะได้ดีที่อุณหภูมิต่ำก็ตาม แต่ก็ยังมีปัจจัยหนึ่งที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ ปัจจัยทางจลนศาสตร์เคมี (Chemical Kinetics) ซึ่งกล่าวไว้ว่าในการที่ปฏิกิริยาใดๆจะเกิดขึ้น พลังงานของสารตั้งต้นจะต้องสูงกว่าพลังงานขั้นต่ำค่าหนึ่งที่เรียกว่าพลังงานก่อกัมมันต์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ต้องใช้ในการแตกพันธะของสารตั้งต้นเพื่อที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่อไป ดังนั้น สำหรับการดูดซับทางเคมีนั้น ในช่วงที่อุณหภูมียังไม่สูงเพียงพอ การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้มากขึ้น ทำให้การดูดซับดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่อุณหภูมิสูงเพียงพอแล้ว การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้การดูดซับเกิดน้อยลง ดังรูปย่อย ข) ในรูปที่ 2.2 เนื่องจากปัจจัยที่กระบวนการคายความร้อนจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำเข้ามามีบทบาทมากกว่าปัจจัยทางจลนศาสตร์เคมี



ก) การดูดซับทางกายภาพ

ข) การดูดซับทางเคมี

รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี [6]

หมายเหตุ : 1) x/m คือ มวลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ (x) ต่อมวลของตัวดูดซับ (m)

2) Temperature คือ อุณหภูมิของของไหลที่บรรจุตัวถูกดูดซับ

นอกจากนี้ สำหรับในกระบวนการดูดซับบางสถานการณ์ ยังมีการค้นพบอีกด้วยว่าที่อุณหภูมิต่ำ กระบวนการดูดซับจะเกิดแบบการดูดซับกายภาพ แต่ที่อุณหภูมิสูง กระบวนการดูดซับจะเปลี่ยนไปเกิดแบบการดูดซับทางเคมีแทน

2.1.3.4 ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ

ยิ่งความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของไหลสูง โอกาสที่ตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมาชนกัน และเกิดแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันก็จะยิ่งมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะยิ่งมาก

2.1.3.5 ความสามารถในการละลายของตัวดูดซับในเฟสของไหล

ยิ่งตัวถูกดูดซับสามารถละลายในเฟสของไหลได้น้อยเพียงใด ความสามารถในการถูกดูดซับก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากยิ่งความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับน้อย แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับกับเฟสของไหลก็จะยิ่งน้อย จึงส่งผลให้การแยกตัวถูกดูดซับออกจากเฟสของไหลเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น

2.1.3.6 ความเป็นกรดต่างของเฟสของไหล

ความเป็นกรดต่างของเฟสของไหลนั้นบ่งบอกถึงปริมาณของไฮโดรเนียมไอออน (H^+) และ ปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่อยู่ในเฟสของไหล ยิ่งเฟสของไหลมีความเป็นกรดมาก ปริมาณของไฮโดรเนียมไอออนก็จะยิ่งสูง และปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออนก็จะยิ่งต่ำ ซึ่งปริมาณไอออนทั้งสองประเภทนี้อาจส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับได้เนื่องจากไอออนทั้งสองประเภทนี้ มีความสามารถในการถูกดูด

ซ้ำโดยตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้ามกันได้ง่าย ดังนั้น ปริมาณของไอออนทั้งสองชนิดนี้จะส่งผลอย่างไรต่อกระบวนการดูดซับนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ

ในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวก และพื้นผิวที่เกิดการดูดซับของตัวดูดซับมีประจุเป็นลบนั้น ไฮโดรเนียมไอออนในสารละลาย ซึ่งมีประจุบวกเหมือนกับตัวถูกดูดซับจะเข้าไปจับกับตัวดูดซับแทนสารที่เราต้องการดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับนั้นมีน้อยลง ดังนั้น สำหรับในกรณีนี้ยิ่งสารละลายมีความเป็นกรดมากความสามารถในการดูดซับก็จะยิ่งลดลง

ในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบ และพื้นผิวที่เกิดการดูดซับของตัวดูดซับมีประจุเป็นบวกนั้น ไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลาย ซึ่งมีประจุลบเหมือนกับตัวถูกดูดซับจะเข้าไปจับกับตัวดูดซับแทนสารที่เราต้องการดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับนั้นมีน้อยลง ดังนั้น สำหรับในกรณีนี้ยิ่งสารละลายมีความเป็นด่างมากความสามารถในการดูดซับก็จะยิ่งลดลง

2.1.3.7 เวลาที่ตัวดูดซับสัมผัสกับเฟสของไหล

ยิ่งตัวดูดซับสัมผัสกับเฟสของไหลได้นาน กระบวนการดูดซับก็จะเกิดได้สมบูรณ์มากขึ้นจนถึงเวลาหนึ่งที่ตัวดูดซับนั้นดูดซับตัวถูกดูดซับได้อย่างเต็มที่แล้ว และปริมาณของสารที่ถูกดูดซับจะไม่เพิ่มขึ้นอีก

2.1.3.8 ปริมาณตัวถูกละลายที่ไม่ใช่สารที่ต้องการดูดซับในเฟสของไหล

ในกระบวนการดูดซับสิ่งเจือปนในเฟสของไหลที่มีองค์ประกอบของตัวถูกละลายอยู่หลายประเภท เช่น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียหรือกระบวนการทำให้น้ำบริสุทธิ์นั้น สิ่งเจือปนในน้ำมักจะมีหลายชนิดแทนที่จะมีเพียงชนิดเดียว ซึ่งสิ่งเจือปนในน้ำต่าง ๆ นั้น อาจช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ หรือลดประสิทธิภาพของการดูดซับก็ได้

2.2 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) [8]-[9]

2.2.1 คำอธิบาย

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือกระบวนการทางเทอร์โมเคมีที่ทำให้โมเลกุลสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 400 ถึง 800 °C ในสภาวะไร้อากาศซึ่งสามารถสร้างได้โดยการใส่แก๊สไนโตรเจนซึ่งเป็นแก๊สเฉื่อยเข้าไปจับไล่อากาศ เป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.2.2 ผลผลิตของกระบวนการไพโรไลซิส

ในกระบวนการนี้ จะสามารถให้ผลผลิตซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนของแข็ง หรือเรียกอีกอย่างว่า ถ่าน (Char)
- 2) ส่วนของเหลว ซึ่งจะมีลักษณะและสมบัติคล้ายน้ำมัน
- 3) ส่วนแก๊ส

2.2.3 ชนิดของกระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.2.3.1 ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis)

คือกระบวนการไพโรไลซิสที่มีการให้ความร้อนในอัตราที่ช้ากว่า ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) เมื่อเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) กระบวนการนี้ จะใช้ผลผลิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุดิบที่ยาวกว่า ($> 2\text{ mm}$) เมื่อเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ในส่วนของสัดส่วนผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจะให้ผลผลิตในส่วน ofเหลวในปริมาณที่น้อยกว่า (30-50%) และได้ผลผลิตในส่วน ofแข็งที่มากกว่า (25-35%) เมื่อเทียบกับไพโรไลซิสแบบเร็ว

2.2.3.2 ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis)

คือกระบวนการไพโรไลซิสที่มีการให้ความร้อนในอัตราที่เร็วกว่า ($> 1,000\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) เมื่อเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) กระบวนการนี้ จะใช้ผลผลิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุดิบที่สั้นกว่า ($< 2\text{ mm}$) เมื่อเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ในส่วนของสัดส่วนผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจะให้ผลผลิตในส่วน ofเหลวในปริมาณที่มากกว่า (60-75%) และได้ผลผลิตในส่วน ofแข็งที่น้อยกว่า (15-25%) เมื่อเทียบกับไพโรไลซิสแบบช้า

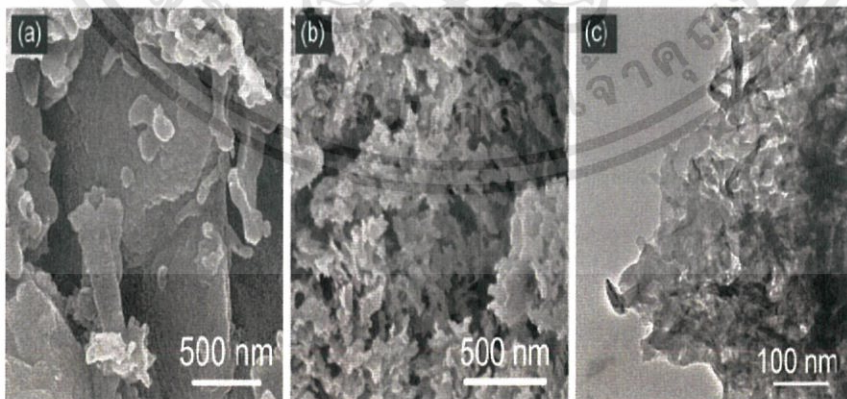
2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) [10]-[20]

2.3.1 คำอธิบาย

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon หรือ Activated Charcoal) คือหนึ่งในรูปของสารประกอบที่มีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอนอะตอม (C) ซึ่งยึดติดกันด้วยพันธะจนเกิดเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จะมีรูพรุนขนาดเล็กๆ (Micropores) อยู่มากมาย ทำให้ถ่านกัมมันต์นั้นมีพื้นที่ผิวที่สูง ถ่านกัมมันต์จึงมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี และนิยมนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ (Adsorption) และ ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) แล้วยังสามารถนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีต่างๆ เพื่อปรับคุณสมบัติในการดูดซับให้เหมาะสมกับกระบวนการต่างๆ ได้อีกด้วย ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในกระบวนการดูดซับนั้น สามารถผลิตให้มีรูปร่างได้หลายแบบ ไม่ว่าจะเป็น แบบผง (Powder) เม็ดกลม (Bead) เม็ดเล็กละเอียด (Granular) หรือแบบอัดแท่ง (Extruded) แต่แบบที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้น มีแค่เพียงแบบผง (Powder) และแบบเม็ดเล็กละเอียด (Granular) เท่านั้น



รูปที่ 2.3 ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดเล็กละเอียด (Granular) [11]



รูปที่ 2.4 ภาพขยายจากกล้อง SEM แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ [11]

2.3.2 วัตถุดิบของถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบหลักของถ่านกัมมันต์คือ วัตถุดิบสารอินทรีย์ใดๆที่มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนสูง ซึ่งโดยหลักๆสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

- 1) วัตถุดิบจากการเกษตร เช่น แกลบ กะลาปาล์ม กะลามะพร้าว ชานข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น
- 2) ถ่านหิน เช่น บิทูมินัส (Bituminous) ลิกไนต์ (Lignite) พีท (Peat) เป็นต้น
- 3) วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น เลือด กระดุก เป็นต้น

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน และในส่วนของถ่านที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์นั้น โดยทั่วไปจะเป็นถ่านที่สังเคราะห์เอง (Artificial Char) เป็นถ่านที่ได้จากการเผาวัตถุดิบธรรมชาติ เช่นกราไฟต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น

2.3.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยพื้นฐานนั้นมีขั้นตอนการผลิตอยู่ทั้งหมด 6 ขั้นตอนเรียงตามลำดับได้ดังนี้

2.3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

ก่อนที่วัตถุดิบจะเข้าสู่กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ วัตถุดิบจะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อน โดยวัตถุดิบจะต้องผ่านกระบวนการสับอย่างหยาบๆ และจากนั้นก็ผ่านกระบวนการบดอย่างละเอียดเพื่อควบคุมขนาดของวัตถุดิบให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต

2.3.3.2 การทำให้แห้ง (Drying)

ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการเผาถ่าน วัตถุดิบจะต้องมีความแห้ง โดยมีความชื้นไม่เกิน 17% ดังนั้นจึงต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดน้ำโดยอาจใช้วิธีการอบได้ ส่วนสภาวะต่างๆที่ต้องใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบเริ่มต้น

2.3.3.3 การเผาถ่าน (Carbonization)

การเผาถ่าน (Carbonization) คือการกำจัดองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนในถ่านออกไปด้วยการนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) โดยมีการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาที่นาน กล่าวคือประมาณ 1 วัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 3 เฟสคือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ผลิตภัณฑ์ในเฟสของแข็งหรือเรียกอีกอย่างว่า ถ่าน (Char) นั้นจะเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่จะนำมาผ่านขั้นตอนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ต่อไป ผลิตภัณฑ์ในเฟสแก๊สจะถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ และ ผลิตภัณฑ์ในเฟสของเหลวหรือที่เรียกอีกอย่าง

ว่า ทาร์ (Tar) นั้นจะเจือปนอยู่กับถ่านและตกค้างอุดตันอยู่ในรูพรุนหรือเกาะติดอยู่กับผิวถ่าน ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านนั้นยังไม่ดี ถ่านที่ได้จึงต้องทำไปผ่านขั้นตอนการกระตุ้น (Activation) เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านต่อไป

การเผาถ่านนั้นควรควบคุมอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิให้มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้ถ่านที่ได้มีคุณภาพดี ซึ่งถ่านที่มีคุณภาพดีจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- มีสีดำสม่ำเสมอ
- แข็ง ไม่แตกหักง่าย
- เมื่อแตกหัก ส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา
- เมื่อแตกหัก ปลายที่หักจะแหลมคม

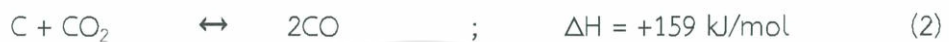
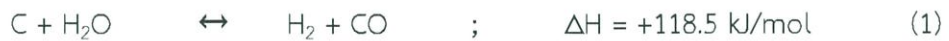
2.3.3.4 การกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น (Activation) คือการทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวสัมผัส (Active Surface Area) สูงขึ้น โดยทำให้สารอินทรีย์ซึ่งรวมถึงทาร์ (Tar) ที่ขัดขวางความสามารถในการดูดซับที่ปนเปื้อนอยู่ในบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active Center) ของถ่านสลายไปด้วยกระบวนการทางเคมี หรือ อาจทำให้ทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์มีความว่องไวมากขึ้นโดยกำจัดโมเลกุลบางกลุ่มออกไปและทำให้เกิดส่วนที่มีอำนาจในการดูดซับขึ้นมา ก็ได้ กระบวนการเหล่านี้ จะกระทำโดยการใช้ตัวกระตุ้น (Activation Agent) ทำให้ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วมีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วจะมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งก็คือถ่านที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้น การกระตุ้นสามารถเลือกทำได้ทั้งหมด 2 วิธี คือ

1) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

คือการกระตุ้นโดยใช้ตัวกระตุ้น (Activation Agent) เป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ที่เป็นองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศเช่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO_2), ออกซิเจน (Oxygen, O_2) เป็นต้น หรือไอน้ำ (Steam, H_2O) ไปทำปฏิกิริยาการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification) กับทาร์หรือสารอินทรีย์ต่างๆที่เจือปนอยู่บนพื้นผิวของถ่านและขัดขวางการดูดซับของถ่าน ส่งผลให้พื้นผิวของถ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ทำให้มีรูพรุนมากขึ้น และทำให้การจัดเรียงโครงสร้างของคาร์บอนเปลี่ยนไป ปฏิกิริยาการแปรสภาพเป็นแก๊สนั้นจะทำให้ทาร์หรือสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่บนพื้นผิวนั้นสลายตัวกลายเป็นแก๊ส ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วจึงมีความสามารถในการดูดซับที่ดีขึ้น ในกรณีตัว

ออกซิไดซ์ที่ใช้เป็นไอน้ำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1) ในกรณีที่ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2) และในกรณีที่ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้เป็นแก๊สออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งหมด 2 ปฏิกิริยาซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ



เมื่อ C คือสารอินทรีย์ที่เข้าไปอุดรูพรุน จะเห็นได้ว่าหลังเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้น สารอินทรีย์ดังกล่าวจะถูกทำให้ย่อยสลายกลายเป็นแก๊สต่างๆซึ่งจะหลุดออกไปทำให้เกิดรูพรุน โดยสำหรับกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพนั้นโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิประมาณ 600 - 1,000 °C

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยส่วนใหญ่จะใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์เนื่องจากไอน้ำมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้ดีกว่า นอกจากนั้น การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะต้องใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ดังนั้น จึงต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ส่วนการกระตุ้นโดยใช้ออกซิเจนนั้น เป็นการกระตุ้นที่ไม่นิยมใช้เนื่องจากการกระตุ้นด้วยออกซิเจนนั้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน การควบคุมอุณหภูมิจึงเป็นเรื่องที่ยาก ซึ่งส่งผลให้การควบคุมปฏิกิริยานั้นยากขึ้นตามไปด้วย

2) การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

คือ การกระตุ้นโดยใช้ตัวกระตุ้น (Activation Agent) เป็นสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ยกตัวอย่างเช่น ซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride, ZnCl_2) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid, H_3PO_4) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium Carbonate, K_2CO_3) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) เป็นต้น เมื่อยกตัวอย่างในกรณีที่ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) ปฏิกิริยาการกระตุ้น (Activation) ที่เกิดขึ้นนั้นสามารถมีได้ 2 ปฏิกิริยาซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ



โพแทสเซียม (Potassium, K) ที่เกิดขึ้นนี้จะมีความอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง จึงสามารถเข้าไปแทรกในชั้นของคาร์บอนได้ง่าย ซึ่งการแทรกตัวดังกล่าวนี้ จะส่งผลให้ถ่านนั้นมีรูพรุนมากขึ้น สำหรับกระบวนการกระตุ้นทางเคมีนั้นโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิประมาณ 150 - 900 °C และหลังผ่านการกระตุ้นมักจะมีสารเคมีที่เป็นตัวกระตุ้นตกค้างหลงเหลืออยู่ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะต้องนำไปผ่านขั้นตอนการล้างสารเคมีก่อนที่จะนำไปใช้งาน

การกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีการกระตุ้นที่มีการนำมาใช้เตรียมถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เนื่องจาก

- มีขั้นตอนที่ง่ายกว่า
- ใช้เวลาในการกระตุ้นน้อยกว่า
- อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่ำกว่า ประหยัดพลังงาน
- ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสูงกว่า
- ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณรูพรุนที่สูงกว่า

แต่การกระตุ้นทางเคมีก็มีข้อเสียดังต่อไปนี้

- เกิดการกัดกร่อนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆระหว่างการกระตุ้น
- ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีตกค้างมากกว่า

2.3.3.5 ขั้นตอนการบดผงกัมมันต์ (Activated Carbon Crushing)

เป็นขั้นตอนการแปรรูปถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผลิตให้กลายเป็นผง โดยในขั้นตอนนี้ จะมีใช้เครื่องจักรในการบดถ่านกัมมันต์ให้ละเอียดจนเป็นผงละเอียด

2.3.3.6 ขั้นตอนการแปรรูป

เป็นขั้นตอนการแปรรูปผงกัมมันต์ให้กลายเป็นรูปแบบตามที่ต้องการในกรณีที่ไม่ต้องการถ่านกัมมันต์แบบผงละเอียด เช่น หากต้องการถ่านกัมมันต์ในรูปแบบแท่ง ก็ให้ใช้เครื่องอัดแท่งในการอัดผง

ถ่านกัมมันต์ให้เป็นแท่ง หรือหากต้องการในรูปแบบเม็ดเล็กๆ ก็ให้ใช้เครื่องบีบอัดเม็ดในการอัดผงถ่านกัมมันต์ให้เป็นเม็ดเล็กๆ เป็นต้น

2.3.4 การนำมาใช้งานของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์นั้นนิยมเอามาใช้ในงานดูดซับสารอินทรีย์จำพวกที่ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) เช่น โทลูอีน (Toluene) ไซลีน รวมถึงสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคลอรีนต่างๆ

2.3.5 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ มีดังต่อไปนี้

2.3.5.1 ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

คือมวลของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของทั้งช่องว่างระหว่างอนุภาคถ่านกัมมันต์แต่ละอนุภาคและปริมาตรของตัวถ่านกัมมันต์รวมกัน ความหนาแน่น จะขึ้นอยู่กับทั้งขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง $0.3-0.5 \text{ g/cm}^3$ ยิ่งค่านี้มีค่ามาก ถ่านกัมมันต์ยิ่งมีคุณภาพดี

2.3.5.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area)

คือพื้นที่ผิวรวมของถ่านกัมมันต์ต่อมวลของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับโดยตรง ยิ่งพื้นที่ผิวจำเพาะมาก หมายความว่าพื้นที่ผิวรวมของถ่านกัมมันต์ที่พร้อมจะ โดยปกติถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวดั้งแต่ $600 - 2,500 \text{ m}^2/\text{g}$

2.3.5.3 ความคงทนต่อการขัดถู (Abrasion Number)

คือความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์เมื่อมีแรงเสียดสีมากระทำ ความคงทนต่อการขัดถู นั้น มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (Backwashing) ถ่านกัมมันต์จะมีค่านี้แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุดิบและกระบวนการผลิต

2.3.5.4 ร้อยละของเถ้า (Percentage of Ash, %Ash)

คือร้อยละปริมาณสารอินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูงที่เจือปนอยู่ในถ่านกัมมันต์ สารอินทรีย์ดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เถ้า (Ash) ยิ่งร้อยละของเถ้าของถ่านกัมมันต์สูงความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ก็จะยิ่งลดลงเนื่องจากเถ้าเหล่านี้จะเข้าไปอุดตันในรูพรุนทำให้การดูดซับถูกขัดขวาง โดยทั่วไป

ถ่านกัมมันต์ควรมีร้อยละของถ่านไม่เกิน 10 wt.% หากประสบปัญหาร้อยละของถ่านมีค่าสูง ก็มีวิธีแก้ไขที่ง่ายที่สุดคือ นำถ่านกัมมันต์ไปล้างด้วยน้ำเพื่อเอาถ่านออก

2.3.5.5 ร้อยละของความชื้น (Percentage of Moisture, %Moisture)

คือ ร้อยละของน้ำที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ สามารถหาค่านี้ได้โดยวิธีการทั่วไปคือ ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์เริ่มต้น นำถ่านกัมมันต์ที่ชั่งมาเริ่มต้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์อีกครั้ง และคำนวณหาผลของน้ำหนักที่ลดลง ซึ่งค่าร้อยละของมวลที่ลดลงนี้ก็คือร้อยละของความชื้น

2.3.5.6 ขนาดอนุภาค (Particle Size)

คือค่าที่บอกช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคถ่านกัมมันต์ ซึ่งบ่งบอกถึงความละเอียดของถ่าน ยิ่งถ่านกัมมันต์มีความละเอียด ช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านกัมมันต์ก็จะยิ่งมีค่าน้อย และพื้นที่ผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ก็จะยิ่งมาก ทำให้การดูดซับเมื่อเทียบกับมวลเท่ากันนั้นยิ่งดีขึ้นตามไปด้วย ค่านี้สามารถระบุเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในหน่วยความยาวหรือระบุเป็นเมช (Mesh) ของตัวกรองที่มีขนาดรูผ่านเล็กที่สุดที่อนุภาคถ่านกัมมันต์ดังกล่าวสามารถผ่านได้ก็ได้

เมช (Mesh) คือจำนวนรูในตะแกรงต่อความยาวของตะแกรง 1 นิ้ว เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความละเอียดของตัวกรอง และบ่งบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถลอดผ่านช่องตะแกรงได้เมื่อเอาอนุภาคดังกล่าวมาเทผ่านตะแกรง

2.3.5.7 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

คือการวัดค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์อย่างหยาบๆ โดยทดลองใช้ไอโอดีน (I_2) เป็นตัวถูกดูดซับตามมาตรฐานของ ASTM (American Society for Testing and Materials) ซึ่งเป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดและจัดทำมาตรฐานของกระบวนการต่างๆ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก ค่าการดูดซับไอโอดีนนั้นถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในการประมาณความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อจำนวนกรัมของถ่านกัมมันต์

2.4 กระบวนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวตกตะกอน (Coagulation) [21]-[27]

2.4.1 รายละเอียดของคอลลอยด์

คอลลอยด์ (Colloid) คือของผสมระหว่างสารที่ซึ่งไม่ละลายกันและแยกเฟสกัน โดยสารที่มีปริมาณน้อยกว่าที่เรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ (Colloidal Particles) นั้นจะแพร่กระจายอยู่ในเนื้อของสารที่มีปริมาณมากกว่าอย่างทั่วถึง เฟสของอนุภาคคอลลอยด์ที่แพร่กระจายอยู่นั้น จะเรียกว่า เฟสที่กระจายตัว (Dispersed Phase) และเฟสของสารที่อนุภาคคอลลอยด์เข้าไปแพร่กระจายอยู่ภายในนั้นจะเรียกว่า เฟสต่อเนื่อง (Continuous Phase) สำหรับคอลลอยด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายอยู่นั้นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 10^{-6} และ 10^{-3} มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กจนสามารถผ่านตัวกรอง (Filtration Media) โดยทั่วไปได้

สำหรับชนิดของเฟส ทั้งเฟสต่อเนื่องและเฟสที่กระจายตัวนั้น สามารถเป็นได้ทั้งเฟสของแข็งของเหลว และแก๊ส ซึ่งจะมีชื่อเรียกและตัวอย่างที่ต่างกักันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชื่อเรียกและตัวอย่างของคอลลอยด์ตามเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจายตัวชนิดต่างๆ

เฟส		เฟสกระจายตัว (Dispersed Phase)			
		แก๊ส (Gas)	ของเหลว (Liquid)	ของแข็ง (Solid)	
เฟสต่อเนื่อง (Continuous Phase)	แก๊ส (Gas)	ชื่อเรียก	(ไม่พบคอลลอยด์ประเภทนี้)	ละอองลอยเหลว (Liquid Aerosol)	ละอองลอยแข็ง (Solid Aerosol)
		ตัวอย่าง		หมอก เมฆ สเปรย์ผม	ควัน ฝุ่นในอากาศ
	ของเหลว (Liquid)	ชื่อเรียก	โฟมของเหลว (Liquid Foam)	อิมัลชัน (Emulsion)	โซล (Sol)
		ตัวอย่าง	วิปครีม ครีมโกนหนวด	นม มายองเนส	เลือด หมึก แป้งในน้ำ
	ของแข็ง (Solid)	ชื่อเรียก	โฟมแข็ง (Solid Foam)	เจล (Gel)	โซลแข็ง (Solid Sol)
		ตัวอย่าง	เม็ดโฟม ฟองน้ำ	เจลาติน วุ้น	แอลลอยด์

2.4.2 คุณสมบัติของอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์ จะมีคุณสมบัติบางประการดังต่อไปนี้

2.4.2.1 ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall Effect)

เมื่อฉายแสงเข้าไปในของผสมคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ภายในของผสมนั้นจะสามารถสะท้อนแสงออกมาได้ ทำให้เห็นเป็นลำแสงผ่านเข้าไปในสารละลาย ปรากฏการณ์นี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall Effect)

2.4.2.2 การเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian Motion)

อนุภาคคอลลอยด์จะมีการเคลื่อนตัวอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากการชนของโมเลกุลในเฟสต่อเนื่อง การเคลื่อนตัวนี้มีชื่อเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian Motion)

2.4.2.3 การดูดซับ (Adsorption)

อนุภาคคอลลอยด์นั้นจะมีพื้นที่ผิวสูงมาก จึงทำให้มีพื้นที่ผิวที่มีความสามารถในการดูดซับ (Active Surface) มาก ความเสถียรของคอลลอยด์เองก็เป็นผลมาจากการความสามารถในการดูดซับไอออนที่สูงของอนุภาคในเฟสกระจายตัว

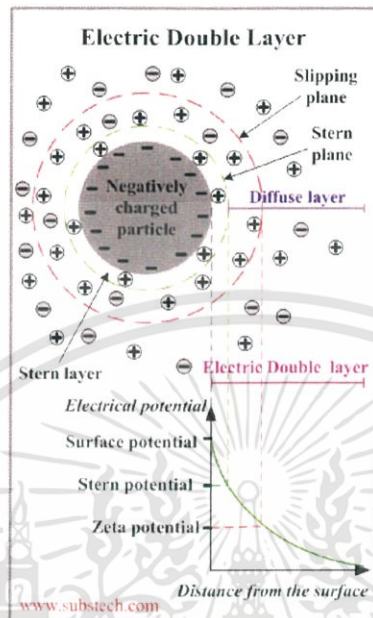
2.4.2.1 สมบัติทางไฟฟ้า

อนุภาคคอลลอยด์ทั้งหมดจะมีประจุไฟฟ้า ถ้าเอาอิเล็กโทรดประจุหนึ่งจุ่มเข้าไปในคอลลอยด์ อนุภาคดังกล่าวจะเคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโทรดที่มีประจุตรงข้ามและถูกทำให้เป็นกลางที่ขั้วอิเล็กโทรด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์อิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis)

เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า และโดยส่วนมากอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำจะมีประจุเป็นลบ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดแรงผลักรังกันและกัน จึงแพร่กระจายตัวออกจากกันอย่างสม่ำเสมออยู่ในเฟสต่อเนื่อง โดยไม่จับตัวกันตกตะกอนและคงอยู่ในเฟสต่อเนื่อง

ในเรื่องของสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ต่อเฟสต่อเนื่องนั้น มีทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายได้ คือ ทฤษฎีประจุไฟฟ้า 2 ชั้น (Electric Double Layer Theory) ในทฤษฎีนี้ จะใช้อนุภาคคอลลอยด์ประจุลบซึ่งเป็นประจุที่พบในน้ำมากกว่าประจุบวกเป็นตัวอย่างประกอบคำอธิบาย โดยประจุลบดังกล่าวจะสร้างแรงดึงดูดให้อิออนประจุบวกที่อยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาหาได้ แต่ในทฤษฎีนี้ เชื่อกันว่าประจุบวกที่วิ่งเข้าหาจะไม่สามารถเข้าถึงตัวอนุภาคคอลลอยด์ได้เนื่องจากอิออนบวกจะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ทำให้อิออนบวกจะมาแอ็ดออยู่รอบๆอนุภาคคอลลอยด์ แทนที่จะเข้าไปแลกเปลี่ยนประจุกับตัวอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า (Electrical Potential) ขึ้นที่บริเวณรอบๆเฟสต่อเนื่อง ซึ่งชั้นของเฟส

ต่อเนื่งที่ร้ได้รับผลกระทบจากประจุไฟฟ้านั้น จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้น คือ 1) ชั้น Stern Layer และ 2) ชั้น Diffuse Layer ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ทฤษฎีประจุไฟฟ้า 2 ชั้น (Electric Double Layer Theory) [24]

จากรูปที่ 2.5 พื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ จะเป็นบริเวณที่ประจุบวกมีความหนาแน่นสูงที่สุด ศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential) จึงสูงที่สุดที่บริเวณดังกล่าว เรียกค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณนี้ว่า Surface Potential และ ความหนาแน่นของไอออนประจุบวก จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆตามระยะห่างจากผิวอนุภาคคอลลอยด์ที่มากขึ้น จนถึงระยะห่างระยะหนึ่งซึ่งไม่อยู่ภายใต้อำนาจทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์อีกต่อไป ในบริเวณดังกล่าวค่าศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential) จะมีค่าเป็น 0

Stern Layer จะเป็นชั้นที่ประจุบวกยึดติดกับอนุภาคคอลลอยด์อย่างแน่นหนาด้วยแรง Electromagnetic Force และเป็นชั้นที่มีความแออัดของประจุบวกมากที่สุด ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ที่พื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ไปถึงระนาบระนาบหนึ่งซึ่งอยู่ตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางของประจุบวกที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวมากที่สุด เรียกระนาบดังกล่าวว่า Stern Plane และเรียกศักย์ไฟฟ้าที่ระนาบ Stern Plane นี้ว่า Stern Potential

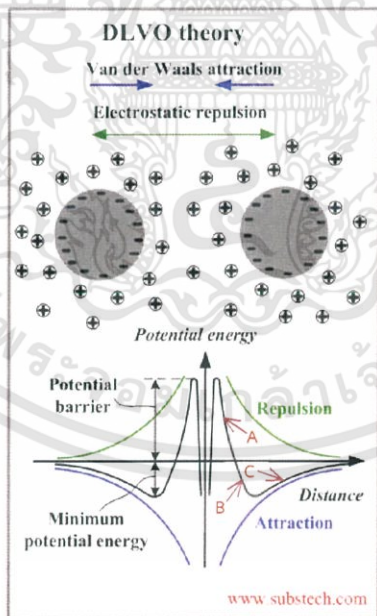
Diffuse Layer จะเป็นชั้นที่อยู่ถัดไปจากชั้น Stern Layer โดยครอบคลุมพื้นที่จนถึงระยะห่างระยะหนึ่งซึ่งไม่อยู่ภายใต้อำนาจทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์อีกต่อไป

เมื่ออนุภาคคอลลอยด์เกิดการเคลื่อนที่ เฟสต่อเนื่องที่บริเวณรอบๆอนุภาคคอลลอยด์จนถึงระนาบระนาบหนึ่งจะเคลื่อนที่ตามไปกับอนุภาคด้วย ซึ่งระนาบดังกล่าวมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Slipping Plane และ ศักย์ไฟฟ้าที่ระนาบนี้ จะมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Zeta Potential

2.4.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์ (Colloidal Stability)

ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2.4.2.1 ตามปกติอนุภาคคอลลอยด์จะไม่จับตัวกันตกตะกอนและคงอยู่ในเฟสต่อเนื่องจากอิทธิพลทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งความสามารถในการคงอยู่ในเฟสต่อเนื่องโดยไม่จับตัวกันนี้ จะเรียกว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์ (Colloidal Stability)

เสถียรภาพของคอลลอยด์นี้ สามารถอธิบายได้โดย ทฤษฎี DLVO ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดยนักวิจัยทั้งหมด 4 ท่านในปี 1940 ได้แก่ท่าน Deryagin, Landau, Vewey และ Overbeek ซึ่งกล่าวไว้ว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์จะขึ้นอยู่กับแรงทั้งหมด 2 แรงคือ 1) แรงดึงดูดจากแรงแวนเดอวาลส์ (ในที่นี้เรียกว่า Attraction Force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กันเอง แรงนี้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ และ 2) แรงผลักรจากอิทธิพลทางไฟฟ้า (ในที่นี้เรียกว่า Repulsive Force) ซึ่งเป็นแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กันเอง แรงนี้จะขึ้นอยู่กับค่า Zeta Potential ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ทฤษฎี DLVO [24]

กราฟเส้นสีดำใน รูปที่ 2.6 เป็นการแสดงถึงพลังงานศักย์ (Potential Energy) รวมระหว่างพลังงานศักย์จากการผลัก (Repulsion) และพลังงานศักย์จากการดึงดูด (Attraction) ซึ่งความชันของกราฟนี้ จะบ่งบอกถึงทิศทางของแรงที่กระทำต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดย เมื่อความชันเป็นลบ แรงที่กระทำดังกล่าวจะเกิดในทิศทางพุ่งออกจากกัน (Repulsion) เมื่อความชันเป็นบวก แรงที่กระทำดังกล่าวจะเกิดในทิศทางพุ่งเข้าหากัน (Attraction) และเมื่อความชันเป็น 0 อนุภาคคอลลอยด์จะไม่มีแรงกระทำต่อกัน

จากกราฟ จะเห็นได้ว่าระยะห่าง (Distance) ที่จุด Minimum Potential Energy นั้นจะมีแรงเป็น 0 และเป็นจุดที่อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ เนื่องจาก หากมีแรงจากภายนอกมากกระทำกับอนุภาคคอลลอยด์ในทิศทางพุ่งเข้าหากันทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่จากจุด Minimum Potential Energy ไปยังจุด A ที่จุด A แรงที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางพุ่งเข้าหากัน (ความชันกราฟเป็นบวก) อนุภาคคอลลอยด์จึงถูกดูดกลับไปยังที่ระยะห่าง (Distance) เดิม ในทำนองเดียวกัน หากมีแรงจากภายนอกมากกระทำกับอนุภาคคอลลอยด์ในทิศทางพุ่งออกจากกันทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่จากจุด Minimum Potential Energy ไปยังจุด B ที่จุด B แรงที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางพุ่งออกจากกัน (ความชันกราฟเป็นลบ) อนุภาคคอลลอยด์จึงกลับไปยังที่ระยะห่าง (Distance) เดิมเช่นกัน ดังนั้นหากแรงภายนอกมากกระทำกับอนุภาคคอลลอยด์ไม่สูงเพียงพอ ระยะห่าง (Distance) ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์จะไม่เปลี่ยนไป จึงเกิดเสถียรภาพขึ้น

ระยะห่าง (Distance) ที่จุด Potential Barrier ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์มาชนกันนั้นแม้จะมีแรงเป็น 0 แต่ไม่ใช่จุดที่อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ เนื่องจาก แม้ว่าในแรงที่กระทำที่จุดนี้เมื่อไม่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมจะเป็น 0 ทำให้โมเลกุลทั้ง 2 จะไม่แยกออกจากกันก็ตาม แต่หากมีแรงภายนอกมากกระทำจนทำให้อนุภาคเคลื่อนที่จากจุดนี้ ไปยังจุด C แล้ว ที่จุด C อนุภาคก็จะถูกผลักออก (ความชันเป็นลบ) กลับไปยังที่จุดระยะห่าง Minimum Potential Energy จุดเดิม ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่อยู่ในตำแหน่งระยะห่าง (Distance) นี้จะสามารถถูกแยกออกจากกันได้อย่างง่ายดายจากผลกระทบของสิ่งแวดล้อม

2.4.4 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวตกตะกอน (Coagulation)

2.4.4.1 คำอธิบาย

อนุภาคคอลลอยด์นั้นในตามปกติเป็นสิ่งที่ยากที่จะถูกแยกออกจากน้ำเนื่องจากที่สภาวะตามปกติอนุภาคคอลลอยด์มักจะจับตัวเป็นก้อนได้ยากเนื่องจากคุณสมบัติเสถียรภาพของคอลลอยด์ ทำให้น้ำหนักรวมของก้อนอนุภาคคอลลอยด์มักจะไม่สูงเพียงพอที่จะจะถูกแยกออกจากน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง รวมถึง

อนุภาคคอลลอยด์นั้นจะมีขนาดเล็กจนสามารถผ่านรูของตัวกรองหลายๆชนิดได้ สำหรับในกระบวนการจับตัวตกตะกอนของคอลลอยด์ เพื่อที่จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถถูกแยกออกได้ อนุภาคคอลลอยด์จะต้องถูกทำให้สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีขึ้น โดยใช้สารเคมีเป็นตัวช่วย ซึ่งเรียกสารเคมีในกลุ่มนี้ว่า สารช่วยตกตะกอน (Coagulant)

สารช่วยตกตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน จะเป็นสารที่สามารถแตกตัวให้ Aluminium (III) Ion (Al^{3+}) หรือ Ferric (III) Ion (Fe^{3+}) ได้ยกตัวอย่างเช่นดังต่อไปนี้ :

- Aluminium Sulphate [$Al_2(SO_4)_3$]
- สารส้ม [Alum, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$]
- PAC [Polyaluminium Chloride, $Al_2(OH)_3Cl_3$]
- Ferric Chloride [$FeCl_3$]
- Ferric Sulphate [$Fe_2(SO_4)_3$]

2.4.4.2 กลไกการทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวตกตะกอน

การทำให้ อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนนั้นจะมีขั้นตอนใหญ่ๆ อยู่ 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ :

1) การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ (Destabilization)

เสถียรภาพของคอลลอยด์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่จับตัวกันตกตะกอน ซึ่งกระบวนการนี้ จะเป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยการใส่ Coagulant หลังใส่ Coagulant ที่มีประจุบวกเข้าไปในของผสมคอลลอยด์ที่มีประจุเป็นลบ อนุภาคคอลลอยด์จะสูญเสียเสถียรภาพโดยมีกลไกย่อยทั้งหมด 4 กลไก ดังต่อไปนี้ :

1.1) การลดความหนาของชั้น Diffuse Layer (Diffuse Layer Compression)

ชั้น Diffuse Layer ที่เกิดจากประจุของอนุภาคคอลลอยด์ถือเป็นหนึ่งในชั้นอุปสรรคที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์แต่ละอนุภาคไม่สามารถเข้าใกล้กันได้ ขนาดของ Diffuse Layer จะขึ้นอยู่กับค่าความต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างที่จุด Slipping Plane และเฟสต่อเนื่อง เรียกศักย์ไฟฟ้านี้ว่า Zeta Potential ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4.2.1 ซึ่งกระบวนการนี้ เป็นการลดค่า Zeta Potential ลงโดยใส่ Coagulant ซึ่งสามารถแตกตัวให้ออออนที่มีประจุบวกกับอนุภาคคอลลอยด์ลงในเฟสต่อเนื่อง ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของเฟสต่อเนื่องเข้าใกล้กับศักย์ไฟฟ้าที่จุด Slipping Plane มากขึ้น Zeta Potential จึงลดลง

1.2) การดูดซับ และการสะเทินประจุอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Neutralization)

หลัง Diffuse Layer มีขนาดลดลงแล้ว ไอออนที่มีประจุบวกนั้นจะเคลื่อนที่เข้าหาพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และถูกดูดซับเข้าไปในพื้นผิวดังกล่าว จากนั้นก็จะสะเทินประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้แรงผลักจากอิทธิพลทางไฟฟ้า (Electrostatic Force) ลดน้อยลง จนทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

1.3) การถูกห่อหุ้มอยู่ในตะกอนที่เกิดขึ้น (Enmeshment in a Precipitate)

หลังการสะเทินประจุ เมื่อความเข้มข้นของ Coagulant ในเฟสต่อเนื่องเพียงพอ จะมีตะกอนของโลหะ [เช่น $Al_2(OH)_3$ และ $Fe(OH)_3$] เกิดขึ้น ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์

1.4) การสร้างสะพานเชื่อมพอลิเมอร์ (Polymer Bridging)

กลุ่มก้อนของตะกอนและคอลลอยด์แต่ละกลุ่มก้อนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 1.3) นั้นสามารถเริ่มถูกทำให้มารวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้นโดยการใส่สารจำพอลิเมอร์อินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น แป้ง เซลลูโลส โพรตีน และน้ำตาลหลายชนิด เข้าไปเป็นสารช่วยจับกลุ่มก้อนเข้าหากันได้ เนื่องจากโมเลกุลพอลิเมอร์ดังกล่าวนี้มักมีตำแหน่งที่สามารถไปจับกับอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่สามารถไปจับนั้น อาจจะมีประจุเหมือนกันหรือตรงข้ามกันก็ได้ ทำให้พอลิเมอร์ดังกล่าวสามารถไปเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลอยด์หลายๆอนุภาคให้เข้าหากันได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า การสร้างสะพานเชื่อมพอลิเมอร์ (Polymer Bridging)

ในกรณีที่ตำแหน่งที่ไปจับนั้นมีประจุเหมือนกัน แรงดึงดูดที่เป็นตัวจับอนุภาคคอลลอยด์คือ แรงดึงดูดจากอิทธิพลทางไฟฟ้า (Electrostatic Force) และในกรณีที่ตำแหน่งที่ไปจับนั้นมีประจุต่างกัน แรงดึงดูดที่เป็นตัวจับอนุภาคคอลลอยด์นั้น อาจเป็นแรงจากพันธะไอออนิก (Ionic Bonding Force) แรงจากพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding Force) หรือแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals Force) ก็ได้

2) การรวมตะกอน (Flocculation)

หลังผ่านขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ไปแล้ว กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจะเริ่มมีความสามารถในการจับตัวกันเมื่อถูกทำให้เคลื่อนที่เข้าหากัน ซึ่งการทำให้กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์มารวมกันนี้ จะเรียกว่า การรวมตะกอน (Flocculation) และกลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์ขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมกันกลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์หลายๆกลุ่มนั้น จะมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ฟล็อก (Floc)

การทำให้กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์สามารถมารวมกันเป็นฟลอคขนาดใหญ่ขึ้นได้นั้น จะสามารถทำให้เกิดได้หลายวิธี เช่น :

2.1) Orthokinetic Flocculation

เป็นการทำให้กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์มาสัมผัสกันโดยอาศัยแรงหรือพลังงานจากภายนอก มาทำให้เนื้อของของไหลส่วนหนึ่งเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้ของไหลในแต่ละจุดความเร็วไม่เท่ากัน กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์จึงสัมผัสกันได้ดีขึ้น ตัวอย่างของวิธีการนี้เช่น เช่น การกวนน้ำ เป็นต้น

2.2) Perikinetic Flocculation

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยกลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์จะถูกทำให้สัมผัสกัน โดยการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian Motion) ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งของคอลลอยด์ตั้งที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4.2.2 จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์ถูกชนโดยโมเลกุลในเฟสต่อเนื่องและเคลื่อนที่ไปในทิศทางแบบสุ่ม ทำให้มีโอกาสที่อนุภาคคอลลอยด์จะเคลื่อนที่มาพบกันได้

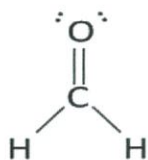
2.3) การกรองสัมผัส (Contact Filtration)

เป็นการทำให้ของไหลไหลผ่านชั้นกรอง โดยกลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์จะติดอยู่ที่ด้านบนของชั้นกรอง เมื่อของไหลไหลผ่านชั้นกรองไป กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์ที่อยู่ในของไหลจะชนกับคอลลอยด์ที่ติดอยู่ด้านบนของชั้นกรอง ทำให้กลุ่มก้อนของตะกอนคอลลอยด์มีขนาดใหญ่ขึ้น

2.5 ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde) [28]-[33]

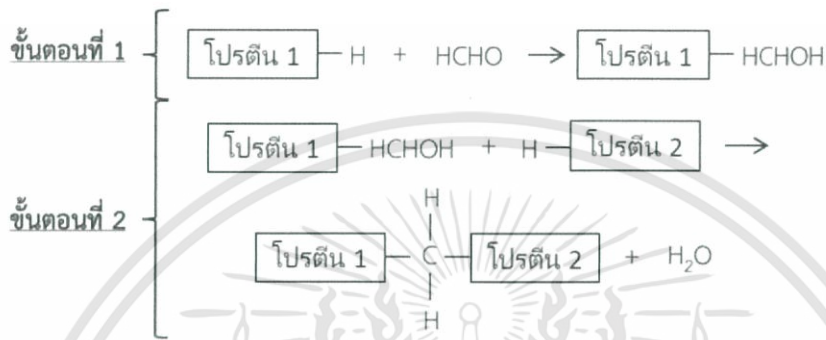
2.5.1 คำอธิบาย

ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นชื่อทางสามัญของสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มของแอลดีไฮด์ (Aldehyde) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ HCHO มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 มีชื่อตาม IUPAC คือ Methanal ในทางการค้า ฟอรัมาลดีไฮด์มักจะถูกจำหน่ายในรูปของสารละลายอิมัลชัน ซึ่งสารละลายที่อิมัลชันของฟอรัมาลดีไฮด์ จะมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ฟอรัมาลีน (Formalin) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว สารละลายฟอรัมาลดีไฮด์ ที่จุดอิมัลชันนี้จะมีค่าความเข้มข้นประมาณ 37 wt.%



รูปที่ 2.7 โครงสร้างเคมีของ ฟอรัมาลดีไฮด์

ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นสารที่รู้จักกันว่า เป็นสารพิษที่มีความเหมาะสมในการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น เชื้อโรค เป็นต้น และเป็นพิษต่อมนุษย์และสามารถทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคทางผิวหนัง โรคมะเร็ง ปอด เนื่องจาก ฟอร์มาลดีไฮด์ นั้นเมื่อละลายน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้โปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนโครงสร้างไปได้ ยกตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยา Crosslinking ซึ่งเป็นการเชื่อมระหว่างโปรตีน 2 โมเลกุลเข้าด้วยกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเชื่อมต่อโครงสร้าง (Crosslinking) ระหว่างโปรตีน 2 โมเลกุล ที่เกิดขึ้นโดยมี ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นตัวเชื่อมต่อโครงสร้าง (Crosslinker)

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 1 ฟอร์มาลดีไฮด์จะเข้าไปรวมกับโครงสร้างของโปรตีนโมเลกุลที่ 1 ก่อน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า การรวมโมเลกุลกับโปรตีนของฟอร์มาลดีไฮด์ (Addition of A Formaldehyde Molecule to a Protein) และจากนั้นในขั้นตอนที่ 2 โปรตีนที่รวมกับฟอร์มาลดีไฮด์แล้วจะเข้าไปเชื่อมต่อกับโครงสร้างของโปรตีนอีกโมเลกุลหนึ่ง โดยมีน้ำหลุดออกมา 1 โมเลกุล ทำให้เกิดเป็นสะพาน Methylene (Methylene Bridge) ที่เชื่อมต่อกันระหว่างโปรตีนทั้ง 2 โมเลกุล เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาการยึดเหนี่ยวของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ยึดติดกับโปรตีนแล้วกับโปรตีนอีกตัวหนึ่ง (Reaction of bound Formaldehyde with another Protein Molecule).

2.5.2 คุณสมบัติ

ฟอร์มาลดีไฮด์ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ :

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

- เป็นแก๊ส ที่อุณหภูมิห้อง
- มวลโมเลกุล = 30.03 g/mol
- จุดเดือด = -19.5 °C

- ความหนาแน่นในสถานะแก๊ส = $1 \text{ kg/m}^3 = 0.001 \text{ g/cm}^3$
- ความหนาแน่นของสารละลาย พอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 37 % = 1.08 g/cm^3
- มีกลิ่นฉุนรุนแรง
- ไม่มีสี
- ความดันไอที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C} = 3,980 \text{ mm.Hg}$.

2) คุณสมบัติทางเคมี

- เป็น Reducing Agent (ตัวให้อิเล็กตรอน) ที่รุนแรง
- ละลายได้ดีในน้ำ อีเทอร์ แอลกอฮอล์ และอะซิโตน
- ว่องไวต่อปฏิกิริยา
- มีฤทธิ์กัดกร่อน
- เมื่ออยู่ในสถานะแก๊ส ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น มีดังนี้ :
 - Polymerization
 - Oxidation
 - Addition
- เมื่ออยู่ในสถานะสารละลาย ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น มีดังนี้
 - Polymerization
 - Decomposition
 - Reduction
 - Oxidation
 - Addition
 - Condensation

2.5.3 การประยุกต์ใช้

พอร์มาลดีไฮด์ นั้นนิยมใช้ในทางด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้ :

1) อุตสาหกรรม

- ใช้ในผลิตเรซิน และพลาสติก
- ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์
- ใช้ในกระบวนการฟอกสี
- ใช้ในกระบวนการผลิตสี และหมึกพิมพ์
- ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำให้กระดาษลื่น และช่วยกันน้ำ
- ใช้เป็นส่วนผสมโลหะ ป้องกันการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ใช้เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก สบู่ ครีมโกนหนวด เพื่อเป็นตัวกำจัดเชื้อโรค
- ใช้ทำความสะอาด และฆ่าเชื้ออุปกรณ์ และอาคารโรงเรียน

2) ด้านการเกษตร

- ใช้กำจัดเชื้อโรค ทั้งในดิน น้ำ พืช และสัตว์
- ใช้ในการเก็บรักษาผลผลิตทางเกษตร เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ เป็นต้น

3) ด้านการแพทย์

- ใช้เก็บรักษาศพให้ไม่เน่าเปื่อย
- ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ และทำความสะอาดเครื่องมือทางการแพทย์ต่างๆ

2.5.4 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งของโรงงาน พ.ศ.2560

จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ได้กล่าวไว้ว่า น้ำทิ้งอุตสาหกรรม จะต้องมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เกิน 1 mg/L เมื่อตรวจสอบความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric Method)

2.6 กระบวนการอื่นๆที่สามารถใช้กำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้ [34]-[40]

2.6.1 Fenton Process

2.6.1.1 คำอธิบาย

เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ Fenton's Reagent เป็นสารผสมระหว่าง Hydrogen Peroxide (H_2O_2) กับ ไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) ถูกคิดค้นขึ้นเป็นครั้งแรกโดยคุณ H.J.H. Fenton เมื่อมากกว่า 110 ปีก่อนหน้านี้ โดยในขั้นตอนการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น Hydrogen Peroxide จะไปทำปฏิกิริยา Oxidation กับ ตัวสารอินทรีย์ดังกล่าว ทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ เกิดการสลายตัวกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยปฏิกิริยานี้ จะเกิดได้ดีที่สภาวะกรดสูง ($pH < 3$) ที่อุณหภูมิประมาณ $40 - 60\text{ }^{\circ}C$

2.6.1.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยา

ในสถานะที่สารละลายเป็นกรดเมื่อ Fenton's Reagent ถูกใส่เข้าไปในน้ำเสียที่ต้องการบำบัด Hydrogen Peroxide (H_2O_2) จะไปทำปฏิกิริยา Oxidation กับ ฟอร์มัลดีไฮด์ ($HCHO$) เกิดเป็นกรดฟอร์มิก ($HCOOH$) และน้ำ (H_2O) 1 โมเลกุลดังนี้ :



จากนั้น Hydrogen Peroxide (H_2O_2) จะทำปฏิกิริยา Oxidation กับกรดฟอร์มิก ($HCOOH$) เกิดเป็นก๊าซ Carbon Dioxide (CO_2) และน้ำ (H_2O) ดังนี้ :



2.6.2 Photocatalysis

2.6.2.1 คำอธิบาย

Photocatalysis คือกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำด้วยปฏิกิริยา Oxidation โดยอาศัยแสง (Photon) และตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา Oxidation ให้เกิดได้ดีขึ้น ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้โดยหลักๆแล้วจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

- 1) โลหะทรานซิชัน (Transition Metals) เช่น ทองแดง โคโรเมียม นิกเกิล เป็นต้น
- 2) สารกึ่งตัวนำ (Semi-Conductors) เช่น สังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ไททาเนียม ไดออกไซด์ (Titanium Dioxide, TiO_2) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulfide, CdS) เป็นต้น

2.6.2.2 ชนิดของ Photocatalysis

Photocatalysis สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) Photocatalysis แบบผสมกันเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous Photocatalysis)

Photocatalysis ชนิดนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในเฟสเดียวกันกับตัวทำละลาย (โดยส่วนมากจะเป็นของเหลว) เช่น Photocatalysis โดยใช้ UV/H₂O₂ เป็นต้น

2) Photocatalysis แบบไม่ผสมกันเป็นเนื้อเดียว (Heterogeneous Photocatalysis)

Photocatalysis ชนิดนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่อยู่ในเฟสเดียวกันกับตัวทำละลาย (โดยส่วนมากจะเป็นของเหลว) เช่น Photocatalysis โดยใช้ UV/TiO₂ เป็นต้น

2.6.2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยา

เมื่อพลังงานแสง (hv) มากกระทบกับตัวเร่งปฏิกิริยา (Photocatalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาจะแตกตัวทำให้เกิดเป็นโฮล (Hole, h⁺) และอิเล็กตรอน (Electron, e⁻) ดังนี้



โฮล (h⁺) ที่เกิดขึ้นนั้น จะทำปฏิกิริยากับน้ำ (H₂O) และ Hydroxide Ion (OH⁻) ที่อยู่ในน้ำ ได้เป็น Hydroxyl Radical (OH^{*}) และ Hydrogen Ion (H⁺) ดังนี้



ส่วนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น (e⁻) จะถูกรับโดยออกซิเจน (O₂) ที่อยู่ในน้ำ เกิดเป็น Superoxide Radical (O₂^{*}) ดังนี้



ซึ่ง Superoxide Radical (O₂^{*}) นี้จะทำปฏิกิริยากับ Hydrogen Ion (H⁺) เกิดเป็น Hydroperoxyl Radical (HO₂^{*}) ดังนี้



เมื่อ Hydroperoxyl Radical (HO_2^*) ที่เกิดขึ้น 2 โมเลกุลมาทำปฏิกิริยากัน จะได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ ออกซิเจน (O_2) ก็เกิดขึ้น ดังนี้



จากนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เกิดขึ้นจะรับอิเล็กตรอน จากอิเล็กตรอน (e^-) ที่เกิดขึ้นในสมการ (9) และจาก Superoxide Radical (O_2^*) ที่เกิดขึ้นในสมการ (11) ทำให้แตกตัวได้เป็น Hydroxyl Ion (OH^-) และ Hydroxyl Radical (OH^*) ดังสมการ (14) ถึง (16)



จากนั้น ไฮล (h^+) ที่เกิดขึ้นในสมการ (9) และ Hydroxyl Radical (OH^*) จะทำปฏิกิริยา Oxidation กับสารอินทรีย์ในน้ำ (Organic Compounds) จนผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O)

2.6.3 การเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการ

การเปรียบเทียบบางประการระหว่าง กระบวนการดูดซับ (Adsorption), Fenton Process และ Photocatalysis ในส่วนของการบำบัดของเสีย เป็นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการที่สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้

ปัจจัยที่ใช้เปรียบเทียบ	Adsorption	Fenton Process	Photocatalysis
สารเคมีตัวหลักๆที่ใช้	ตัวดูดซับ	Fenton's Reagent	Photocatalyst
หลักการการกำจัดสารอินทรีย์	การดูดซับ	ปฏิกิริยา Oxidation	ปฏิกิริยา Oxidation
เฟสที่เข้าบำบัดได้	ของเหลว, แก๊ส	ของเหลว, แก๊ส	ของเหลว, แก๊ส
สารตัวใหม่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ	ไม่มี	สารจำพวก Oxidation Intermediates	สารจำพวก Oxidation Intermediates
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	มากกว่า เนื่องจากสารอินทรีย์ ไม่ได้ถูกทำลาย และ คงอยู่ในตัวดูดซับ	น้อยกว่า เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกทำให้สลายไปด้วยปฏิกิริยา Oxidation	น้อยกว่า เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกทำให้สลายไปด้วยปฏิกิริยา Oxidation
ร้อยละความสามารถในการลดค่าปริมาณสารอินทรีย์รวม (Total Organic Compound, TOC) ในน้ำชะขยะ รายงานโดย Javeed Mohammed Abdul et.al. [39]	มากที่สุด	มากกว่า Photocatalysis แต่ น้อยกว่า Adsorption	น้อยที่สุด

2.7 เอ็น-บิวทานอล (N-Butanol) [41]-[42]

2.7.1 คำอธิบาย

เอ็น-บิวทานอล (N-Butanol) เป็นชื่อตาม IUPAC ของสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มของ แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary Alcohol) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $C_4H_{10}O$ และมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.9 มีชื่อทางสามัญ คือ N-Butyl Alcohol (NBA)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างเคมีของ เอ็น-บิวทานอล

2.7.2 คุณสมบัติ

เอ็น-บิวทานอล มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ :

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

- เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง
- มวลโมเลกุล = 47.12 g/mol
- จุดเดือด = 117 °C
- ความหนาแน่นในสถานะของเหลว = 0.81 g/cm³
- ความหนาแน่นในสถานะแก๊ส = 0.0031 g/cm³
- มีกลิ่นคล้ายเอทานอล
- ไม่มีสี

2) คุณสมบัติทางเคมี

- เป็น Reducing Agent (ตัวให้อิเล็กตรอน) ที่รุนแรง
- ละลายได้ดีมากในอะซีโตน ผสมกันได้กับ Ethanol และ Ethyl Ether
- เสถียรภายใต้สภาวะปกติ

2.7.3 การประยุกต์ใช้

โดยส่วนมาก เอ็น-บิวทานอล นั้นจะนิยมใช้ในงานต่างๆ เช่นดังต่อไปนี้ :

- ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมสีทาบ้าน สีย้อมผ้า
- ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเคลือบผิว
- ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมการผลิตเรซิน
- ใช้ผลิตน้ำมันเบรก
- ใช้เป็นตัวสกัดสารจำพวก Antibiotics, Vitamins และ Hormones

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์ และเอทิลีนไกลคอล ด้วยถ่านกัมมันต์ [32]

2.8.1.1 คำอธิบาย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่จัดทำในประเทศไทยโดยคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์, คุณนิพนธ์ ตั้งคณาธิรักษ์ และ คุณวิทยา ปันสุวรรณ ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์หลายๆปัจจัยต่อกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งหมด 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว (สำหรับงานวิจัยนี้ เรียกถ่านกัมมันต์นี้ว่า Activated Carbon) และ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากแคลบข้าว (สำหรับงานวิจัยนี้ เรียกถ่านกัมมันต์นี้ว่า Carbonated Carbon) ซึ่งในที่นี้ ผู้จัดทำขอกล่าวถึงเพียงในกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าวเท่านั้น ส่วนปัจจัยที่ศึกษา ผู้จัดทำขอยกมาเพียง 3 ปัจจัย ดังนี้

1) pH สารละลายของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ต้องการทำการดูดซับ

ทำการศึกษาที่ pH ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับเมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- ปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ = 50 mL
- ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 20 mg/L = 0.02 mg/mL
- ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ = 2 g (อัตราส่วนระหว่างมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 40 mg : 1 mL)
- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ = 30 min

2) ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น

ทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L ตามลำดับเมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- ปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ = 50 mL
- ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ = 2 g (อัตราส่วนระหว่างมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 40 mg : 1 mL)
- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ = 30 min

3) ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้

ทำการศึกษาที่มวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 g ตามลำดับต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 50 mL เมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 20 mg/L = 0.02 mg/mL
- ปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ = 50 mL
- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ = 30 min

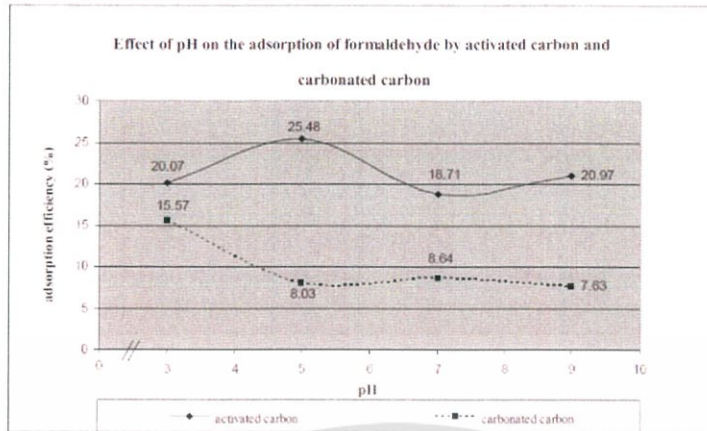
เพื่อทำการศึกษานักวิจัยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ทำการทดลองการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ไปทดลองทำการดูดซับจริงกับสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่เตรียมในห้องแลปเป็นแบตช์หลายๆแบตช์มาเปรียบเทียบกัน

2.8.1.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ ในกรณีของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว (ใช้คำว่า Activated Carbon สำหรับงานวิจัยนี้) เป็นดังนี้

1) ผลการปรับค่า pH ของสารละลาย

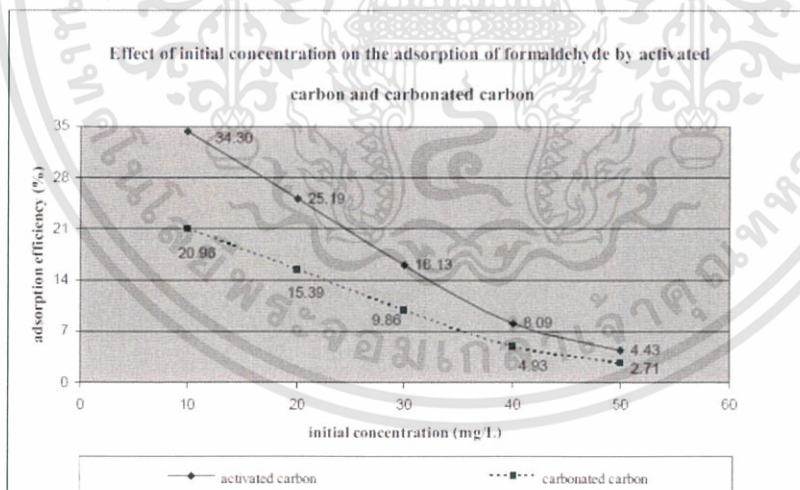
จากการทดลองที่ pH ของสารละลาย = 3, 5, 7 และ 9 ค่า pH ที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Adsorption Efficiency) สูงที่สุด คือ ที่ pH = 5 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ pH 7 เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อเทียบกับที่ pH = 7 และ 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ pH ต่างๆในงานวิจัยของคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์, คุณนิพนธ์ ตังคนานุรักษ์ และ คุณวิทยา บัณสุวรรณ [32]

2) ผลการเปลี่ยนความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น

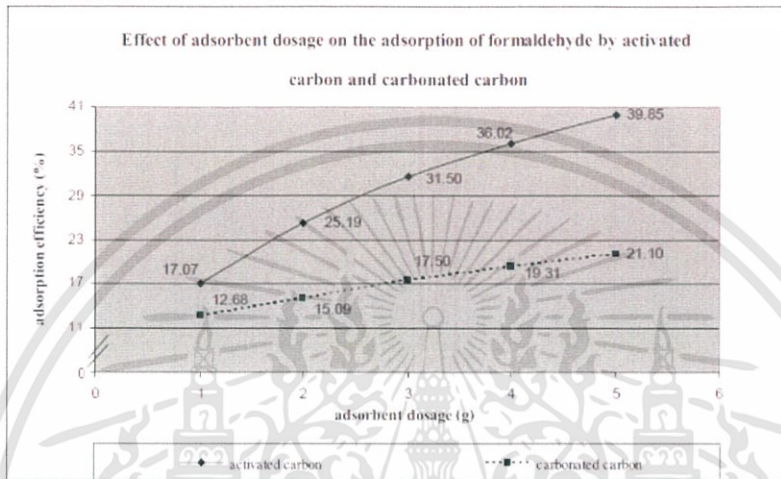
จากการทดลองที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น (Initial Concentration) = 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Adsorption Efficiency) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกความเข้มข้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นต่างๆในงานวิจัยคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ และทีมงาน [32]

3) ผลการเปลี่ยนมวลถ่านกัมมันต์

จากการทดลองเมื่อใช้มวลถ่านกัมมันต์ (Adsorbent Dosage) เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 50 mL เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Adsorption Efficiency) นั้นจะสูงขึ้นเป็นกราฟรูปครึ่งพาราโบลา ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่มวลของถ่านกัมมันต์ต่างๆต่อปริมาตรน้ำเสีย 50 mL ในงานวิจัยคุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ และทีมงาน [32]

2.8.2 Evaluation of wastewater treatment contaminated with Formaldehyde by using activated carbon prepared from cypress leaf. [33]

2.8.2.1 คำอธิบาย

เป็นงานวิจัยที่จัดทำในประเทศอิหร่านโดยคุณ Amin Goli, คุณ Amirreza Talaiekhosani และทีมงาน ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์หลายๆปัจจัยต่อการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากใบต้นไซเปรส ทั้งหมด 4 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

1) pH สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ต้องการทำการดูดซับ

ทำการศึกษาที่ pH ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 2, 7 และ 14 ตามลำดับเมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- อุณหภูมิในขั้นตอนการดูดซับ = 31 °C
- เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการดูดซับ = 2 ชั่วโมง

- ปริมาตรรวมของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 100 mL
- ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 0.4 mg/mL
- มวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ = 0.5 g (อัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 5 mg/mL)

2) ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น

ทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นเป็น 0.08, 0.16, 0.24, 0.32 และ 0.4 mg/mL ตามลำดับเมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- อุณหภูมิในขั้นตอนการดูดซับ = 31 °C
- เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการดูดซับ = 2 ชั่วโมง
- ปริมาตรรวมของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 100 mL
- pH ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 7
- มวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ = 0.5 g (อัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 5 mg/mL)

3) อุณหภูมิในการดูดซับ

ทำการศึกษาที่อุณหภูมิในการดูดซับเป็น 10, 15, 30, 40, 60, 80, และ 100 °C ตามลำดับเมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ = 2 ชั่วโมง
- ปริมาตรรวมของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 100 mL
- pH ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 7
- ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 0.4 mg/mL
- มวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ = 0.5 g (อัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 5 mg/mL)

4) เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

ทำการศึกษาเมื่อใช้เวลาในการดูดซับเป็น 5, 10, 15, 20, 30 และ 60 min ตามลำดับเมื่อใช้สภาวะดังต่อไปนี้ :

- อุณหภูมิในขั้นตอนการดูดซับ = 31 °C
- ปริมาตรรวมของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 100 mL
- pH ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 7
- ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 0.4 mg/mL
- มวลถ่านกัมมันต์ที่ใช้ = 0.5 g (อัตราส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 5 mg/mL)

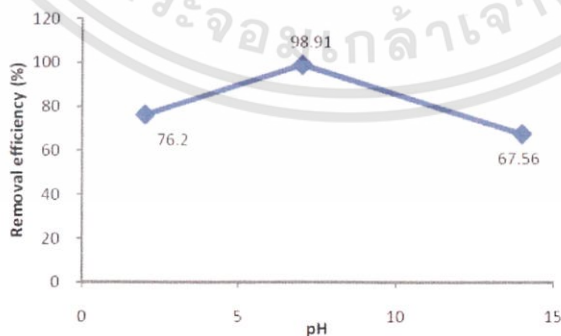
เพื่อทำการศึกษา ทิมงานของนักวิจัยทั้ง 2 ท่านนี้ ได้ทำการทดลองการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ไปทดลองทำการดูดซับจริงกับสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกเตรียมในห้องแลปเป็นแบตช์หลายๆแบตช์มาเปรียบเทียบกัน

2.8.2.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นดังนี้

1) ผลการปรับค่า pH ของสารละลาย

จากการทดลองที่ pH สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ = 2, 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Removal Efficiency) นั้นจะสูงที่สุดที่ pH = 7 โดยสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ถึง 98.91 % ดังรูปที่ 2.13

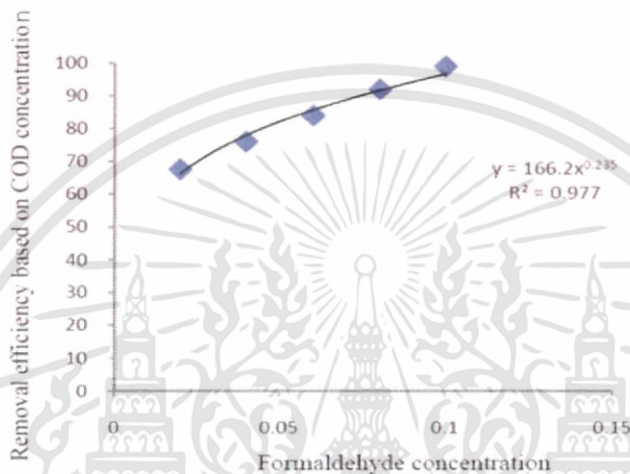


รูปที่ 2.13 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ pH ต่างๆในงานวิจัยของ Amin &

Amirreza et. al. [33]

2) ผลการเปลี่ยนความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น

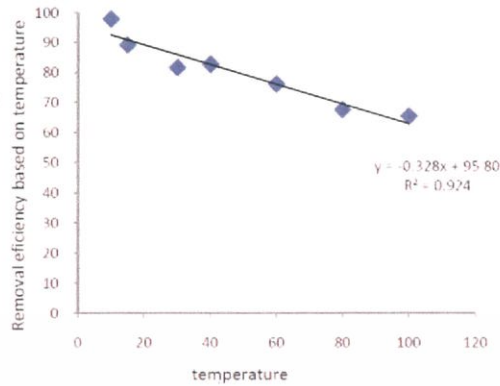
จากการทดลองเมื่อใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่เตรียมจากน้ำกลั่น 100 mL และสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 37 wt.% ปริมาตร 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.1 mL (มีความเข้มข้นเป็น 0.08, 0.16, 0.24, 0.32 และ 0.4 mg/mL ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Removal Efficiency) นั้นจะสูงขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นต่างๆในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33]

3) ผลการเปลี่ยนอุณหภูมิในการดูดซับ

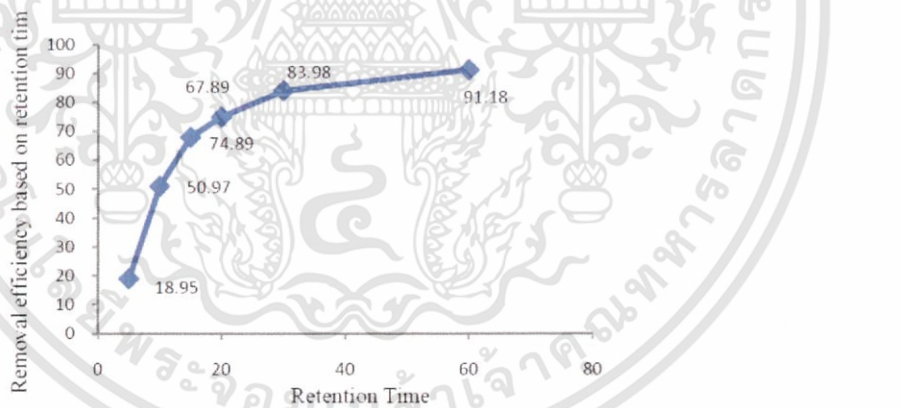
จากการทดลองที่อุณหภูมิของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (Temperature) เป็น 10, 15, 30, 60, 80 และ 100 °C เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Removal Efficiency) นั้นจะลดลงเป็นกราฟเส้นตรงตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นดัง รูปที่ 2.15 ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับทฤษฎีในส่วนหัวข้อ 2.1.3.3 แล้วพบว่าความสัมพันธ์ใน รูปที่ 2.15 นั้นสอดคล้องกับความสัมพันธ์ในกรณีที่เป็นการดูดซับชนิดทางกายภาพ (Physisorption) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. นี้ เป็นการดูดซับแบบกายภาพ (Physisorption)



รูปที่ 2.15 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่อุณหภูมิของน้ำเสียต่างๆ ในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33]

4) ผลการเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

จากการทดลองที่เวลาที่ใช้ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 5, 10, 15, 20, 30 และ 60 min เปอร์เซ็นต์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด (Removal Efficiency) นั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงเรื่อยๆตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อใช้เวลาในการดูดซับต่างๆ ในงานวิจัยของ Amin & Amirreza et. al. [33]

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ขวดพลาสติกมีฝาปิด ขนาด 1 L จำนวน 3 ขวด (สำหรับ เก็บตัวอย่างน้ำเสีย)
- 2) ถ้วยตวงพลาสติก ขนาด 500 mL จำนวน 1 ถ้วย (สำหรับ เป็นภาชนะตวงน้ำเสีย)
- 3) ขวดแก้วมีฝาปิด ขนาด 500 mL จำนวน 1 ขวด (สำหรับ เป็นภาชนะรอน้ำเสียตกตะกอน)
- 4) ปีกเกอร์แก้ว ขนาด 500 mL จำนวน 2 ใบ (สำหรับ เป็นภาชนะใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ)
- 5) ขวดแก้วมีฝาปิด ขนาด 50 mL จำนวน 2 ขวด (สำหรับ เก็บสาร Sep-A และ สารละลาย NaOH)
- 6) ขวดเก็บตัวอย่าง GC ขนาด 20 mL จำนวน 20 ขวด (สำหรับ เก็บตัวอย่างน้ำเสียไปฉีด GC)
- 7) หลอดหยดพลาสติก ขนาด 5 mL จำนวน 1 หลอด (สำหรับ เก็บตัวอย่างน้ำเสียใส่ขวด GC)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักสาร จำนวน 1 เครื่อง (สำหรับ วัดมวลของถ่านกัมมันต์)
- 9) เครื่องกวนสาร จำนวน 1 เครื่อง (สำหรับ กวนน้ำเสียให้เป็นเนื้อเดียวกันขณะใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับ)
- 10) กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman™ Grade 2 (สำหรับ แยกถ่านกัมมันต์ออกจากตัวอย่างน้ำเสีย)
- 11) ไมโครปิเปต จำนวน 1 อัน (สำหรับ ใช้หยด สารละลาย NaOH และสาร Sep-A ลงในน้ำเสีย)
- 12) Water Bath จำนวน 1 เครื่อง (สำหรับ ให้ความร้อนน้ำเสียขณะใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับ)
- 13) เครื่อง Gas Chromatography จำนวน 1 เครื่อง (สำหรับ วัดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์)
- 14) กระดาษฟอยล์ที่พับเป็นรูปกระทง (สำหรับ ทำถาดใช้บรรจุถ่านกัมมันต์ขณะชั่งน้ำหนัก)
- 15) ซ้อนตักสาร จำนวน 1 อัน (สำหรับ ใช้ตักถ่านกัมมันต์)
- 16) แท่งแก้วกวนสาร จำนวน 1 อัน (สำหรับ ใช้กวนน้ำเสียระหว่างใส่สารละลาย NaOH และ Sep-A)
- 17) pH Meter จำนวน 1 เครื่อง (สำหรับ ใช้วัดค่า pH ระหว่างการใส่สารละลาย NaOH และ Sep-A)
- 18) กระจกตวง ขนาด 50 mL จำนวน 1 กระจก (สำหรับ ใช้ตวงสารละลาย NaOH)
- 19) นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 เรือน (สำหรับ ใช้ดูระยะเวลาที่ผ่านไปในช่วงขั้นตอนการดูดซับ)
- 20) Thermometer จำนวน 1 อัน (สำหรับ ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนและระหว่างการดูดซับ)

3.2 สารที่ใช้ในการทดลอง

- 1) Micro-Nice® Bio Separator - A (Sep-A) 50 mL
- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 wt.% (50 wt.% NaOH) 2 mL
- 3) ถ่านกัมมันต์ (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) น้ำเสียจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins
- 5) น้ำกลั่น (H₂O)

3.3 การเตรียมการก่อนการทดลอง

ก่อนที่จะเริ่มการทดลอง ผู้ทำการทดลองจะต้องมีการเตรียมการ ดังต่อไปนี้

3.3.1 การเตรียมสารต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ก่อนเริ่มการทดลองการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย ผู้ทำการทดลองได้ทำการเตรียมสารดังต่อไปนี้

3.3.1.1 น้ำเสียตัวอย่าง

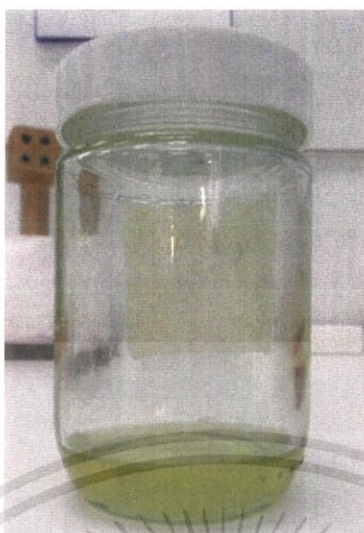
ผู้ทำการทดลอง ได้เก็บน้ำเสียตัวอย่างมาจากถังเก็บน้ำเสียของกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins ก่อนการทดลองในแต่ละแบตช์ ผู้ทำการทดลองได้แยกน้ำเสียดังกล่าวออกมาทำการทดลองเป็น ปริมาตรแบตช์ละ 300 mL ซึ่งลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างนี้ มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีเหลือง ชุ่น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียดิบจากกระบวนการผลิต Solvent-Based Resins

3.3.1.2 Micro-Nice[®] Bio Separator - A (Sep-A)

บริษัท โกลบอลคอนเนคชั่นส์ จำกัด ได้ให้ตัวอย่างสาร Sep-A มาทดลองเป็นขวดใหญ่ 1 ขวด ซึ่ง ผู้ทำการทดลองได้แยก Sep-A ออกมาใช้เพียง 50 mL โดย Sep-A มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสี เขียวอ่อน ค่อนข้างใส ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของสารช่วยตกตะกอน Sep-A

3.3.1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 wt.% (2 wt.% NaOH)

ผู้ทำการทดลอง ได้รับสารละลาย 50 wt.% NaOH มาจากแผนกที่ผู้ทำการทดลองฝึกงานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัท Kurita-Gk Co., Ltd. ซึ่งผู้ทำการทดลอง ก็ได้ตวงสารละลายดังกล่าวออกมาเป็นปริมาตรทั้งหมด 2 mL ใส่ลงไปในน้ำกลั่น 48 mL จึงได้เป็นสารละลาย 2 wt.% NaOH ที่มีปริมาตรรวมทั้งหมด 50 mL

3.3.1.4 ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (C)

บริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด ได้ให้ตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมาทดลองมาเป็นถุงทั้งหมด 2 kg ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ดังภาคผนวก ข.

3.3.2 การวัดความเข้มข้นของ ฟอर्मัลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ในน้ำเสียดิบ

เพื่อคำนวณความเข้มข้นของ ฟอर्मัลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ที่ถูกกำจัดไปในกระบวนการของแต่ละแบคทีเรีย ผู้ทำการทดลองจึงจำเป็นต้องทราบค่าความเข้มข้นของ ฟอर्मัลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล เริ่มต้นในน้ำเสียก่อนการทดลอง ผู้ทำการทดลองจึงได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลองไปหาความเข้มข้นดังกล่าวโดยการฉีด GC ซึ่งผลที่ได้ เป็นดังหัวข้อที่ 4.1

3.4 สมมุติฐานในการทดลอง

การทดลองทั้งหมด มีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

- 1) น้ำเสียหลังแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกแล้ว ไม่มีองค์ประกอบอื่นนอกจาก น้ำ ฟอर्मาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล
- 2) ฟอर्मาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ไม่ทำปฏิกิริยากันต่อระหว่างการทดลอง
- 3) ไม่มีการสูญเสียมวลของสารใดๆจากการระเหยตลอดการทดลอง
- 4) ไม่มีการสูญเสียมวลของสารใดๆจากการเทตัวอย่างน้ำเสียจากภาชนะหนึ่งไปอีกภาชนะหนึ่งตลอดการทดลอง
- 5) การเก็บตัวอย่างน้ำเสียใส่ขวด GC แต่ละครั้ง ไม่ทำให้มวลของน้ำเสียในแบตช์หลักลดลง
- 6) ในน้ำเสียไม่มีสิ่งปนเปื้อนใดๆที่ส่งผลกระทบต่อผลของเครื่อง GC
- 7) ทุกขั้นตอนนอกเหนือจากขั้นตอนการดูดซับ กระทำที่อุณหภูมิ 31.4 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลอง
- 8) ถ่านกัมมันต์ ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำเสียตัวอย่างที่เก็บหลังใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับนั้นไม่มีการดูดซับ ฟอर्मาลดีไฮด์ หรือ เอ็น-บิวทานอล ต่ออีก

3.5 การทดลอง

การทดลองนั้นจะทำการทดลองทั้งหมด 5 แบตช์ ซึ่งแต่ละแบตช์จะมีขั้นตอนหลักๆอยู่ 4 ขั้นตอน ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1.5 ซึ่งในแต่ละขั้นตอนหลัก ผู้ทำการทดลอง ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

3.5.1 ขั้นตอนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการตกตะกอน

สำหรับแบตช์ฐาน, แบตช์ 1, แบตช์ 2, แบตช์ 3 และ แบตช์ 4 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการตกตะกอนมีขั้นตอนย่อย ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการตกตะกอน สำหรับทุกแบคทีเรีย

ขั้นตอน ย่อยที่	รายละเอียด									
1	เตรียมน้ำเสียดิบจากน้ำเสียเริ่มต้น (ซึ่งมี pH = 6.26)									
2	ปรับ pH ของน้ำเสียให้เป็น 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์									
3	ใส่สารช่วยตกตะกอน Sep-A จนกว่า pH ของน้ำเสียแต่ละแบคทีเรียเป็นดังนี้ :									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>แบคทีเรียฐาน</th> <th>แบคทีเรีย 1</th> <th>แบคทีเรีย 2</th> <th>แบคทีเรีย 3</th> <th>แบคทีเรีย 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH = 5</td> <td>pH = 4</td> <td>pH = 5</td> <td>pH = 5</td> <td>pH = 5</td> </tr> </tbody> </table>	แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3	แบคทีเรีย 4	pH = 5	pH = 4	pH = 5	pH = 5
แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3	แบคทีเรีย 4						
pH = 5	pH = 4	pH = 5	pH = 5	pH = 5						
4	ตั้งน้ำเสียทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน									
5	เทแยกน้ำเสียในชั้นน้ำใสออกมาใส่อีกภาชนะหนึ่ง									
6	เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากชั้นน้ำใส สำหรับฉีด GC									

3.5.2 ขั้นตอนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์

สำหรับแบคทีเรียฐาน, แบคทีเรีย 1, แบคทีเรีย 2 และ แบคทีเรีย 3 ขั้นตอนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์มีขั้นตอนย่อย ต่างๆเป็นดังที่แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ขั้นตอนการดูดซับสำหรับทุกแบคทีเรียวันแบคทีเรีย 4

ขั้นตอนย่อยที่	รายละเอียด							
1	เตรียมน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว							
2	เตรียมน้ำกลั่นให้มีส่วนระหว่างมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรน้ำเสียในแต่ละแบคทีเรียเป็นดังนี้ :							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>แบคทีเรียฐาน</th> <th>แบคทีเรีย 1</th> <th>แบคทีเรีย 2</th> <th>แบคทีเรีย 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>สัดส่วน = 1 g : 2 mL</td> <td>สัดส่วน = 1 g : 2 mL</td> <td>สัดส่วน = 1 g : 4 mL</td> <td>สัดส่วน = 1 g : 2 mL</td> </tr> </tbody> </table>	แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3	สัดส่วน = 1 g : 2 mL	สัดส่วน = 1 g : 2 mL	สัดส่วน = 1 g : 4 mL
แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3					
สัดส่วน = 1 g : 2 mL	สัดส่วน = 1 g : 2 mL	สัดส่วน = 1 g : 4 mL	สัดส่วน = 1 g : 2 mL					
3	ปรับอุณหภูมิน้ำเสีย ให้มีอุณหภูมิในแต่ละแบคทีเรีย เป็นดังนี้:							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>แบคทีเรียฐาน</th> <th>แบคทีเรีย 1</th> <th>แบคทีเรีย 2</th> <th>แบคทีเรีย 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>อุณหภูมิ = 31.4 °C</td> <td>อุณหภูมิ = 31.4 °C</td> <td>อุณหภูมิ = 31.4 °C</td> <td>อุณหภูมิ = 60 °C</td> </tr> </tbody> </table>	แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3	อุณหภูมิ = 31.4 °C	อุณหภูมิ = 31.4 °C	อุณหภูมิ = 31.4 °C
แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3					
อุณหภูมิ = 31.4 °C	อุณหภูมิ = 31.4 °C	อุณหภูมิ = 31.4 °C	อุณหภูมิ = 60 °C					
4	เริ่มการกวนน้ำเสีย							
5	ใส่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียม ลงในน้ำเสีย + เริ่มจับเวลา							
6	เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 นาที ตั้งแต่ที่เวลา 2 นาที ถึง 10 นาที สำหรับฉีด GC							
7	เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 20 และ 30 นาที ตามลำดับ สำหรับฉีด GC							
8	ได้ตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 7 ขวด ต่อแบคทีเรีย							

ส่วนสำหรับแบคทีเรีย 4 ขั้นตอนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์มีขั้นตอนย่อยต่างๆเป็นดังที่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ขั้นตอนการดูดซับสำหรับแบคทีเรีย 4

ขั้นตอน ย่อยที่	รายละเอียด
1	เตรียมน้ำเสียที่ผ่านการทดลองในแบคทีเรียที่ 3 แล้ว
2	เตรียมน้ำมันก๊าดที่มีสัดส่วนระหว่างมวลน้ำมันก๊าดต่อปริมาตรน้ำเสียเป็น 1 g : 4 mL
3	ปรับอุณหภูมิน้ำเสีย ให้มีอุณหภูมิเป็น 31.4 °C
4	เริ่มการกวนน้ำเสีย
5	ใส่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียม ลงในน้ำเสีย + เริ่มจับเวลา
6	เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 นาที ตั้งแต่ที่เวลา 2 นาที ถึง 10 นาที
7	เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 20 และ 30 นาที ตามลำดับ
8	ได้ตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 7 ขวด สำหรับแบคทีเรีย 4

3.5.3 ขั้นตอนการกรองถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำเสีย

ขั้นตอนนี้ ดำเนินการโดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากขั้นตอนการดูดซับ แต่ละขวดไปเทผ่านกระดาษกรองโดยให้ขวด GC แต่ละขวด คอยรับน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้ว ซึ่งน้ำเสียหลังเทผ่านกระดาษกรองนี้ เป็นน้ำเสียที่จะนำไปฉีด GC ในขั้นตอนถัดไป

3.5.4 ขั้นตอนการฉีด GC

ขั้นตอนนี้ ดำเนินการโดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากขั้นตอนการกรองถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำเสีย ไปฉีด GC แล้วบันทึกค่าความเข้มข้นของ ฟอรัมาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล โดยปริมาตรลงในบันทึกผลการทดลองแล้วดูแนวโน้มการลดลงของ ฟอรัมาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ว่าค่าเริ่มคงที่ที่ขวดใด ซึ่งบ่งบอกถึงเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลของกระบวนการดูดซับ และค่าของขวดตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการกวน นานที่สุดมีค่าเท่าใด ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับสำหรับสภาวะที่ทำการทดลองนี้

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการวิจัย สำหรับแต่ละขั้นตอนดังนี้

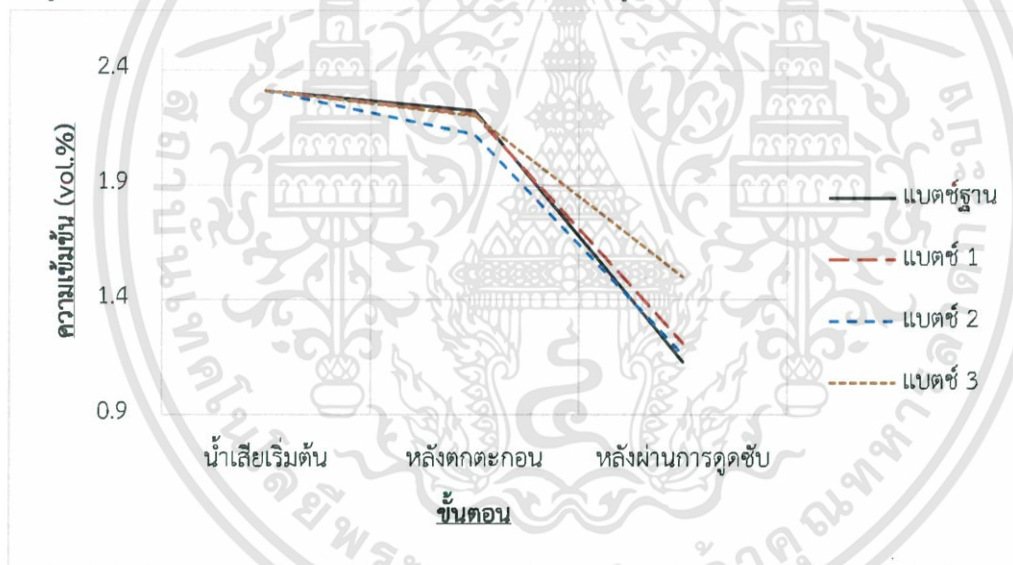
4.1 ผลการวัดความเข้มข้น ฟอर्मาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ในน้ำเสียเริ่มต้น

ความเข้มข้นของสารต่างๆในน้ำเสียเริ่มต้น เป็นดังนี้

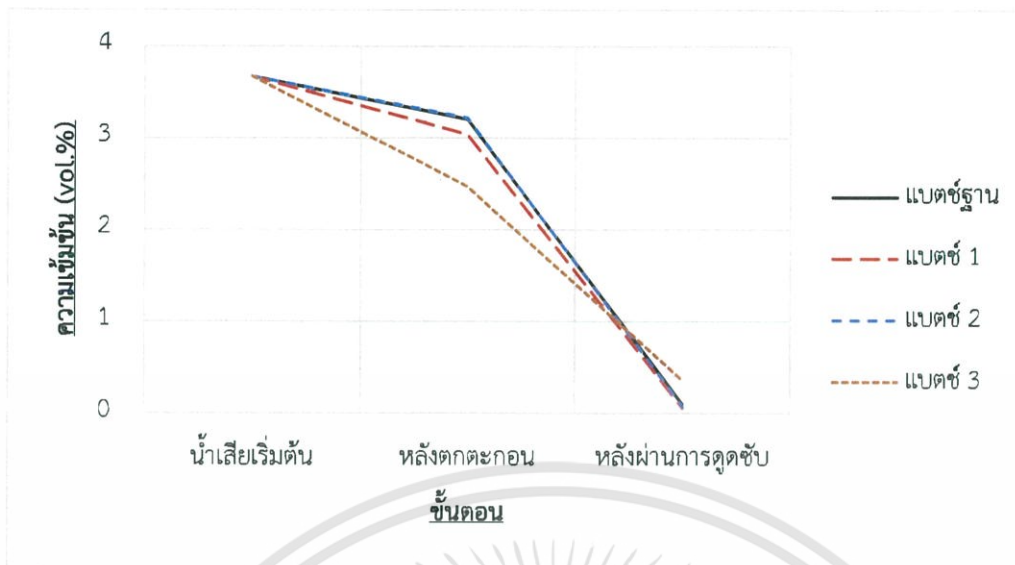
- ความเข้มข้นของ ฟอर्मาลดีไฮด์ คือ 2.3098 vol.%
- ความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล คือ 3.6693 vol.%

4.2 ผลการทดลองในแต่ละแบตช์

ในแต่ละขั้นตอนของแบตช์ฐาน, แบตช์ 1 (เพิ่มปริมาณการใส่ Sep-A เป็นใส่จน pH = 4), แบตช์ 2 (เพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 °C) และ แบตช์ 3 (ลดมวลถ่านกัมมันต์ลง 2 เท่า) ความเข้มข้นของ ฟอर्मาลดีไฮด์ เป็นดังรูปที่ 4.1 และความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล เป็นดังรูปที่ 4.2

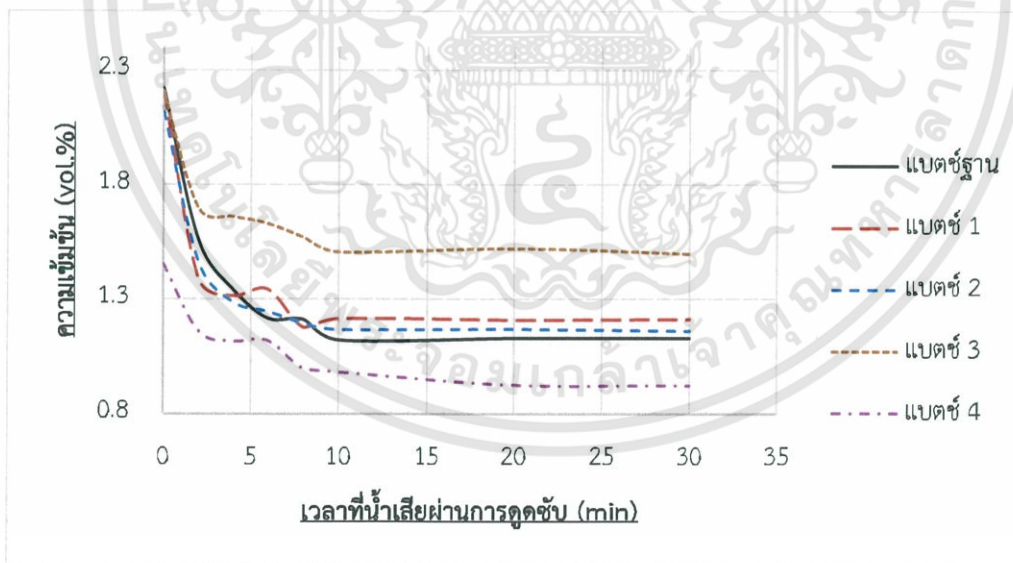


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเข้มข้นของ ฟอर्मาลดีไฮด์ ตลอดการดูดซับ

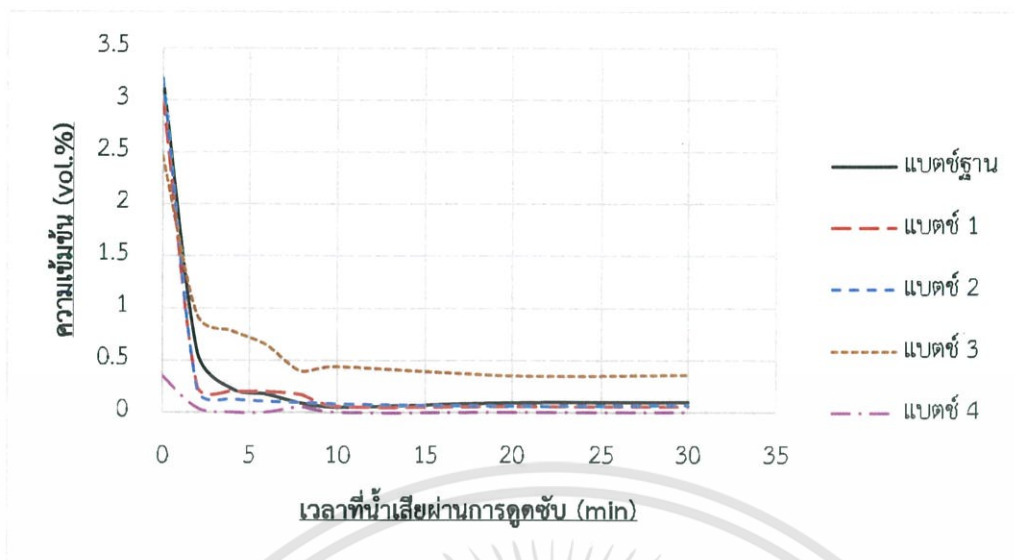


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล ตลอดการดูดซับ

สำหรับในขั้นตอนการดูดซับของเบสค์ฐาน, เบสค์ 1 (เพิ่มปริมาณการใส่ Sep-A เป็นในสัจน pH = 4), เบสค์ 2 (เพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 °C), เบสค์ 3 (ลดสัดส่วนมวลถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรน้ำเสียลงเป็น 1 g : 4 mL) และ เบสค์ 4 (นำน้ำเสียหลังผ่านเบสค์ 3 มาผ่านดูดซับครั้งที่ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ฟอรัมาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ต่อเวลาที่ใช้ในการดูดซับเป็นดัง รูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของ ฟอรัมาลดีไฮด์ ตลอดการดูดซับ



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล ตลอดการดูดซับ

จากกราฟตั้งแต่ รูปที่ 4.1 จนถึง รูปที่ 4.4 สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์คงที่, ความเข้มข้นสุดท้ายของฟอร์มาลดีไฮด์, ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัดเมื่อเทียบกับน้ำเสียเริ่มต้น, เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัดเมื่อเทียบกับน้ำเสียเริ่มต้น ได้ดังตารางที่ 4.1 และสามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอลคงที่, ความเข้มข้นสุดท้ายของเอ็น-บิวทานอล, ความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอลที่ถูกกำจัดเมื่อเทียบกับน้ำเสียเริ่มต้น, เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอลที่ถูกกำจัดเมื่อเทียบกับน้ำเสียเริ่มต้นได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในทุกแบริดจ์

ชื่อแบริดจ์	เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่ (min)	ความเข้มข้น		
		ความเข้มข้น สุดท้าย (vol.%)	ความเข้มข้นที่ถูก กำจัด (vol.%)	% ความเข้มข้นที่ ถูกกำจัด (%)
แบริดจ์ฐาน	10	1.1292	1.1806	51.11
แบริดจ์ 1	8	1.2103	1.0995	47.60
แบริดจ์ 2	4	1.1617	1.1481	49.71
แบริดจ์ 3	10	1.4982	0.8116	35.14
แบริดจ์ 4	18	0.9235	1.3863	60.02

หมายเหตุ : เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่ในแบริดจ์ที่ 4 เป็นเวลาที่รวมเวลาจากการดูดซับในแบริดจ์ที่ 3 เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4.2 ผลการกำจัดเอ็น-บิวทานอลในทุกแบคทีเรีย

ชื่อแบคทีเรีย	เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่ (min)	ความเข้มข้น		
		ความเข้มข้น สุดท้าย (vol.%)	ความเข้มข้นที่ถูก กำจัด (vol.%)	% ความเข้มข้นที่ ถูกกำจัด (%)
แบคทีเรียฐาน	4	0.0973	3.602	97.37
แบคทีเรีย 1	2	0.0572	3.6421	98.45
แบคทีเรีย 2	2	0.072	3.6273	98.05
แบคทีเรีย 3	8	0.3585	3.3408	90.31
แบคทีเรีย 4	(ไม่สามารถระบุได้เนื่องจาก ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0 ที่ เวลา 10 min)	0	3.6993	100.00

หมายเหตุ : เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่ในแบคทีเรียที่ 4 เป็นเวลาที่รวมเวลาจากการดูดซับในแบคทีเรียที่ 3 เรียบร้อยแล้ว

สำหรับในขั้นตอนการปรับ pH ของน้ำเสียโดยใช้สารละลาย NaOH ในทุกแบคทีเรียดังกล่าว พบว่า การปรับ pH น้ำเสียจาก 6.26 เป็น 8 โดยใช้สารละลาย NaOH นั้น จะต้องใช้สารละลาย 2 wt.% NaOH เป็นปริมาตรทั้งหมด 60 μ L ต่อน้ำเสียดิบ 300 mL

สำหรับในขั้นตอนการใส่ Sep-A จนน้ำเสียมี pH ลดลงจาก 8 เป็น 5 นั้น พบว่าปริมาณ Sep-A ที่ต้องใช้ในการปรับ pH น้ำเสียจาก 8 เป็น 5 คือ 60 μ L ต่อน้ำเสียดิบ 300 mL และปริมาณ Sep-A ที่ต้องใช้ในการปรับ pH น้ำเสียจาก 8 เป็น 4 คือ 600 μ L ต่อน้ำเสียดิบ 300 mL

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จาก ตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 เมื่อนำแบคทีเรีย 1, แบคทีเรีย 2, แบคทีเรีย 3 และ แบคทีเรีย 4 มาเปรียบเทียบกับแบคทีเรียฐาน พบว่า ในแต่ละแบคทีเรีย เวลาที่ใช้ในการดูดซับจนความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์คงที่กับปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัด เป็นดังตารางที่ 4.3 และเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอลคงที่กับปริมาณเอ็น-บิวทานอลที่ถูกกำจัด เป็นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละแบคทีเรีย

ชื่อแบคทีเรีย	ตัวแปรที่เปลี่ยน	เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่	ปริมาณความเข้มข้นที่ถูกกำจัด
แบคทีเรีย 1	ปริมาณ Sep-A เปลี่ยนจากใส่จน pH = 5 เป็นใส่จน pH = 4	ลดลง 20.00 %	ลดลง 6.87 %
แบคทีเรีย 2	อุณหภูมิในการดูดซับ เปลี่ยนจาก 31.4 °C เป็น 60 °C	ลดลง 60.00 %	ลดลง 2.75 % (ถือว่าคงเดิม)
แบคทีเรีย 3	อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อน้ำเสีย เปลี่ยนจาก 1 g : 2 mL เป็น 1 g : 4 mL	คงเดิม	ลดลง 31.26 %
แบคทีเรีย 4	จำนวนครั้งในการใส่ถ่านกัมมันต์ เปลี่ยนจากใส่ 1 ครั้ง เป็นแยกใส่ 2 ครั้ง	เพิ่มขึ้น 80.00 %	เพิ่มขึ้น 17.42 %

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด เอ็น-บิวทานอล ในแต่ละแบคทีเรีย

ชื่อแบคทีเรีย	ตัวแปรที่เปลี่ยน	เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่	ปริมาณความเข้มข้นที่ถูกกำจัด
แบคทีเรีย 1	ปริมาณ Sep-A เปลี่ยนจากใส่จน pH = 5 เป็นใส่จน pH = 4	ลดลง 50.00 %	เพิ่มขึ้น 1.11 % (ถือว่าคงเดิม)
แบคทีเรีย 2	อุณหภูมิในการดูดซับ เปลี่ยนจาก 31.4 °C เป็น 60 °C	ลดลง 50.00 %	เพิ่มขึ้น 0.70 % (ถือว่าคงเดิม)
แบคทีเรีย 3	อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อน้ำเสีย เปลี่ยนจาก 1 g : 2 mL เป็น 1 g : 4 mL	เพิ่มขึ้น 100.00 %	ลดลง 7.25 %
แบคทีเรีย 4	จำนวนครั้งในการใส่ถ่านกัมมันต์ เปลี่ยนจากใส่ 1 ครั้ง เป็นแยกใส่ 2 ครั้ง	ไม่อาจระบุได้ เนื่องจาก เอ็น-บิวทานอล ถูกกำจัดจนหมด	เพิ่มขึ้น 2.70 % (ถูกกำจัดจนหมด)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่างๆในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ Sep-A ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอน ตามด้วยการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอร์มาลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล นั้นสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 ตามลำดับ

หากคำนึงถึงความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัดเป็นหลัก สภาวะที่ทำให้การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ เกิดมากที่สุดในการทดลองนี้ คือ สภาวะดังต่อไปนี้ :

- การใส่ Sep-A : ใส่จน pH น้ำเสีย = 5
- อุณหภูมิน้ำเสียในขั้นตอนการดูดซับ : ใช้อุณหภูมิ = อุณหภูมิห้อง (31.4 °C)
- จำนวนครั้งที่ทำการดูดซับ เมื่อมวลรวมของถ่านกัมมันต์คงที่ : ทำการดูดซับ 2 ครั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) บริษัทฯควรทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันอีกครั้ง เนื่องจากด้วยเวลาที่ถูกจำกัด การทดลองในแต่ละแบบذجจึงกระทำแค่เพียงครั้งเดียว และไม่มีการทำการทดลองซ้ำ
- 2) วิธีใส่ถ่านกัมมันต์แล้วกวนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้นั้น ถูกใช้ในโครงการนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในการเก็บข้อมูลเพื่อดูประสิทธิภาพในการดูดซับที่เวลาการดูดซับต่างๆ วิธีการกำจัดแบบนี้จึงเหมาะสมแค่เพียงใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เท่านั้น และไม่เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการกำจัดจริง สำหรับกระบวนการกำจัดจริงนั้น บริษัทฯควรพิจารณาใช้ Packed Bed ในการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับแทน เนื่องจาก เป็นกระบวนการประหยัดถ่านกัมมันต์กว่ามาก และเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าการกวน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai Mitsui Specialty Chemicals Co., Ltd. 2013. **History Background & Business Overview**. [Online]. Available : www.tmsc.co.th/history.php
- [2] Cary T Chiou. 2003. **Fundamentals of the Adsorption Theory**. [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/313988668>
- [3] Ali Ahmadpour. 2015. **Adsorption Processes**. [Online]. Available : ahmadpour.profcms.um.ac.ir/imagesm/282/stories/phocagallery/2-adsorption.pdf
- [4] Awajjogak Anthony Ujile. 2014. **Adsorption**. [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/274391519>
- [5] Adam Hughmanick Berger and Abhoyjit S. Bhowm. 2011. **Comparing Physisorption and Chemisorption Solid Sorbents for use Separating CO₂ from Flue Gas using Temperature Swing Adsorption**. [Online]. Available : https://ac.els-cdn.com/S1876610211000919/1-s2.0-S1876610211000919-main.pdf?_tid=80ffd71d-c9e2-48f0-821736b9675220f3&acdnat=1541581443_93a658c36fd4ed7c55625b53545cbcf
- [6] Santosh Agray. 2012. **Factors Affecting The Adsorption of Gases by Solids**. [Online]. Available : <http://chemistry-desk.blogspot.com/2012/10/factors-affecting-adsorption-of-gases.html>
- [7] Shodhganga. 2018. **Principles of Adsorption**. [Online]. Available : shodhganga.inflibnet.ac.th/bitstream/10603/22665/8/08_chapter3.pdf
- [8] Orathai Wongsawiang, Maleewan Unpipat, Chonticha Chareannate, and Ekrachan Chaichana. 2016. **Pyrolysis of agricultural residues in the local area of Nakhon Pathom Province**. [Online]. Available : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/jtir/article/view/56537>
- [9] กุลนันท์ วีรณรงค์กร และ ดร.อมลชัย อารณวิธานพ. 2015. **ไพโรไลซิส (Pyrolysis)**. [Online]. Available : www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn241_p61-64.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 57 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Puchong Sriling. 2015. **Study of Methane and Hydrogen Adsorption in Activated Carbon with Nickel on its surface by Monte Carlo Simulation.** [Online]. Available : sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5994/2/Fulltext.pdf
- [11] Msa Abubakar Tadda, Abubakar Shitu, Amimui Ahsan, and Moetaz Eisergany. 2016. **A review on activated carbon: process, application and prospects.** [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/318827940>
- [12] อнуสรณ์ สิ้นสะอาด. 2017. **การพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาถ่านกัมมันต์ จากกะลามะพร้าว.** [Online]. Available : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/Itech/article/view/107095>
- [13] Tatsanee Nuilerd. 2016. **Production of Activated Carbon from Parawood Charcoal for Iron Adsorption in Water.** [Online]. Available : <https://core.ac.uk/download/pdf/154815156.pdf>
- [14] Theeradit Phothitontimongkol. 2017. **Activated Carbon from Agricultural Residues by Chemical Activation for the Application of Pollutant Removal of Water.** [Online]. Available : ejournals.swu.ac.th/index.php/JSTEL/article/view/8800
- [15] Thanpisit Phuangchik. 2015. **Activated Carbon from Bamboo: Does the Market have a High Demand?** [Online]. Available : tujournals.tu.ac.th/tstj/detailart.aspx?ArticleID=3739
- [16] G.J. McDOUGALL. 1991. **The physical nature and manufacture of activated carbon.** [Online]. Available : <https://www.saimm.co.za/Journal/v091n04p109.pdf>
- [17] สิริกาญจน์ นุ่นปุย. 2010. **การบำบัดน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ถ่านกัมมันต์.** [Online]. Available : doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14457/KMUTT.res.2010.32
- [18] ญัฐวิภา จงรัก. 2011. **การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.** [Online]. Available : cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/21965/1/nattavipa_ch.pdf
- [19] Tang Shu Hui and Muhammad Abbas Ahmad Zaini. 2015. **Potassium Hydroxide Activation of Activated Carbon: A Commentary.** [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/283344384>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 58 ศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] รศ.ดร.อภิสิทธิ์ ๙๙๙๙. 2008. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่. [Online]. Available :
pirun.ku.ac.th/~fsciass/PDF/special%20lecture/preparation-activated-C-form-bamboo.pdf
- [21] National Cheng Kung University. 2008. **Chapter 10 Colloids and Colloidal Stability.** [Online]. Available : <http://www.che.ncku.edu.tw/facultyweb/leeyl/%E7%95%8C%E9%9D%A2%E5%8C%96%E5%AD%B8/Chapter%2010%20Colloids%20and%20Colloidal%20Stability.pdf>
- [22] National Programme on Technology Enhanced Learning (NPTEL). 2009. **Water & Wastewater Engineering.** [Online]. Available : <https://nptel.ac.in/courses/105104102>
- [23] Infoplease. 2018. **Colloid: Properties of Colloids.** [Online]. Available : <https://www.infoplease.com/encyclopedia/science-and-technology/chemistry/chemistry-general/colloid/properties-of-colloids>
- [24] Dr. Dmitri Kopeliovich. 2006. **Stabilization of colloids.** [Online]. Available : http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=stabilization_of_colloids
- [25] Asst.prof. Bilge Alpaslan Kocamemi. 2012. Chapter: 7 Coagulation & Flocculation. [Online]. Available : http://mimoza.marmara.edu.tr/~bilge.alpaslan/enve301/Lectures/Chp_7.pdf
- [26] ประกาศิต ไกวัลศิลา. 2002. โคนอกูแลนต์และโอนอกูแลนต์เอตจากเป็งเมล็ดขนุน. [Online]. Available : http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/General_Science/2545/Bs/PrakasitKi/
- [27] Kalpesh Solanki. 2017. **Water Treatment Processes: Coagulation , Flocculation, Filtration by Kalpesh Solanki.** [Online]. Available : <https://www.slideshare.net/kalpeshsolanki15/water-treatment-processes-coagulation-flocculation-filtration-by-kalpesh-solanki>
- [28] John A. Kiernan. 2000. **formaldehyde, formalin, paraformaldehyde and glutaraldehyde: What they are and what they do.** [Online]. Available : <http://publish.uwo.ca/~jkiernan/formglut.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 59 ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [29] Siamchemi.com. 2015. **ฟอร์มาลีน (Formalin) หรือ ฟอร์มาลดีไฮด์.** [Online]. Available : <https://www.siamchemi.com/ฟอร์มาลีน>
- [30] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2010. **คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูง ฟอร์มาลดีไฮด์.** [Online]. Available : <http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/formaldehyde.pdf>
- [31] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2017. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560.** [Online]. Available : <http://www.diw.go.th/hawk/news/11.PDF>
- [32] วิชระพงษ์ วาระรัมย์, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, และ วิทยา บัณฑิตสุวรรณ. 2008. **การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล ด้วยถ่านกัมมันต์.** [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/47378203>
- [33] Amin Goli and Amirreza Talaiekhosravi et. al. 2014. **Evaluation of wastewater treatment contaminated with Formaldehyde by using activated carbon prepared from cypress leaf.** [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/282747788>
- [34] USP Technologies. 2018. **H₂O₂ and Formaldehyde Oxidation.** [Online]. Available : <http://www.h2o2.com/industrial/applications.aspx?pid=109&name=Formaldehyde-Oxidation>
- [35] Sagar Gawande. 2015. **An overview of the Fenton Process for Industrial Wastewater.** [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/292364403>
- [36] ดร.นัตตา เวชชากุล. 2012. **ไททาเนียมไดออกไซด์กับการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ.** [Online]. Available : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/269_25-30.pdf
- [37] Catalina Daniela Stan, Igor Cretescu, Cristina Pastravanu, Ioannis Poullos, and Maria Dragan. 2012. **Treatment of Pesticides in Wastewater by Heterogeneous and Homogeneous Photocatalysis.** [Online]. Available : <https://www.researchgate.net/publication/258382474>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 60 ศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [38] ดร.อุปถัมภ์ นาครักษ์. 2016. การกำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ในน้ำโดยกระบวนการ โฟโตคะตะไลซิส. [Online]. Available :
<http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/enmis/doc/project/fullpaper/Auppatum58.pdf>
- [39] Javeed Mohammed Abdul, Saravanamuthu Vigneswaran,†, Ho Kyong Shon, Areerachakul Nathaporn, and Jaya Kandasamy. **Comparison of granular activated carbon bio-sorption and advanced oxidation processes in the treatment of leachate effluent.** [Online]. Available :
<https://pdfs.semanticscholar.org/7456/31ee9b5224447937858ba0788622a6c63c2f.pdf>
- [40] Mariangela Grassi, Gul Kaykioglu, Vincenzo Belgiorno, and Giusy Lofrano. 2012. **Chapter 2 Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process.** [Online]. Available : <https://www.semanticscholar.org/paper/Chapter-2-Removal-of-Emerging-Contaminants-from-and-Grassi-Kaykioglu/2fc3c1eeca16599a3d3eb07953ac559661e329d7>
- [41] วรวิทย์ วรภัทร์, ธณีนี วงศ์อกนิษฐ์. 2015. **1-Butanol.** [Online]. Available :
<http://ohs.sci.dusit.ac.th/wp/?p=93>
- [42] ICIS Corporation. 2013. **Chemical Profile: US N-Butanol.** [Online]. Available :
<https://www.icis.com/explore/resources/news/2013/09/23/9707773/chemical-profile-us-n-butanol/>
- [43] บริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด. 2018. “รายละเอียดของ Micronice® Bio Separator - A.” เอกสารอัดสำเนา.

ภาคผนวก

ก. รายละเอียดของสารช่วยตกตะกอน Micro-Nice® Bio Separator - A [43]

บริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด ได้ให้เอกสารรายละเอียดของสารช่วยตกตะกอน Micro-Nice® Bio Separator - A ซึ่งในเอกสารดังกล่าว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คำอธิบาย

Micro-Nice® Bio Separator - A คือ สารสกัดจากธรรมชาติ มีคุณสมบัติจากธรรมชาติ เช่น ลดแรงตึงผิว และสลายกัลลินเน่าเสียโดยที่สามารถสลายในธรรมชาติได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

หลักการทำงาน

- ทำให้การสลายตัวของสารเคมีเดิมในน้ำทิ้งไม่ตี จึงแยกตัวออกมาได้
- พอมมีตะกอนเล็กเริ่มต้นแล้ว สารจะช่วยทำให้ตะกอนส่วนใหญ่มารวมตัวกันและตกได้เร็วด้วยน้ำหนัก

ประโยชน์ที่ได้รับ

- ทำให้ระบบบำบัดเดิมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
- ลดการทิ้งน้ำ ลดการสูญเสียจากการบำบัด
- น้ำใสขึ้น และนำน้ำกลับมาใช้ (รดน้ำต้นไม้)
- ลดกลิ่น

เอกสารความปลอดภัย

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสาร Micro-Nice® Bio Separator - A เป็นดังที่แสดงในรูปที่ 6.1



บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

ผลิตภัณฑ์ MICRO-NICE® SEPARATOR - A (BIODEGRADABLE PRODUCT)

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ชื่อผลิตภัณฑ์:	MICRO-NICE® SEPARATOR - A (Biodegradable Product)
ผู้จัดจำหน่าย:	บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)
ผู้ผลิต:	บริษัท เทคโนโลยี จำกัด
โทรศัพท์:	6602-763-7999 , 6602-763-7923
เว็บไซต์:	www.go.co.th

2. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ไม่เป็นอันตราย

ระดับความอันตราย (NFPA+HMS)
 สุภาพอนามัย = 0 การเกิดปฏิกิริยา = 0
 ความไวไฟ = 0 พิษเฉียบ = 0

ระดับ
 0 = ไม่เป็นพิษ 1 = เล็กน้อย
 2 = ปานกลาง 3 = มาก
 4 = ร้ายแรง

เมื่อเข้าตา: อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองเล็กน้อยเมื่อสัมผัส
 เมื่อถูกผิวหนัง: ไม่มีผลข้างเคียงหากใช้อย่างถูกวิธี
 เมื่อสูดดม: อาจระคายเคืองระหว่งการหายใจหรือหัวใจ
 เมื่อสัมผัส: ไม่มีผลข้างเคียงหากใช้อย่างถูกวิธี
 การก่อมะเร็ง: ไม่มีส่วนประกอบสารก่อมะเร็งในรายการของ OSHA, IARC, หรือ NTP

3. องค์ประกอบข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

Chemical entity	CAS Number	Remark
Alkyl Polyglycoside	68515-73-1	
Aluminum Sulfate	10043-01-3	
Chitosan	9012-76-4	
Polyacrylic acid Sodium salt	9003-01-4	
Water		

ผลิตภัณฑ์นี้เป็นส่วนผสมผสมกัน ไม่ระคาย ไม่ติดไฟ ไม่มีสาร GFC ข้อสงสัยได้ในธรรมชาติ ไม่มีส่วนผสมของโลหะหนัก, พอสเฟส, ซิลิเกต, สารบีโอดีเอ็ม หรือตัวทำละลาย



บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

ผลิตภัณฑ์ MICRO-NICE® SEPARATOR - A (BIODEGRADABLE PRODUCT)

4. มาตรการปฐมพยาบาล

คำแนะนำทั่วไป:	สวมถุงมืออย่างระมัดระวังนานๆ เพื่อป้องกันผิวหนัง สวมเครื่องป้องกันตา
เมื่อเข้าตา:	ชะล้างออกด้วยน้ำ
เมื่อถูกผิวหนัง:	ไม่ระคายเคือง การสัมผัสนานๆ อาจทำให้ผิวหนังแห้ง
เมื่อกลืนกิน:	ไม่เกิดปฏิกิริยา - ดื่มน้ำปริมาณมาก กระตุ้นให้คายเจือจาง ควรปรึกษาแพทย์หากมีอาการผิดปกติ
เมื่อสูดดม:	ไม่เป็นอันตราย

5. มาตรการการฉุกเฉิน

MICRO-NICE® SEPARATOR - A มีสารเป็นส่วนผสมหลัก, มีสีขุ่นขาว, ไม่มีไฟ

จุดวาบไฟ:	ไม่ถูกไฟติดไฟ
ขีดจำกัดการติดไฟ:	ไม่ถูกไฟติดไฟ
สารดับไฟที่เหมาะสม:	ไม่จำเป็น
อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับการฉุกเฉิน:	ไม่จำเป็น

6. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล:	ไม่มี
ข้อควรระวังสิ่งแวดล้อม:	ไม่มี
วิธีทำความสะอาด:	ล้างออกด้วยน้ำสะอาด, ไม่ต้องใช้วิธีการพิเศษในการกำจัด

7. การจัดการและการเก็บรักษา

ข้อควรระวัง:	จับที่จุดระบุมือถือ, มีการระบายของเหลวได้บ้างจากสารสัมผัสแสงโดยตรง
การจัดการอย่างปลอดภัย:	ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการจัดการ
การเก็บรักษา:	ไม่มีเงื่อนไขพิเศษในการเก็บรักษา
การเก็บรักษาร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่น:	ไม่มีข้อห้ามในการเก็บรักษาร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่น
วัสดุบรรจุภัณฑ์:	ไม่มีรีไซเคิล

8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล



บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

ผลิตภัณฑ์ MICRO-NICE® SEPARATOR - A (BIODEGRADABLE PRODUCT)

การควบคุม: เป็นที่อุดมด้วย มีกรรมบทยากาไดดี ห่างจากการสัมผัสโดยตรง

คำที่ต้องควบคุม: ไม่ต้องควบคุม.

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

การป้องกันระบบหายใจ	ไม่จำเป็น
การป้องกันตา	แว่นตา
การป้องกันมือ	ถุงมือยาง
ชุดอนามัย	หลีกเลี่ยงไม่ให้สัมผัสดวงตา, กรณีที่สัมผัส ให้ล้างออกด้วยน้ำสะอาด

9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ	
% การแยกตัวปริมาตร ไม่ระบุ	จุดหลอมเหลว: ไม่มีข้อมูล
จุดเดือด: 100°C	กลิ่น: กลิ่นสมุนไพร
สี: ร่องเหลวใส สีเขียวอมเหลือง	ค่า pH: 2.0- 2.5
น้ำหนักโมเลกุล: ไม่มีข้อมูล	ความดันไอ: 1.01 ± 0.05g/25°C
จุดวาบไฟ: ไม่ถูกบันทึก	ความหนืด: 15-20 mm/sec
จุดเยือกแข็ง: 0°C	ความหนาแน่นในสถานะของน้ำ: 100%
สารระเหยอื่นที่ระบุ: ไม่มีข้อมูล	คุณสมบัติหรืออำนาจในการนำกระแสไฟฟ้า (มิลลิโวลต์): 197

10. ความเสถียรและความไวต่อปฏิกิริยา	
สภาวะที่คงที่ความเสี่ยง:	ไม่มี
สารที่คงที่ความเสี่ยง:	ไม่มี
ผลิตภัณฑ์จากกรสลายตัวที่เป็นอันตราย:	ไม่มี

11. ข้อมูลทางพิษวิทยา	
ความเป็นพิษเฉียบพลัน:	ไม่มี
ผลเฉพาะที่:	ไม่มี
ผลเฉพาะทาง:	ไม่มี

12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์	
การย่อยสลายตามธรรมชาติ: ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 90% ตามมาตรฐาน OECD Method 301 B.	



บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

ผลิตภัณฑ์ MICRO-NICE® SEPARATOR - A (BIODEGRADABLE PRODUCT)

13. มาตรการการกำจัด

สารตกค้างจากผลิตภัณฑ์:	ไม่มีสารตกค้าง มากกว่า 88% สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ
สิ่งเจือปนจากบรรจุภัณฑ์:	Micro-Nice® เป็นสารละลายในน้ำอย่างสมบูรณ์ และย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ไม่ก่อมลพิษในกระบวนการบำบัด ไม่ส่งผลต่อบรรจุภัณฑ์ ใกล้เคียงกับสารอันตรายที่กำหนดตามมาตรฐาน Environmental Protection (duty of care) in Regulations 1991.

14. ข้อมูลการขนส่ง

ไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่ง

15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

ไม่มีข้อกำหนดเฉพาะ

16. ข้อมูลอื่น

ข้อมูลเพิ่มเติมติดต่อ บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

ข้อแนะนำในการใช้: เติมน้ำให้เต็มถังและทิ้งลงในถังขยะ

ข้อมูลในเอกสารข้อมูลความปลอดภัยฉบับนี้จัดทำด้วยความไว้วางใจ, ความซื่อสัตย์และความซื่อตรง, ข้อมูลที่จัดทำขึ้นนี้เพื่อเป็นข้อมูลและสนับสนุนในการจัดซื้อ, การใช้, การดำเนินการ, การเก็บรักษา, การขนย้าย, การทำความสะอาดหรือการกำจัดอย่างปลอดภัย แต่ไม่ได้เป็นการรับประกัน หรือ ประกันคุณภาพ ข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์นี้ไม่รวมไปถึงการนำไปใช้ร่วมกับวัสดุอื่นหรือขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งจากที่ระบุไว้ในข้อมูลเบื้องต้น



รูปที่ 6.1 เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสาร Micro-Nice® Bio Separator - A [43]

ข. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ที่ใช้ในการทดลอง

ถ่านกัมมันต์ที่นำมาทดลองใช้ในกระบวนการดูดซับของโครงการนี้ มีคุณสมบัติซึ่งอ้างอิงจากบริษัท โกลบอลคอนเน็คชั่นส์ จำกัด ดังต่อไปนี้

- วัตถุดิบที่ใช้ผลิต : วัตถุดิบจากกะลามะพร้าว (Coconut Shell-Based Product)
- ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) อย่างน้อยที่สุด 1100
- ร้อยละของความชื้น (%Moisture) อย่างมากที่สุด 5 wt. %
- ความคงทนต่อการขัดถู (Abrasion Number) อย่างน้อยที่สุด 97
- ร้อยละของเถ้า (%Ash) อย่างมากที่สุด 3 wt. %
- ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) = 0.4 - 0.6%
- ขนาดเมฆของอนุภาค (Particle Mesh Size) = 816 (มีขนาด 1.18-2.36 mm)
- เหมาะสมในการใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นสารอินทรีย์
- เหมาะสมในการใช้กำจัดกลิ่น และ รสชาติ

ค. รายละเอียดของกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman™ Grade 2

กระดาษกรองที่ใช้ในโครงการนี้ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) = 11.0 cm.
- ขนาดรู (Pore Size) = 8 μ m

ง. การคำนวณผลการทดลองในแต่ละแบดซ์

1) ข้อมูลดิบที่ใช้ในการคำนวณ

จากหัวข้อ 4.1 ความเข้มข้นของสารต่างๆในน้ำเสียเริ่มต้น เป็นดังนี้

- ความเข้มข้นของ ฟอर्मัลดีไฮด์ คือ 2.3098 vol. %
- ความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล คือ 3.6693 vol. %

ผลการวัดค่าความเข้มข้นของ ฟอर्मัลดีไฮด์ และ เอ็น-บิวทานอล ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ ของทุกแบดซ์ เป็นดัง ตารางที่ 6.1 และ ตารางที่ 6.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 ผลการวัดค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ

เวลาที่ใช้ในขั้นตอน การดูดซับ (min)	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์				
	แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3	แบคทีเรีย 4
	(vol.%)	(vol.%)	(vol.%)	(vol.%)	(vol.%)
0	2.2212	2.2071	2.1182	2.1998	1.4534
2	1.5566	1.3873	1.4570	1.6954	1.1614
4	1.3421	1.3142	1.2866	1.6611	1.1166
6	1.2159	1.3440	1.2451	1.6304	1.1184
8	1.2117	1.1788	1.1940	1.5707	0.9972
10	1.1220	1.2146	1.1664	1.5065	0.9822
20	1.1289	1.2098	1.1682	1.5204	0.9243
30	1.1292	1.2103	1.1617	1.4982	0.9235

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นที่เวลาการดูดซับ 0 นาทีคือค่าความเข้มข้นของน้ำเสียหลังผ่านการตกตะกอน

ตารางที่ 6.2 ผลการวัดค่าความเข้มข้นของเอ็น-บิวทานอล ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ

เวลาที่ใช้ในขั้นตอน การดูดซับ (min)	ความเข้มข้นของ เอ็น-บิวทานอล				
	แบคทีเรียฐาน	แบคทีเรีย 1	แบคทีเรีย 2	แบคทีเรีย 3	แบคทีเรีย 4
	(vol.%)	(vol.%)	(vol.%)	(vol.%)	(vol.%)
0	3.1985	3.0309	3.2123	2.4663	0.3531
2	0.5807	0.2604	0.2242	0.9404	0.0415
4	0.2289	0.2024	0.1334	0.7836	0
6	0.174	0.1965	0.1071	0.647	0
8	0.09	0.1685	0.0967	0.3931	0.0509
10	0.05	0.0568	0.0842	0.4416	0
20	0.0968	0.0549	0.0614	0.3531	0
30	0.0973	0.0572	0.072	0.3585	0

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นที่เวลาการดูดซับ 0 นาทีคือค่าความเข้มข้นของน้ำเสียหลังผ่านการตกตะกอน

2) การคำนวณค่าต่างๆในตารางที่ ตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

2.1) การคำนวณความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแต่ละแบคทีเรีย

ใช้สูตร ดังนี้ :

$$\Delta C_i = C_{Raw} - C_i$$

เมื่อ

- ΔC_i = ความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแบคทีเรีย i
- C_{Raw} = ความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้น
- C_i = ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังผ่านการทดลองในแบคทีเรีย i
- i = แบคทีเรียที่สนใจ

ยกตัวอย่างในกรณีความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ถูกกำจัดในแบคทีเรียฐาน ($i =$ แบคทีเรียฐาน) และ แบคทีเรีย 1 ($i =$ แบคทีเรีย 1) สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ :

$$\Delta C_{\text{แบคทีเรียฐาน}} = C_{Raw} - C_{\text{แบคทีเรียฐาน}} = (2.3098 \text{ vol. \%}) - (1.1292 \text{ vol. \%}) = 1.1806 \text{ vol. \%}$$

$$\Delta C_{\text{แบคทีเรีย 1}} = C_{Raw} - C_{\text{แบคทีเรีย 1}} = (2.3098 \text{ vol. \%}) - (1.2103 \text{ vol. \%}) = 1.0995 \text{ vol. \%}$$

2.2) การคำนวณ % ความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแต่ละแบคทีเรีย

ใช้สูตร ดังนี้ :

$$\%C_{Eli,i} = 100 \% \cdot \frac{\Delta C_i}{C_{Raw}}$$

เมื่อ

- $\%C_{Eli,i}$ = % ความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแบคทีเรีย i
- ΔC_i = ความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแบคทีเรีย i
- C_{Raw} = ความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้น
- i = แบคทีเรียที่สนใจ

ยกตัวอย่างในกรณีของแบคทีเรีย 1 ($i =$ แบคทีเรีย 1) ในกรณีของฟอร์มาลดีไฮด์ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ :

$$\% \Delta C_{Eli,\text{แบคทีเรีย 1}} = 100 \% \cdot \frac{\Delta C_{\text{แบคทีเรีย 1}}}{C_{Raw}} = 100 \% \cdot \frac{(1.0995 \text{ vol. \%})}{(2.3098 \text{ vol. \%})} = 47.60 \%$$

3) การคำนวณค่าต่างๆในตารางที่ ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4

3.1) การคำนวณ % ที่เปลี่ยนไปของเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่

การคำนวณ % ที่เปลี่ยนไปของเวลาที่ความเข้มข้นในขั้นตอนการดูดซับเริ่มคงที่เมื่อเทียบกับแบบต์ฐานในแต่ละแบบต์ จะใช้สูตรดังนี้ :

$$\% \Delta t_i = \left| 100 \% \cdot \frac{t_i - t_{Base}}{t_{Base}} \right|$$

เมื่อ

- $\% \Delta t_i$ = % ที่เปลี่ยนไปของเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่เมื่อเทียบกับแบบต์ฐานในกรณีแบบต์ i
- t_i = เวลาที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่คงที่ในแบบต์ i
- t_{Base} = เวลาที่ความเข้มข้นเริ่ม
- i = แบบต์ที่สนใจ

ยกตัวอย่างในกรณีของแบบต์ 1 ($i =$ แบบต์ 1) ในกรณีของ ฟอรัมาลดีไฮด์ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ :

$$\% \Delta t_{\text{แบบต์ 1}} = \left| 100 \% \cdot \frac{t_{\text{แบบต์ 1}} - t_{Base}}{t_{Base}} \right| = \left| 100 \% \cdot \frac{(8 \text{ min}) - (10 \text{ min})}{(10 \text{ min})} \right| = 20 \%$$

3.2) การคำนวณ % ที่เปลี่ยนไปของความเข้มข้นที่ถูกกำจัดเมื่อเทียบกับแบบต์ฐาน

การคำนวณ % ที่เปลี่ยนไปของความเข้มข้นที่ถูกกำจัดตลอดกระบวนการกำจัดฟอรัมาลดีไฮด์ เมื่อเทียบกับแบบต์ฐานในแต่ละแบบต์ จะใช้สูตรดังนี้ :

$$\% \Delta C_i = \left| 100 \% \cdot \frac{\Delta C_i - \Delta C_{\text{แบบต์ฐาน}}}{\Delta C_{\text{แบบต์ฐาน}}} \right|$$

เมื่อ

- $\% \Delta C_i$ = % ที่เปลี่ยนไปของความเข้มข้นที่ถูกกำจัดเมื่อเทียบกับแบบต์ฐานในกรณีแบบต์ i
- ΔC_i = ความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแบบต์ i
- $\Delta C_{\text{แบบต์ฐาน}}$ = ความเข้มข้นที่ถูกกำจัดในแบบต์ฐาน
- i = แบบต์ที่สนใจ

ยกตัวอย่างในกรณีของเบตซ์ 1 (i = เบตซ์ 1) ในกรณีของฟอร์มูลติไฮต์ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ :

$$\% \Delta C_{\text{เบตซ์ 1}} = \left| 100 \% \cdot \frac{\Delta C_{\text{เบตซ์ 1}} - \Delta C_{\text{เบตซ์ฐาน}}}{\Delta C_{\text{เบตซ์ฐาน}}} \right| = \left| 100 \% \cdot \frac{(1.0995) - (1.1806)}{(1.0995)} \right| = 20 \%$$



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล : นายสิทธิศานต์ ไตรสัตยา
วัน/เดือน/ปีเกิด : 05/09/2539
สถานที่เกิด : จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย
สถานที่อยู่ปัจจุบัน : 1704/12 หมู่ที่ 6 ถ.เทพารักษ์ ต.เทพารักษ์ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากหลักสูตร วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ (พ.ศ.2557)
- ศึกษาอยู่ที่ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ปัจจุบัน)

