การตรวจสอบค่าบ่งชี้คุณภาพของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์ หลังการบำบัดด้วยกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*

นภัสสร บังเกิดฤทธิ์
ศุภชัย กานต์กรกช
สุรสีห์ แสนสง่า

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Examination of water quality indicators in water samples from Khlong Prawet Burirom with treatment from *Opuntia ficus-indica* cactus

Napassorn Bangkertrit
Supachai Karnkorakoch
Surasi Sansanga

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)

DEPARTMENT OF BIOLOGY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2022

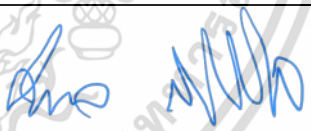
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การตรวจสอบค่าบ่งชี้คุณภาพของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์ หลังการบำบัดด้วยกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*
Examination of water quality indicators in water samples from Khlong Prawet Burirom with treatment from *Opuntia ficus-indica* cactus

ชื่อนักศึกษา นางสาว นภัสสร บังเกิดฤทธิ์ รหัสนักศึกษา 62050503
นาย ศุภชัย กานต์กรกช รหัสนักศึกษา 62050544
นาย สุรสีห์ แสนสง่า รหัสนักศึกษา 62050551

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชา ชีววิทยา
ปีการศึกษา 2565
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. ธนาวดี บุญชัยดี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. มงคล เพ็ญสายใจ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิภาวี เดชติศักดิ์ กรรมการ	
อ. ธนาวดี บุญชัยดี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การตรวจสอบค่าบ่งชี้คุณภาพของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์ หลังการ บำบัดด้วยกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*

ชื่อนักศึกษา นางสาว นภัสสร บังเกิดฤทธิ์ รหัสนักศึกษา 62050503
นาย ศุภชัย กานต์กรกช รหัสนักศึกษา 62050544
นาย สุรสีห์ แสนสง่า รหัสนักศึกษา 62050551
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา ชีววิทยา
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2565
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. ธนาวดี บุญชัยดี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองประเวศบุรีรมย์ ในเขตลาดกระบัง ด้วยต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* โดยใช้ต้นกระบองเพชรทั้งแบบสดและแบบแห้ง ที่ความเข้มข้นต่างกัน (1 กรัม และ 2 กรัม) เพื่อศึกษาว่ากระบองเพชรแบบไหนสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีกว่ากันทั้งก่อนและหลัง โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองประเวศบุรีรมย์ ในเขตลาดกระบัง แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์ค่า pH, ค่านำไฟฟ้า, ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) เทคนิค Close reflux, ค่า Biochemical Oxygen Demand (BOD), ค่า Dissolved Oxygen (DO), ค่าความขุ่น, สารลดแรงตึงผิว (สารซักฟอก) และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ผลจากการทดลองพบว่า กระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* สามารถลดค่า BOD ที่ใส่กระบองเพชรแบบสดปริมาณ 1 กรัม สามารถลดความเข้มข้นได้ที่ 0.13±0.15 mg/L ถือเป็นน้ำดีที่มีค่า BOD น้อยกว่า 1.5 mg/L ค่า pH ที่ใส่กระบองเพชรสดสามารถลดค่าความเป็นกรดด่างได้ดีสุดที่ 6.203±0.01 และในการกำจัดโลหะหนัก (Pb) พบปริมาณน้อยกว่า 25 ไมโครกรัม/ลิตร อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ในส่วนของการทดลองลดความขุ่น,ค่า COD ค่า TSS และค่า TDS มีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้อาจเกิดจากการที่กระบองเพชรที่ใส่ลงไปมีความเข้มข้นมากเกินไปจนยากต่อการตกตะกอน ทำให้ค่าที่กล่าวมาข้างต้นมีความเข้มข้นมากขึ้น

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำ,การปรับปรุงคุณภาพน้ำ,กระบองเพชร,ใบเสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Examination of water quality indicators in water samples from Khlong Prawet Burirom with treatment from Opuntia ficus-indica cactus

Students Miss Napassorn Bangkertrit student ID 62050503
Mr. Supachai Karnkorakoch student ID 62050544
Mr. Surasi Sansanga. student ID 62050551

Degree Bachelor of Science (Biotechnology)

Department Biology

School Science

University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Academic Year 2022

Advisor Aj. Thanawadee Boonchaidee

Abstract

In this research, we have conducted an experiment o study the ability of *Opuntia ficus-indica* cactus as a treatment to improve the water quality in Klong Prawet Burirom canal. By using extracts from cactus in the forms of it's mucilage and Powdered cactus in different quantities, we will determine the best form of cactus extracts for use in water treatment. The water samples were collected from Klong Prawet Burirom canal.We had measured parameters necessary to determine the quality of water before and after the treatment process including pH value, Chemical oxygen demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD),Total suspended and dissolved solids and turbidity.we also analyzed surfactant contents in water sample using positive-negative screening method along with possible contamination of heavy metals using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry technique.

Our study concluded that water samples that had been treated with 1 gram of cactus mucilage could reduced BOD_5 value to 0.13±0.15 mg/L from the acceptable standard of no more than 100 mg/L, cactus mucilage also had the effect to reduce pH value of water sample to around 6.203±0.01. In the analysis of heavy metals in water samples we had detected less than 0.025 mg/L of Lead (Pb) which is considered safe compared to the acceptable index of no more than 0.2 mg/L. And finally, the increase in turbidity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ต่อ ไม่ว่าจะเพื่อการค้าหรือไม่ก็ตาม

, COD along with suspended and dissolved solids could be caused by the presence of leftover extracts from cactus in the water sample after the treatment process.

Keywords : Opuntia, *Opuntia ficus-indica,* Prickly pear, water treatment, Coagulant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และการสนับสนุนอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ธนาวดี บุญชัยดี อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ตลอดจนพี่ๆนักวิทย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบ่งพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง พวกเราขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์และภาคเคมี ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินวิจัย ด้านอุปกรณ์ และเครื่องวิเคราะห์ต่างๆ

และสุดท้ายนี้ขอให้โครงงานพิเศษฉบับนี้ได้เป็นประโยชน์ในภายภาคหน้าสำหรับผู้ที่มีความสนใจในด้านของการบำบัดและพัฒนาปรับปรุงคุณภาพน้ำ และผู้มีความสนใจที่จะนำข้อมูลจากโครงงานฉบับนี้ไปทำการต่อยอดเพื่อพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำโดยการใช้พืชต่อไป และหากพบว่าโครงงานนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดการทำการวิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

นภัสสร บังเกิดฤทธิ์
ศุภชัย กานต์กรกช
สุรสีห์ แสนสง่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก
Abstract ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* 3
2.2 น้ำเสีย (Waste Water) 4
2.2.1 ประเภทของน้ำเสีย น้ำแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 4
2.2.2 ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ 5
2.2.3 การบำบัดน้ำเสีย 6
2.3 โลหะหนัก (Heavy metals) 8
2.3.1 สมบัติทั่วไปและความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิด 8
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10
2.4.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) 10
2.4.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD) 11
2.4.3 Chemical oxygen demand (COD) 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic/Optical Emission Spectrometer (ICP-AES or ICP-OES) 13
2.4.5 เทคนิคพอร์เพลต (pour plate) 17
2.3.6 เทคนิคการเกลี่ยเชื้อหรือสเปรดเพลต (spread plate) 19
2.4.7 เทคนิคดรอบเพลต (drop plate) 19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
2.5.1 การกำจัดโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำจากแม่น้ำ Yautepec ในรัฐมอเรโลสของเม็กซิโก โดยใช้เมือก *Opuntia ficus-indica* (Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using *Opuntia ficus-indica* mucilage) 19
2.5.2 การใช้ Opuntia ficus-indica เป็นตัวดูดซับสำหรับการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียอุตสาหกรรมเครื่องหนังที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 20
2.5.3 การเพิ่มคุณค่าของลำต้นใบกลมมน (pads) ของต้นกระบองเพชร *Opuntia ficus-Indica* และอุตสาหกรรมเหล็ก ที่มีปริมาณ rejected FeCl3 สูง สำหรับการกำจัดสารลดแรงตึงผิวและฟีนอลจากน้ำเสียการกลั่นน้ำมัน ผ่านการสร้างตะกอนและการรวมตกตะกอน 21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 23
3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 23
3.2 การเตรียมต้นกระบองเพชร 23
3.3 การเร่งการจับตัวเป็นก้อนและตะกอน 24
3.4 การวิเคราะห์ค่า pH 24
3.7 วิธีการวิเคราะห์ค่าความขุ่น 28
3.8 วิธีการตรวจสอบชนิดของธาตุโลหะหนักในน้ำ (Osumex, Heavy metal general test kit) 28
3.9 การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค spread plate 29
3.10 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) 29
3.11 การวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิววิธี Surfactant Screening Test 29
3.12 การวิเคราะห์ทางสถิติ 30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* 48
4.2 ลักษณะของของสารสกัดแบบเหลวที่ได้จากต้นกระบองเพชร 48
4.3 คุณลักษณะของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์ 49
4.4 การวิเคราะห์ค่า pH 49
4.5 ค่า COD ของน้ำเทียบก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบองเพชร 50
4.6 ค่า BOD ของน้ำเทียบก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบองเพชร 51
4.7 ค่าความขุ่นและในตัวอย่างน้ำ 52
4.8 ชนิดของธาตุโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่เก็บมา 53
4.9 ปริมาณของสารตะกั่ว (Pb) วิเคราะห์โดย เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, ICP-OES) 53
4.10 การวิเคราะห์จำนวนของจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ 54
4.11 ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว (surfactant) 54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 57
5.1 สรุปผลการวิจัย 57
5.2 ข้อเสนอแนะ 57
เอกสารอ้างอิง 58
ภาคผนวก 61
ภาคผนวก ก 62
ภาคผนวก ข 68
ภาคผนวก ค 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์..... 49

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)..... 50

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงปริมาณของสารมาตรฐาน FAS ที่ใช้ในการไตเตรต และค่า COD ที่หาได้จากสูตรคำนวณ..... 50

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่า BOD ของน้ำที่ได้จากการไทเทรต 51

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงความขุ่นของตัวอย่างน้ำที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร 52

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อบน PCA 54

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการสังเกตสี ความสูง (H) น้ำหนัก (W) ปริมาตร (V) และความหนาแน่น D ของชั้นน้ำกับชั้นคลอโรฟอร์ม 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* 3

รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของเครื่อง ICP-OES 14

รูปที่ 2.3 Nebulizer 15

รูปที่ 2.4 ลักษณะของ spray chambers ที่ใช้กับ ICP 15

รูปที่ 2.5 คบที่ใช้ใน ICP แบบหนึ่ง 16

รูปที่ 4.2 ผลตรวจที่ได้จากการใช้ชุดตรวจ Heavy metals test – general kit ของ Osumex 53

รูปที่ 4.3 ช่วงสีที่อยู่ในคู่มือของชุดตรวจ Heavy metals test – general kit ของ Osumex 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ICP-OES	inductively coupled plasma optical emission spectrometry , เป็นวิธีการสำหรับการวิเคราะห์ธาตุได้หลายๆธาตุพร้อมกัน (Simultaneous) โดยอาศัยการวัดการคายแสงของธาตุเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากพลาสมา
COD	Chemical Oxygen Demand , ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในปริมาณน้ำ
BOD	Biochemical Oxygen Demand, ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการหายใจหรือในการย่อยสลายสารอินทรีย์
DO	Dissolved Oxygen, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
OFI	ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*
TDS	Total Dissolved Solids, ของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมด
TSS	Total Suspended Solids, ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม บ้านเรือน นันทนาการและกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งด้านสิ่งแวดล้อม การเพิ่มจำนวนประชากรทำให้เกิดการใช้น้ำเพิ่มขึ้นมีของเสียทิ้ง เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษลงสู่แหล่งน้ำจืดตามแม่น้ำลำคลอง ถ้าไม่มีการเฝ้าระวังตรวจสอบอาจทำให้แหล่งน้ำในแม่น้ำลำคลองเสื่อมสภาพ ทำให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อม แก่ชุมชนบ้านเรือนใกล้เคียงรวมถึงพืช และ สัตว์น้ำ ต่างๆ

คลองประเวศบุรีรมย์ เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติในเขตลาดกระบัง รอบ ๆ คลองมีชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้คุณภาพน้ำบางบริเวณคลองประเวศบุรีรมย์ลดลง ชาวบ้านไม่สามารถอุปโภคบริโภคบริโภคน้ำในคลองได้ การบำบัดน้ำเสียอย่างเหมาะสมจะช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศของคลองประเวศบุรีรมย์

ซึ่งเราได้เลือกใช้กระบองเพชรสายพันธุ์นี้ในการทดสอบ เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยในการสร้างและทำให้เกิดการตกตะกอน และสามารถดูดซับสารก่อมลพิษเช่นสารลดแรงตึงผิว, ไอออนของโลหะหนักและแบคทีเรียในน้ำเสียได้อีกด้วย

การศึกษานี้สนใจที่ใช้ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* เป็นพืชท้องถิ่นในอเมริกาใต้ สารเคมีที่สำคัญได้แก่ โพลีแซกคาไรด์ อะราบิโนส กาแลกโตส กรดกรแลกตูโรนิก แรมโนส และไซโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของ ต้นที่เปลี่ยนแปลงไปมีลักษณะหรือหน้าที่คล้ายใบ (cladode) ในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองประเวศบุรีรมย์ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* มีคุณสมบัติการดูดซับทางชีวภาพ ทำให้เกิดการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (coagulation – flocculation) ดี เนื่องจากมีเมือกวุ้น (mucilage) ที่มีความหนืด เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนอยู่ในชั้นในและชั้นนอกของใบแผ่น (pads) ทำให้มีความสามารถอุ้มน้ำ (water retention capacity, WRC) สูง ข้อดีของสารสร้างตะกอน คือ ช่วยลดความขุ่นที่เกิดจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทำให้สีของน้ำเสียจางลง ทำเกิดการตกตะกอนและการกำจัดกากตะกอนง่ายขึ้น สามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคและช่วยลดเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ หาได้ง่ายและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่า BOD และ COD ก่อนและหลังบำบัดน้ำคลองประเวศบุรีรมย์
2. เพื่อตรวจสอบสารตะกั่วที่พบในน้ำคลองประเวศบุรีรมย์ก่อนและหลังบำบัด
3. เพื่อตรวจสอบความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวของต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*
4. คาดว่าต้นกระบองเพชสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* สามารถนำมาบำบัดน้ำเสียได้จริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ตัวอย่างน้ำคลองจากแหล่งน้ำ ในเขตลาดกระบัง จากคลองประเวศบุรีรมย์ การเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองประเวศบุรีรมย์ โดยใช้ขวดพลาสติก polyethylene ขนาด 500 มิลลิลิตร, กระป๋องเก็บตัวอย่างน้ำและ ฉลากสำหรับการเขียนข้อมูล เก็บตัวอย่างน้ำให้ล้นขวด ค่อย ๆ ฝาปิดเพื่อไล่ฟองอากาศ ติดฉลาก บันทึกข้อมูลรายละเอียดตัวอย่างน้ำตัวอย่างที่เก็บ เก็บไว้ในถังน้ำแข็งก่อนนำไปที่ห้องปฏิบัติการ นำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า COD, BOD, DO, pH,ความขุ่น, สารลดแรงตึงผิว, สารซักฟอก, โลหะหนัก, อุณหภูมิ, จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย
2. ส่งเสริมการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพจากพืช ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ
3. ส่งเสริมให้ชาวบ้านเพาะปลูก และนำมาใช้บำบัดน้ำคลองในชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* (วิชาการเกษตร, 2559)

รูปที่ 2.1 ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*
ที่มา : วิชาการเกษตร (2559)

ชื่อสามัญ prickly pear, Nopal

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Opuntia ficus indica*

ชื่อวงศ์ Cactaceae

กระบองเพชรมีอยู่มากกว่า 114 ชนิด มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแอฟริกาใต้ สำหรับพันธุ์ที่ให้ผลกินได้ ประชาชนในแถบอเมริกาใต้ใช้พืชชนิดนี้เป็นอาหารมานานกว่า 1,200 ปีมาแล้ว และในประเทศเม็กซิโก ก็นิยมรับประทานพืชชนิดนี้กันมาก และเรียกชื่อกระบองเพชรนี้ว่า โนปาล (Nopal) ผลจะมีลักษณะคล้ายลูกแพร์ และมีสีแตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ เช่น var. iutea มีผลสีเหลือง var. rubar มีผลสีแดง cv. Asperma มีผลสีเหลือง ขนาดเล็ก มีเมล็ดขนาดเล็ก และvar. serotima มีผลสีเหลือง รสหวานอร่อย มีเมล็ดแข็งๆ จำนวนมาก ให้ผลช้ากว่าพันธุ์อื่นๆ

ประเทศชิลี และเม็กซิโก นิยมเพาะปลูกกระบองเพชรชนิดนี้เป็นสินค้าส่งออก เป็นพืชที่มีดอกสวยงาม ผลใช้รับประทานเป็นผลไม้ มีรสชาติคล้ายกับผลแก้วมังกร ซึ่งมีทั้งชนิดหวานและเปรี้ยว สามารถคั้นน้ำมารับประทานได้ ส่วนของใบสามารถรับประทานเป็นผักได้ทั้งแบบดิบๆ หรือจะนำไปปรุงให้สุกก่อนก็ได้ โดยต้องปอกเปลือกส่วนที่มีหนามออกเสียก่อน สามารถปรุงเป็นอาหารได้หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนู เช่น ทำสลัด ผัดกับกระเทียมและพริก ใส่ในแซนวิช พิซซ่า ไข่เจียว หรือนำไปปิ้ง เป็นต้น และยังนำไปทำเป็นยาแผนโบราณ หรือใช้เป็นอาหารสัตว์ก็ได้

สารสกัดจากกระบองเพชรสายพันธุ์นี้ ช่วยลดการดูดซึมไขมันเข้าสู่ร่างกาย มีเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำคอยทำหน้าที่ดักจับไขมัน จึงมีคุณสมบัติในการช่วยลดน้ำหนักได้ ส่วนเส้นใยที่ละลายน้ำได้จะสร้างเจลขึ้นมาห่อหุ้มไขมันตั้งแต่กระเพาะส่วนบน ทำให้เอนไซม์ไลเปสที่สร้างจากตับอ่อนเข้ามาแตกโมเลกุลไขมันไม่ได้ จึงไม่ถูกดูดซึมเข้าไปในผนังลำไส้เล็ก และในที่สุดก็จะถูกขับออกมาเป็นกากอาหาร ช่วยลดคอเลสเตอรอลและไขมันในร่างกายได้ ซึ่งปัจจุบันในเครื่องสำอาง ยา และอาหารเสริมต่างๆ ก็นิยมใช้กระบองเพชรสายพันธุ์นี้ไปเป็นส่วนผสมด้วย

2.2 น้ำเสีย (Waste Water)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการการใช้ประโยชน์มาแล้ว ซึ่งอาจเป็นการใช้ประโยชน์ในบ้านเรียน ในการเกษตร หรือในการอุตสาหกรรมต่างๆ การใช้น้ำเหล่านี้จะทำให้น้ำๆ มีคุณสมบัติต่างไปจากเดิม ก่อปัญหาต่างๆ แก่ลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำและการใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม การพักผ่อน และอาจทำลายสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำเสียนั้น

สิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ กรด ด่าง ของแข็ง หรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษเช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เป็นต้น

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรม ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่น ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรม

2.2.1 ประเภทของน้ำเสีย น้ำแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. น้ำเสียจากชุมชน (Domestic wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนรวมทั้งกิจกรรมที่เป็นอาชีพด้วย ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคารโรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน ร้านค้าและอาคารสำนักงาน เป็นต้น

2. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท น้ำเสียส่วนใหญ่มักเป็นน้ำล่างจากกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การล้างถังหรือภาชนะทุกประเภท ทำาให้องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น สารเคมีและโลหะหนัก เป็นต้น

3. น้ำเสียจากการเกษตร (Agricultural wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตรครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกปรกเจือปนอยู่ทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับการใช้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมีต่างๆ ถ้าหากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูกจะพบสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารพิษต่างๆ ในปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่

ประเภทของน้ำเสียสามารถจำแนกตามกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กิจกรรมของชุมชน อุตสาหกรรม และกิจกรรมทางการเกษตรจึงส่งผลให้เกิดสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปของสารอินทรียและสารอนินทรีย์

2.2.2 ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ สารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ธาตุไฮโดรเจน และอนุพันธ์ของไฮโดรเจน-คาร์บอน เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย ตัวอย่างของสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ที่จำเป็นต้องได้รับการบำบัดในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ซัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

3. โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ เช่น ปรอท โครเมียม และทองแดง ปกติจะอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร

4. ไขมันและน้ำมัน สารประกอบนี้เกิดจากการใช้น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้งจนกระทั่งถึงน้ำมันหล่อลื่น สารประกอบเหล่านี้เมื่อปนมากับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พร้อมทั้งกีดขวางการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง

5. อุณหภูมิ ทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ เร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และลดอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำ ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดในถังย่อยสลายตายหรือเจริญเติบโตช้าลง อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียควรอยู่ประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส

6. ของแข็ง เป็นตะกอนภายหลังการระเหยด้วยไอน้ำและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ตะกอนที่เกิดขึ้นมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งตกตะกอน (Settleable solids) ของแข็งทั้งหมด (Total solids) และของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)

7. สีและความขุ่น เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนังและโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในแหล่งน้ำ

8. กรด-ด่าง น้ำที่มีคุณภาพดีจะต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียง หรือเท่ากับ 7 แต่ในทางปฏิบัติได้กำหนดมาตรฐานค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5-9

9. จุลินทรีย์ โดยทั่วไป สามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ ยูคาริโอต (Eucaryotes) ยูแบคทีเรีย (Eubacteria) และอาร์คีแบคทีเรีย (Archaebacteria) โดยสองกลุ่มหลังมักเรียกรวมกันว่า กลุ่มโพรคาริโอต (Procaryotes) ซึ่งแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนจุลินทรีย์ในกลุ่มยูคาริโอต (Eucaryotes) ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ราโปรโตซัว โรติเฟอร์และสาหร่าย

องค์ประกอบต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำที่เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจนกลายเป็นน้ำเสีย องค์ประกอบนั้น ได้แก่ สารอินทรีย์สารอนินทรีย์ โลหะหนักและสารพิษอื่น ไขมันและน้ำมัน ความร้อน ของแข็ง สีความขุ่น กรด-ด่างและจุลินทรีย์

2.2.3 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การดำเนินการเปลี่ยนสภาพขององค?ประกอบในน้ำเสีย น้ำเน่าจากแหล่งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม หรือดีขึ้นก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม หรือนำน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์อีก ประเภทของการบำบัดน้ำเสียสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. กระบวนการทางกายภาพ (Physical Unit Operations) เป็นวิธีที่จำเป็นต้องใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย วิธีนี้จะอาศัยแรงต่างๆ กระทำ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงบด แรงลอยตัว การดักสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำ สิ่งเจือปนที่สามารถบำบัดออกจากน้ำเสียได้ด้วยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ ของแข็งขนาดใหญ่ เช่น เศษผ้า กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวดทราย ไขมัน น้ำมัน (ที่ไม่ละลายน้ำ) โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัด คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังดักตะกอน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2. กระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Processes) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด ด่างสูงๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปเพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ การทำให้เกิดตะกอน (precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถ แยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ

โดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่างๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($Al_2(SO_4)$) เกลือเหล็ก ($FeCl_3$, $FeSO_4$) และเกลือของแคลเซียม ($Ca(OH)_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) การเสียอิเล็กตรอนของอะตอม ให้แก่สารเคมีที่เติมลงไปในน้ำเสียโดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe2+ ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe3+ ซึ่งมีพิษน้อย ด้วยคลอรีน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$2Fe^{2+} + Cl_2 \dashrightarrow 2Fe^{3+} + 2Cl^-$$

การเกิดรีดักชันทางเคมี (chemical reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง อะตอมหรืออิออน ของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+} ด้วย เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ในสภาพที่เป็นกรด ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$6FeSO_4 + 2CrO_3 + 6H_2SO_4 \dashrightarrow 3Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

การสะเทิน (neutralization) เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH = 7) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (pH < 7) ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียมีฤทธิ์เป็นด่าง (pH > 7) ให้มีค่า pH ต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

3. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Unit Processes) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร?บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีความสกปรกน้อยลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ (Anaerobic organisms) ระบบบำบัดที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบเร่งตะกอน (Agtivated sludge) ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

biological contactor) ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) เป็นต้น

2.3 โลหะหนัก (Heavy metals) (มยุรี และ สมศักดิ์ 2550)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะสูงตั้งแต่ 5 ขึ้นไป หรือมีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 โลหะหนักที่มีบทบาทต่อมลภาวะในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด มีด้วยกัน 3 ธาตุ คือ ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม

ความเป็นพิษของโลหะหนัก เกิดจากโลหะหนักที่ร่างกายได้รับทางระบบต่างๆ ของร่างกายไปรบกวนการทำงานของระบบเอนไซม์ของเซลล์ และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป โลหะหนักบางชนิดมีผลต่อสมบัติทางด้านโครงสร้างหรือเคมีไฟฟ้าของเซลล์ ความเป็นพิษของโลหะหนัก ขึ้นกับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่รางกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ผิวหนัง โลหะหนักมีผลต่อพฤติกรรมในระดับเซลล์ โดยแบ่งออกเป็นแบบต่าง ๆ ได้ ดังนี้

1. ทำให้เซลล์ตาย
2. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
3. เป็นตัวการชักนำให้เกิดมะเร็ง
4. เป็นตัวทำให้เกิดความผิดปกติแต่กำเนิด
5. ทำความเสียหายต่อ โครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม

2.3.1 สมบัติทั่วไปและความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิด

1. ตะกั่ว (Lead; Pb) แหล่งที่พบ พบในธรรมชาติในรูปของธาตุอิสระบ้าง แต่มีน้อย มากปริมาณตะกั่วในรูปของสารประกอบก็มีไม่มากเช่นกัน แต่แร่ตะกั่วพบเป็นแหล่ง ๆ แต่ละแหล่ง มีความเข้มข้นสูง สะดวกต่อการขุดและทำเหมืองแร่ การใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่
2. ในรูปของเตตระเอทิลเลด (Tetraethyl lead) ซึ่งใช้เติมน้ำมันเพื่อเพิ่มเลขออกเทนของน้ำมัน
3. การใช้งานอื่นๆ ได้แก่ งานบัดกรี ทำโลหะเจือ ใช้ในการทำท่อในอุตสาหกรรมเคมี เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกรดซัลฟูริก กระสุนปืน

ความเป็นพิษ ตะกั่วมีพิษร้ายแรงมากต่อมนุษย์และสัตว์ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น ทางน้ำ ทางอาหาร ทางลมหายใจ และทางผิวหนัง พิษจากตะกั่วทำให้คลื่นไส้ อาเจียน มีอาการทางประสาทและกล้ามเนื้อ นอนไม่หลับ คลุ้มคลั่ง ปวดศรีษะ เป็นโรคปัญญาอ่อน ไตพิการเรื้อรัง โรคลมชัก ถ้าได้รับเป็นปริมาณมากอาจชักและตายได้ ตะกั่วจะสะสมอยู่ภายในร่างกายที่ตับ ไต เลือด และเซลล์ต่างๆ ตะกั่วพบได้ในน้ำเสียจากโรงงานหล่อหลอมและชุบโลหะ โรงงานแบตเตอรี่ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการใช้ตะกั่วในรูปของตะกั่วอินทรีย์ หรือ เทตระเอธิล เลค (tetraethyl lead) โดยผสมสารอินทรีย์ที่ระบุสามากที่สุด และมีพิษมากกว่าอนินทรีย์ เพราะมันระเหย ในน้ำมันเบนซินเป็นสารกันน็อค หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ ตะกั่วชนิดนี้เป็น กระจายได้ดีในอากาศ และถูกเผาไหม้ไม่หมด 70 เปอร์เซ็นต์ ของตะกั่วอินทรีย์ออกมาจากท่อไอเสียรถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ดีในน้ำมันและไขมัน จึงซึมซาบเข้าทางผิวหนังได้ดี

2. โครเมียม (Chromium ; Cr) แหล่งที่พบ พบอยู่ในหินเพริไทต์และเซอร์เพนทิไนต์ การใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. ใช้เป็นอาหารเสริม หรือยาลดน้ำหนัก
2. ใช้ป้องกันการกัดกร่อนในการเจาะบ่อ
3. ใช้ผลิตเทปแม่เหล็ก
4. ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง
5. ใช้ในการผลิตทับทิมเทียม
6. ผสมเป็นโลหะผสม เช่น มีดสแตนเลส
7. ใช้ผสมลงในเบนซิน

ความเป็นพิษ หากกินประมาณ 1-3 กรัม ทำให้เสียชีวิต การเป็นพิษแบบเรื้อรัง ทำให้เกิดแผลบริเวณผิวหนัง เป็นสารก่อมะเร็งปอด ทำให้ทางเดินหายใจอักเสบ จมูกโหว่ ทางเดิน อาหารอักเสบ เป็นแผลที่ลำไส้

3. แคดเมียม (Cadmium; Cd) แหล่งที่พบ แคดเมียมไม่พบในรูปของธาตุอิสระ และที่พบในรูปของสารประกอบก็มีน้อยมาก ดังนั้นแร่แคดเมียมจึงเป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองโลหะอื่น ๆ เช่น สังกะสีและตะกั่ว แร่สามัญที่สุดของแคดเมียม คือ Greenockite (Cds) ซึ่งพบปะปนอยู่กับซิงค์ซัลไฟด์ โดยปรากฏเป็นจุดสีเหลืองบนผิว การใช้ประโยชน์ ได้แก่

3. **แคดเมียม (Cadmium; Cd)** แหล่งที่พบ แคดเมียมไม่พบในรูปของธาตุอิสระ และที่พบในรูปของสารประกอบก็มีน้อยมาก ดังนั้นแร่แคดเมียมจึงเป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองโลหะอื่น ๆ เช่น สังกะสีและตะกั่ว แร่สามัญที่สุดของแคดเมียม คือ Greenockite (Cds) ซึ่งพบปะปนอยู่กับซิงค์ซัลไฟด์ โดยปรากฏเป็นจุดสีเหลืองบนผิว การใช้ประโยชน์ ได้แก่

2. ใช้ร่วมกับนิกเกิล เพื่อทำแบตเตอรี่สามารถประจุไฟใหม่ได้
3. ใช้ผสมในน้ำมันเครื่อง ยางและพลาสติก
4. กระป๋องโลหะบางชนิด
5. ใช้ผสมสีบางชนิด
6. ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ
7. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสมอะไหล่รถยนต์

ความเป็นพิษ แคดเมียมเป็นโลหะที่เป็นหินมากที่สุดโลหะหนึ่ง พิษของแคดเมียมได้รับความสนใจครั้งแรกในภายหลังสงครามโลกครั้งที่สอง ที่ริมฝั่งแม่น้ำจินต์ซู (Jintsu) ที่เมือง Toyama ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศญี่ปุ่น เรียกโรคที่เกิดจากแคดเมียมเป็นพิษว่า อิไต อิไต (intia - iti Kyo หรือ ouch - ouch Disease) อันตรายที่เกิดจากการได้รับแคดเมียม เช่น โรคโลหิตจาง ลำไส้อักเสบ ภาวะโปรตีนในปัสสาวะ และกระดูกพรุน (osteoporosis)

4. นิกเกิล (Nickel; NT) แหล่งที่พบ นิกเกิลไม่พบในรูปของธาตุอิสระ แร่นิกเกิลมีทั้งพวกซัลไฟด์ อาร์เซไนด์ (arsenides), ออกไซด์, แอนติมอไนด์ (Antimonides) การใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. ใช้ชุบโลหะ
2. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบางประเภท (Raney nickel) เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของน้ำมันพืช
3. แบตเตอรี่สะสมแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Storage battery)
4. อุตสาหกรรมเซรามิก
5. ใช้เป็นโลหะประดับ
6. แร่นิกเกิลผสมกับโครเมียม ใช้ทำลวดให้ความร้อนในเครื่องไฟฟ้า

ความเป็นพิษ การสัมผัสแบบเรื้อรัง ทำให้เกิดการอักเสบของผิวหนัง หรืออาการคัน เป็นสาเหตุของความผิดปกติของระบบย่อยอาหาร ชัก และเกิดภาวะขาดออกซิเจน เป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อหายใจเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการหอบหืด หลอดลมอักเสบ หายใจติดขัด

5. ทองแดง (Copper ; Cu) แหล่งที่พบ โลหะทองแดงในรูปธาตุอิสระมีในธรรมชาติ ทองแดงในรูปสารประกอบซึ่งส่วนใหญ่รวมกับเหล็ก กำมะถัน คาร์บอนและออกซิเจน มีกระจายทั่วไปตามที่ต่างๆ การใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. ใช้ทำกระทะและเครื่องครัวต่างๆ
2. ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
3. ใช้เคลือบผิวของโลหะ
4. ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า และเครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ
5. ใช้ในการผลิตหม้อต้มน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวด

ความเป็นพิษ ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อย เพื่อใช้ในกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ซึ่งทองแดงมีความเข้มข้นสูงที่ตับและกระดูก หากได้รับทองแดงในปริมาณสูงจะให้โทษและเป็นพิษได้ จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และสำลัก

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) (นีโอนิคส์, 2564)

ออกซิเจนในน้ำคือปริมาณออกซิเจนในก๊าซ (O_2) ที่ละลายในน้ำ (มาจากภาษาอังกฤษคือ Dissolved Oxygen เขียนย่อว่า DO) ออกซิเจนจะละลายในน้ำตามสัดส่วนของความดันในบรรยากาศ ระดับออกซิเจนน้ำจะแสดงเป็นปริมาณ O_2 ที่ละลายต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ mg/L (มก./ลิตร) ออกซิเจนเข้าสู่น้ำโดยการดูดซึมโดยตรงจากชั้นบรรยากาศ โดยการไหลของน้ำอย่างรวดเร็วหรือเป็นผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช อุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของน้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่อาจส่งผลต่อระดับออกซิเจนในน้ำ ออกซิเจนละลายในน้ำเย็นได้ง่ายกว่าในน้ำอุ่น ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เพียงพอมีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำที่ดีและจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบ ระดับออกซิเจนละลายน้ำที่ลดลงต่ำกว่า 5.0 มก/ลิตร ทำให้เกิดความเครียดต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าทำให้เกิดความเครียดมากขึ้น ระดับออกซิเจนที่ต่ำกว่า 1-2 มก/ลิตร เป็นเวลาสองสามชั่วโมงอาจส่งผลให้ปลาจำนวนมากเสียชีวิตได้

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตหลายรูปแบบเช่น ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง แบคทีเรีย และพืช สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการหายใจ คล้ายกับสิ่งมีชีวิตบนบก ปลาได้รับออกซิเจนสำหรับการหายใจทางเหงือก ในขณะที่ชีวิตพืชและแพลงก์ตอนพืชต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อการหายใจเมื่อไม่มีแสงสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ต้องการจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของสัตว์น้ำ บริเวณพื้นล่างของแหล่งน้ำ ปู หอยนางรมต้องการออกซิเจนในปริมาณเล็กน้อย (1-4 มก./ลิตร) ในขณะที่ปลาน้ำตื้นต้องการระดับที่สูงขึ้น (4-8 มก/ลิตร) จุลินทรีย์เช่นแบคทีเรียและเชื้อราก็ต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำเช่นกัน สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้ DO เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ด้านล่างของแหล่งน้ำ การสลายตัวของจุลินทรีย์มีส่วนสำคัญในการรีไซเคิลสารอาหาร อย่างไรก็ตาม หากมีสารอินทรีย์ที่เน่าเปื่อยมากเกินไป (จากสาหร่ายที่กำลังจะตายและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ) ในน้ำที่มีการหมุนเวียนไม่บ่อยหรือไม่มีเลย ออกซิเจนในน้ำจะถูกใช้อย่างรวดเร็ว

1) น้ำในธรรมชาติทั่วไปปกติจะมีค่า DO ประมาณ 5-7 mg/L
2) มาตรฐานน้ำที่มีคุณภาพดี จะมีค่า DO ประมาณ 5 – 8 mg/L
3) น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 mg/L

2.4.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD) (วิภาดา, 2559)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) คือค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ค่าบีโอดีเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพน้ำทิ้ง มีประโยชน์ทางด้านเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (Organic loading) และใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามแหล่งต่างๆ

การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD) นิยมใช้วิธี Azide Modification ภายใต้สภาวะมาตรฐานของการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยการหาความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ก่อนและหลังการบ่มในภาชนะปิด (นิยมใช้ขวดบีโอดีสีชามีจุกแก้วปิดสนิท) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ฉะนั้นในการวิเคราะห์บีโอดีตัวอย่างน้ำจะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์มากพอที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำได้ ถ้ามีน้ำน้อยหรือไม่มีเลยจะต้องเติมจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ เนื่องจากผลของการวิเคราะห์อาจจะผิดพลาดหรือหาค่าบีโอดีไม่ได้เลยถ้ามีจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรียไม่เพียงพอ ที่สำคัญอีกประการคือการเก็บตัวอย่างน้ำต้องใช้ตัวอย่างน้ำกลั้วขวดเก็บตัวอย่างก่อน 2-3 ครั้ง แล้วจึงบรรจุตัวอย่างน้ำใสในขวดเก็บตัวอย่างและเก็บตัวอย่างเต็มขวด ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝาให้สนิท เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศที่เหลืออยู่บนผิวน้ำละลายเข้าไปในตัวอย่าง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ผลการวิเคราะห์ที่ยอมรับได้จะต้องมีปริมาณ DO_5 ไม่ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลต่าง DO_0 และ DO_5 ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าบีโอดีไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่ามีสารอินทรีย์อยู่มาก จุลินทรีย์จึงต้องใช้ออกซิเจนเพื่อสลายสารอินทรีย์แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย

2.4.3 Chemical oxygen demand (COD) (นีโอนิคส์, 2564)

Chemical oxygen demand (COD) หมายถึงปริมาณของออกซิเจนที่ใช้เพื่อทำให้สารปนเปื้อนในน้ำ (สารอินทรีย์) ออกซิไดซ์ทางเคมีไปยังผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่เป็นสารอนินทรีย์ อย่างไรก็ตามสารออกซิไดซ์ที่ใช้ในการทดสอบ COD ไม่ได้แยกแยะระหว่างสารประกอบอนินทรีย์และอินทรีย์ สารอนินทรีย์บางชนิดจะถูกออกซิไดซ์ ในขณะที่สารอินทรีย์บางชนิดยังคงไม่ถูกย่อยสลาย แม้ว่าจะไม่สามารถวัดความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์แบบสัมบูรณ์ได้ทั้งหมด แต่ปกติค่า COD มักจะเพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำเสีย การทดสอบเหล่านี้ใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงแทนที่จะเป็นวัน (ใช้เวลา 5 วันในการหาค่า Biochemical oxygen demand (BOD) และโดยทั่วไปค่า COD จะให้ข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่จะเป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย ค่า COD จะใช้สารออกซิแดนท์ที่มีความแรงพอที่จะย่อยสลายเช่น โพแทสเซียม ไดโครเมต โพแทสเซียมไอโอเดต โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด มีการเติมสารออกซิไดซ์ที่ทราบปริมาณลงในตัวอย่าง เมื่อออกซิเดชันเสร็จสิ้น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในตัวอย่างจะคำนวณโดยการวัดปริมาณของสารออกซิแดนท์ที่เหลืออยู่ในสารละลาย ซึ่งมักจะทำได้โดยการไทเทรต หน่วยของ COD แสดงเป็นมิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งระบุมวลของออกซิเจนที่บริโภคต่อลิตรของสารละลาย

เมื่อน้ำเสียที่บำบัดแล้วถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม สามารถนำมลพิษในรูปของสารอินทรีย์เข้าสู่แหล่งน้ำ ค่า COD ของน้ำเสียในระดับสูงบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สามารถทำลายออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) ซึ่งนำไปสู่ผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อม**ข้อดีของการทดสอบ COD ในน้ำเสีย คือ**

- COD ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง (ค่า BOD ใช้เวลา 5 วัด)
- COD สามารถทดสอบน้ำเสียที่เป็นพิษมาก
- การทดสอบ COD ควรถือเป็นการวัดอินทรียวัตถุอย่างอิสระในตัวอย่างน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic/Optical Emission Spectrometer (ICP-AES or ICP-OES) (มยุรี และ สมศักดิ์, 2550)

เทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) หรือเทคนิค inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) เป็นเทคนิคเดียวกัน ที่เกี่ยวข้องกับอิมิสชันสเปกโทรสโกปี (emission spectroscopy) เป็นวิธีการวิเคราะห์อีกอย่างหนึ่ง โดยอาศัยหลักการทำให้อิเล็กตรอนของสารที่จะวิเคราะห์เปลี่ยนสถานะ จากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นด้วยกระบวนการที่เหมาะสม การกระทำเช่นนี้จะทำให้สารที่จะวิเคราะห์นั้น สามารถเปล่งแสงหรือรังสีหรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งเส้นสเปกตรัมเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุที่สามารถเลือกและแยกออกจากสเปกตรัมอื่นๆ ได้ โดยใช้ระบบการกระจายแสง ทำให้บอกได้ว่าเส้นสเปกตรัมนั้นเป็นของธาตุอะไร และใช้หาปริมาณหรือความเข้มของธาตุนั้นได้

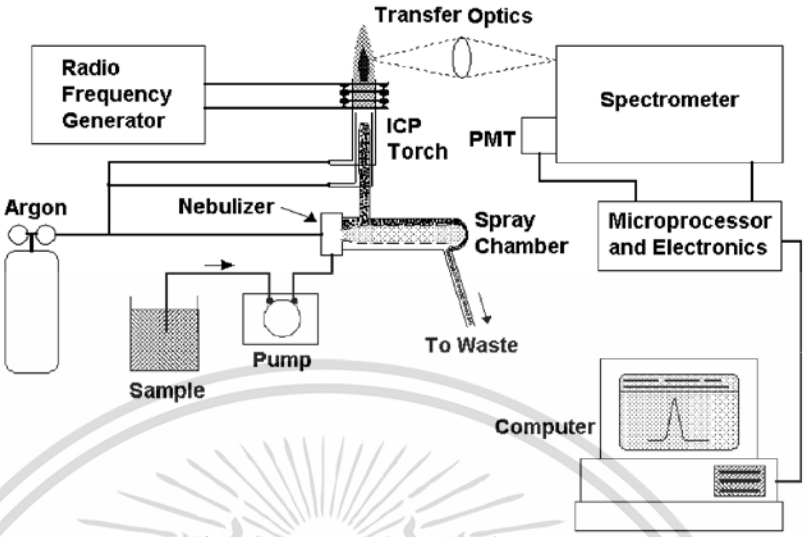
เทคนิคทางอิมิสชันสเปกโทรสโกปีนี้ เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดขึ้น และสามารถตรวจวัดสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่ง (cmitted) รังสี เนื่องจากการเกิดกระบวนการลดพลังงาน (de-excitation process) ของอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนระดับพลังงาน (energy level) จากระดับพลังงานสูง หรือระดับพลังงานกระตุ้น ไปสู่ระดับพลังงานต่ำหรือสถานะพื้น (lower or ground level) อิเล็กตรอนที่กล่าวถึงนี้เป็นอิเล็กตรอนที่อยู่เชลล์นอก (Outer shells) ของอะตอม เรียกว่า optical electrons เส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุที่สามารถเลือก และแยกออกจากสเปกตราได้ โดยที่แหล่งพลังงานของเทคนิคนี้ ต้องทำหน้าที่เปลี่ยนอะตอมของธาตุที่จะวิเคราะห์ให้เป็นอะตอมอิสระที่สถานะพื้น และทำหน้าที่กระตุ้นอะตอมของธาตุที่สถานะพื้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น ดังนั้นแหล่งพลังงานที่ดีจึงเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นเครื่องมือทางอิมิสชันสเปกโทรสโกปีที่มีประสิทธิภาพ ซึ่ง ICP sources เป็นทางเลือกอย่างหนึ่งของแหล่งพลังงานดังกล่าว

องค์ประกอบของเครื่อง ICP-OES (อนงค์, 2546)

1) Nebulize, spray chamber และแก๊สอาร์กอน
2) ICP torch
3) radio frequency generator
4) spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Microprocessor และ computer



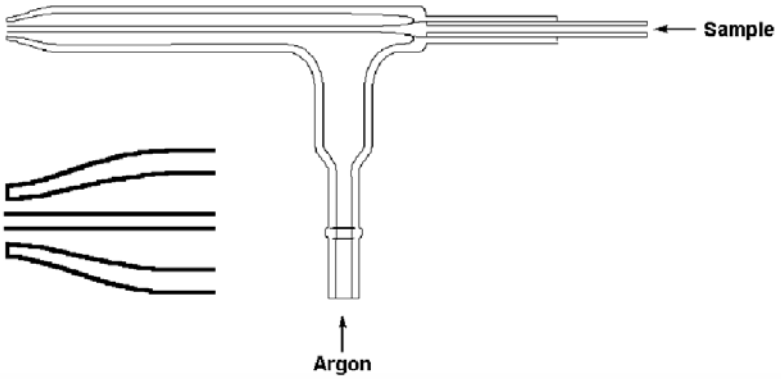
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของเครื่อง ICP-OES

ที่มา: Kumar (2013)

สารละลายที่จะนำมาวิเคราะห์จะถูกส่งเข้าเครื่อง ICP โดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้ เป็นละอองลอย (aerosol) โดยกระบวนการ nebulization แล้วสารละลายที่เป็นละอองนี้จะ ถูกพาเข้าพลาสมาของคบ ICP ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างแห้งกลายเป็นไอ กลายเป็นอะตอม หรือ เกิดการกระตุ้นหรือไอออไนซ์ อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้น (excited) นั้น จะเปล่งแสงซึ่งมี ลักษณะเฉพาะออกมา แสงที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านเข้าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เพื่อแยกเอาเฉพาะแสงที่ ต้องการวัดที่ความยาวคลื่นที่ต้องการ แล้วให้แสงดังกล่าวตกกระทบลงบนดีเทคเตอร์ เพื่อวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นความเข้มข้นได้ ในการควบคุมแต่ละขั้นตอน ตลอดจนข้อมูลที่ได้จะถูกพิมพ์หรือเก็บไว้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

1. Nebulizer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสารละลายตัวอย่างให้เป็นละอองลอย เพื่อให้เข้าสู่พลาสมา กระบวนการนี้นับเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะจะต้องให้ได้ผลที่แน่นอนและแม่นยำ การเปลี่ยนสารละลายตัวอย่างให้เป็นละอองลอยที่นิยมใช้กันใน ICP นั้น มีอยู่ 2 แบบเท่านั้น คือใช้ pneumatic force และ ultrasonic mechanical force ส่วนมากเครื่อง ICP ที่สร้างใช้ในปัจจุบันมักจะเป็น pneumatic type ซึ่งคล้ายกับ nebulizer ในเครื่อง AAS ตัวอย่างในรูป 2.3 โดยสามารถปรับอัตราการไหลของสารละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

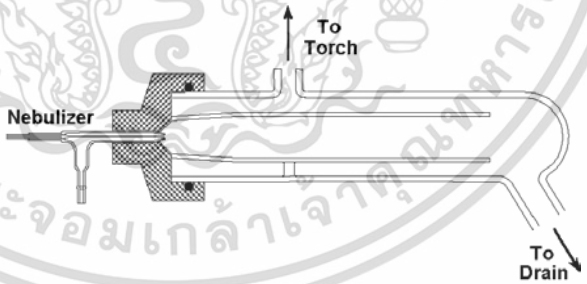


รูปที่ 2.3 Nebulizer

ที่มา: Kumar (2013)

2. ปั๊ม (Pump) สำหรับ nebulizer บางประเภทอาจต้องใช้ปั๊มเพื่อปั๊มสารละลายไปสู่ nebulizer ได้แก่ Babington type รวมทั้งชนิด V-groove และ ultrasonic type สารละลายที่ถูกปั๊มไปยัง nebulizer จะใช้อัตราการไหลของสารละลายเท่าใดมักจะใช้คงที่ และไม่ขึ้นอยู่กับความหนืด หรือความตึงผิวของสารละลายแต่อย่างใด การควบคุมอัตราการไหลของสารละลายให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับความรวดเร็วที่ต้องการให้สารละลายเข้าไป nebulizer และ spray chambers โดยทั่วไปปั๊มที่ใช้กันเป็น peristaltic pump

3. spray chambers เมื่อสารละลายตัวอย่างถูกทำให้เป็นละอองด้วย nebulizer แล้วจึงจะเข้าสู่พลาสมา แต่เนื่องจากในบางครั้ง aerosol ก็ยังมีละอองของสารละลายเป็นเม็ดโต ไม่เหมาะที่จะเข้าไปสู่พลาสมา ดังนั้น spray chambers จึงติดตั้งให้อยู่ระหว่าง aerosol กับคบพลาสมา ลักษณะทั่วไปของ spray chambers ที่ใช้กับ ICP ดังแสดงในรูป 2.4



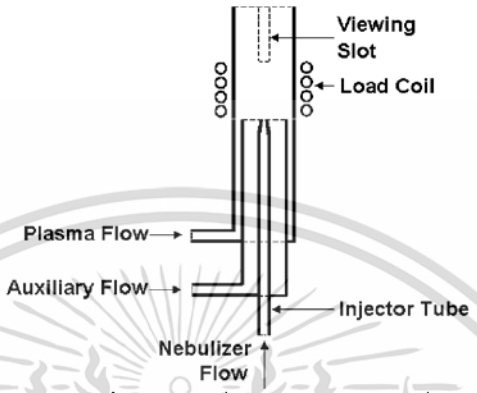
รูปที่ 2.4 ลักษณะของ spray chambers ที่ใช้กับ ICP

ที่มา: Kumar (2013)

4. คบพลาสมา (plasma torchs) คบที่ใช้ในเครื่อง ICP ทุกวันนี้มีมี 3 ชั้น สำหรับให้แก๊สอาร์กอนและละอองลอยผ่านระยะระหว่างหลอดควอตซ์ 2 ชั้นนอกจะแคบเพื่อให้แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปด้วยความเร็วสูง หลอดข้างนอกต้องการผ่านแก๊สอาร์กอนเข้าไปทางด้านข้างเพื่อให้ก๊าซหมุนจากด้านล่างสู่ด้านบน ซึ่งใช้สำหรับทำให้คบเย็น เรียก coolant flow หรือ plasma flow สำหรับอาร์กอน ICP จะใช้แก๊สไหลด้วยอัตราเร็ว 7-15 L/min สำหรับชั้นกลางซึ่งอยู่ระหว่าง plasma flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ sample flow นั้นเป็นการผ่านแก๊สอาร์กอนเข้าไป ช่วยทำให้พลาสมาแยกออกจากส่วนที่ aerosol จะผ่านเข้าไป จะช่วยทำให้ละอองของตัวอย่างเข้าในพลาสมาได้ง่ายขึ้น ตามปกติจะใช้อัตราการผ่านก๊าซประมาณ 1 L/min (พลาสมาคบนี้บางบริษัทผู้ผลิตอาจจะใช้อัตราการไหล ของแก๊สมากกว่านี้ หรืออาจไม่มีเลย) การไหลของแก๊สส่วนนี้เรียกว่า auxiliary flow ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 คบที่ใช้ใน ICP แบบหนึ่ง
ที่มา: Kumar (2013)

สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นละอองลอย (sample aerosol) จะถูกพาเข้าไปในพลาสมาในท่อกลวง เรียกว่า injector ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กๆ ความเร็วของก๊าซประมาณ 1 L/min เรียกว่า sample flow หรือ nebulizer flow ICP torch ที่มีการออกแบบอย่างดีเยี่ยมเป็นคบชิ้นเดียว ดังแสดงในรูป 2.6 ทำให้คบชนิดนี้ง่ายต่อการใช้งานและมีความเสถียรดี ในปัจจุบันคบที่ได้รับความนิยมมากจะเป็นชนิดที่ถอดออกได้เป็นชิ้นๆ (demountable) และเพื่อที่จะลดปริมาณการใช้ก๊าซอาร์กอนลงจึงได้มีการออกแบบให้คบเล็กลงเป็น minitorch

5.เครื่องส่งความถี่วิทยุ (radio frequency generators) เครื่องส่งความถี่วิทยุ (RF generator) เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำลังและช่วยทำให้ plasma discharge เกิดขึ้นติดต่อกันตลอดเวลา กำลังที่ให้นี้มีค่าประมาณ 600-1,800 W โดยส่งผ่าน load coil ที่พันอยู่รอบคบไปยังพลาสมาก๊าซ load coil จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศเพื่อส่ง RF power ไปยังพลาสมา load coil นี้ทำด้วยท่อทองแดงเล็กๆ เมื่อใช้งานท่อทองแดงนี้ จะต้องมีน้ำหรือก๊าซผ่านเพื่อทำให้เย็น เครื่องส่ง RE ที่ใช้ใน ICP ส่วนมากจะใช้ช่วงความถี่ 27-56 MHz แต่ในงานทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมแล้วจะใช้ความถี่ค่อนข้างเฉพาะ สำหรับเครื่อง ICP โดยทั่วไปจะใช้ที่ความถี่ 27.12 MHz แต่ปัจจุบันบริษัทที่ผลิตเครื่องมือวิทยาศาสตร์ได้ใช้ช่วงความถี่เป็น 40 MHz มากขึ้น เพราะที่ความถี่นี้จะทำให้ coupling efficiency ดีขึ้น ตลอดจนช่วยทำให้ background ลดลงด้วย ส่วนความถี่สูงกว่า 40 MHz ได้มีผู้ใช้เหมือนกันแต่ยังไม่ประสบความสำเร็จในเชิงการค้า

6. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (spectrometer) เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ หลายส่วนด้วยกัน เช่น ช่องแสงเข้าและออก เกรตติง หรือเรียกว่า โมโนโครมาเตอร์ และดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ sequential spectrometer ที่ใช้สำหรับอีมีสชันสเปกโทรเมตรีนั้นมีด้วยกันหลายแบบ แบบที่เป็น fast-scan monochromator สามารถประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และสิ้นเปลืองตัวอย่างน้อย fast monochromator สามารถตั้งโปรแกรมให้ scan ช้าๆ ได้หรือให้หยุดที่ความยาวคลื่นที่สนใจก็ได้ สำหรับ multi-element determinations เครื่องสเปกโทรมิเตอร์สามารถ scan จากความยาวคลื่น 190-900 nm โดยใช้เวลาน้อยกว่า 3 วินาที สำหรับการวิเคราะห์แบบ simultaneous multi-elements นั้นจะต้องเป็นเครื่องที่ใช้ polychromators และ photomultiplier detectors หรือสเปกโทรกราฟกับ array detectors

2.4.5 เทคนิคพอร์เพลต (pour plate) (Fankhauser, 2012)

วิธีนี้ใช้ในการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในอาหาร โดยการทำเจือจางเชื้อให้ได้ระดับที่เหมาะสมแล้วนำไปผสมกับอาหารวุ้นที่หลอมเหลวและเย็นประมาณ 50 องศาเซลเซียส ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว ปล่อยให้อาหารวุ้นแข็งตัว แล้วนำไปบ่ม (incubate) ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม จุลินทรีย์จะเจริญในหรือบนอาหารวุ้น มองเห็นเป็นโคโลนีเกิดขึ้น ซึ่งการรายงานจำนวนจุลินทรีย์นิยมแสดงในหน่วยโคโลนีต่อกรัมของอาหาร หรือ colony forming unit (CFU)/g

การคำนวณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในหน่วย CFU/g หรือ CFU/ml

1. กรณีที่จำนวนโคโลนีที่นับได้อยู่ในช่วง 25-250 ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดแล้วคำนวณหาเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็น CFU/g หรือ CFU/ml ได้จากสูตร

$$\text{CFU/g หรือ CFU/ml} = \frac{\sum C}{(v_1 n_1 + 0.1 n_2)\, \mathrm{d}}$$

เมื่อ $\sum C$ = ผลรวมของโคโลนีที่นับได้ทั้งหมดจากจานเพาะเชื้อที่นับได้ในช่วง 25-250 โคโลนี

v_1 = ปริมาณของ inoculum ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์

n_1 = จำนวนจานเพาะเชื้อที่นับได้ในช่วง 25-250 โคโลนีในระดับความเข้มข้นแรก

n_2 = จำนวนจานเพาะเชื้อที่นับได้ในช่วง 25-250 โคโลนี ในระดับความเข้มข้นที่ 2

d = ระดับความเข้มข้นแรกที่สามารถนับเชื้อได้ในช่วง 25-250 โคโลนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการนับโคโลนีด้วย Pour Plate

ตัวอย่าง	จำนวนโคโลนี			CFU/g
	ความเข้มข้น 1:10	ความเข้มข้น 1:100	ความเข้มข้น 1:1000	
1	TNTC	245	25	$= (245+25+27)/[(1 \times 1)+(0.1 \times 2)] \times 10^{-2}$
	TNTC	260	27	$= 2.48 \times 10^{4}$
2	37	10	0	$= (37+42)/[(1 \times 2)+(0.1 \times 0)] \times 10^{-1}$
	42	8	0	$= 3.95 \times 10^{2}$

ที่มา : Fankhauser (2012)

2. กรณีที่จนวนโคโลนีในทุกจานเพาะเชื้อมีน้อยกว่า 25 โคโลนี ให้รายงานผลเป็น“น้อยกว่า 25 คูณกับ dilution factor” เช่น

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการนับโคโลนีด้วย Pour Plate ในทุกจานเพาะเชื้อมีน้อยกว่า 25 โคโลนี

โคโลนีที่นับได้		เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยประมาณ /มล.
ความเข้มข้น 1:100	ความเข้มข้น 1:1000	หรือกรัม
18	2	< 2,500
0	0	< 2,500

ที่มา : Fankhauser (2012)

3. กรณีที่จำนวนโคโลนีในทุกจานเพาะเชื้อมีมากกว่า 250 โคโลนี แต่โดยเฉลี่ยแล้วมีจำนวนโคโลนีน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตารางเซนติเมตร ให้คำนวณจากจานที่มีจำนวนใกล้เคียงกับ 250 โคโลนีมากที่สุด เช่น

4. กรณีที่ทุกจานมีเชื้อแผ่กระจาย (spreader) เต็มจานและ/หรือเกิดข้อผิดพลาดจากการปฏิบัติการ (laboratory accident) ให้รายงานว่า “เชื้อแผ่กระจาย” หรือ “เกิดข้อผิดพลาดจากการปฏิบัติการ”

5. กรณีที่จำนวนโคโลนีในทุกจานเพาะเชื้อมีมากกว่า 250 โคโลนี และโดยเฉลี่ยแล้วมีจำนวนโคโลนีมากกว่า 100 โคโลนีต่อตารางเซนติเมตร ให้ประมาณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่า 100 เท่าของระดับความเจือจางที่มากที่สุดคูณกับพื้นที่ของจานเพาะเชื้อ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการนับโคโลนีด้วย Pour Plate กรณีที่จำนวนโคโลนีในทุกจานเพาะเชื้อมีมากกว่า 250 โคโลนี

โคโลนีที่นับได้		เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยประมาณ/มล. หรือกรัม
ความเข้มข้น 1:100	ความเข้มข้น 1:1000	
TNTC*	7,150	> 6,500,000 EAPC** เมื่อจานเพาะเชื้อมีพื้นที่ 65 cm^2
TNTC	6,490	> 5,900,000 EAPC เมื่อจานเพาะเชื้อมีพื้นที่ 65 cm^2

**TNTC = to numerous to count ** EAPC = Estimated Aerobic Plate Count

ที่มา : Fankhauser (2012)

2.3.6 เทคนิคการเกลี่ยเชื้อหรือสเปรดเพลต (spread plate) (Fankhauser, 2012)

หลังจากการทำเจือจางเชื้อให้ได้ระดับที่เหมาะสมแล้ว นำสารละลายของอาหารมาเกลี่ย (spread) บนผิวหน้าอาหารวุ้นที่ปล่อยให้แข็งและมีผิวหน้าแห้ง โดยใช้ spreader ที่ทำด้วยแก้ว หรือโลหะ วิธีนี้ใช้นับจำนวนของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน

2.4.7 เทคนิคดรอบเพลต (drop plate) (Fankhauser, 2012)

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับเทคนิค spread plate จากนั้นทำเครื่องหมายบนจานเพาะเชื้อด้านที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน แล้วใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารจากระดับความเจือจางต่างๆ ใส่ลงบนผิวหน้าของจานอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละส่วนๆ ละ 0.02 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 20-30 นาทีจนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง และบ่มเพาะเชื้อในสภาวะเหมาะสม วิธีนี้จุลินทรีย์จะเจริญเป็นโคโลนีเฉพาะที่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อเท่านั้นตรวจนับ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การกำจัดโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำจากแม่น้ำ Yautepec ในรัฐมอเรโลสของเม็กซิโก โดยใช้เมือก Opuntia ficus-indica (Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using Opuntia ficus-indica mucilage)

Vargas-Solano *et al* (2022) ได้ทำการศึกษาความสามารถของเมือก *Opuntia ficus-indica* (*OFI*) ที่สามารถกำจัดโลหะหนัก (HM) ที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำ Yautepec รัฐมอเรโลส ประเทศเม็กซิโก โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ตัวอย่างในสถานที่ต่างๆ การทำงานของเมือก *OFI* ถูกระบุโดย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ก่อนและหลังกระบวนการกำจัด คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ บางอย่างได้รับการประเมินตามมาตรฐานกำหนดไว้ และตัวอย่างน้ำทั้งหมดอยู่ในระดับที่ได้อนุญาตของ pH (6.5-8.5) และค่าการนำไฟฟ้า (1500 µS/cm) สำหรับการบริโภค อย่างไรก็ตามการหาปริมาณของโลหะหนักโดย atomic absorption spectrophotometry (AAS) การศึกษาการกำจัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างน้ำโดยใช้เมือก *OFI* ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

ความเข้มข้นต่างกัน (87.5, 175 และ 350 mg/L) โดยใช้ jar method จากนั้นจึงมีลักษณะทางเคมีกายภาพตลอดจนความเข้มข้นสุดท้ายของ HM จากการศึกษาพบว่า *OFI* ทำให้ความขุ่นของน้ำลดลงมากกว่า 70% และมีความสามารถในการกำจัดธาตุเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ได้มากกว่า 90% และส่วนโครเมียม (Cr) และสารหนู (As) มากกว่า 60% และสำหรับแคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 40% เปอร์เซ็นต์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าขึ้นอยู่กับสภาวะ pH เริ่มต้น, ความเข้มข้นของ HM เริ่มต้น และ ความเข้มข้นของเมือกกระบองเพชรที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม FTIR ของ เมือกกระบองเพชร หลังการกำจัดพบว่ากลุ่มคาร์บอนิล คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิลเป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่ในการกำจัดโลหะหนัก

2.5.2 การใช้ Opuntia ficus-indica เป็นตัวดูดซับสำหรับการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียอุตสาหกรรมเครื่องหนังที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Figueirôa *et al*,2021)

ตามรายงานของ Brazil Tanneries Center บราซิลมีการปศุสัตว์เชิงพาณิชย์ที่ใหญ่ที่สุดในปัจจุบันและเป็นผู้ผลิตหนังฟอกรายใหญ่เป็นอันดับสาม โดยมีมูลค่า 3 พันล้านดอลลาร์ต่อปี แม้ว่าผลกระทบทางเศรษฐกิจจะสูง แต่อุตสาหกรรมเครื่องหนังยังเป็นที่รู้จักจากปริมาณน้ำที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตสูงอีกด้วย มีเอกสารข้อมูลแสดงให้เห็นว่าสำหรับหนังสัตว์แต่ละตันที่ผ่านกรรมวิธีจะใช้น้ำ 30 m^3

เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหนังสัตว์ อุตสาหกรรมเครื่องหนังใช้ขั้นตอนต่างๆ เช่น การล้างแช่น้ำ (soaking), การแช่น้ำปูน (liming), การบ่มหนัง (bating), การดองกรด (pickling), การขจัดคราบไขมันบนผิว, การฟอกหนัง, การทำให้เป็นกลาง, การฟอกสี, การย้อม, การใส่จารบี และการตกแต่งขั้นสุดท้าย ในแต่ละกระบวนการ มีการใช้สารเคมีหลายชนิดและได้ปริมาณของเสียที่เป็นของเหลว โดยทั่วไปแล้ว น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องหนังประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น ไขมัน โปรตีน และโลหะหนัก เป็นสารหนูและโครเมียม เนื่องจากกระบวนการและของเสียดังกล่าว อุตสาหกรรมฟอกหนังจึงเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ก่อมลพิษมากที่สุด

โครเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในเศษหนังที่มีสถานะออกซิเดชันสองสถานะ โครเมียม III ในระดับต่ำเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์เพราะเกี่ยวข้องกับการเผาผลาญกลูโคส โปรตีน และไขมัน อย่างไรก็ตาม โครเมียม IV เป็นพิษอย่างมากต่อผัก สัตว์ และสุขภาพของมนุษย์ โดยมีโอกาสทำให้เกิดแผล ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ปวดหัว กระจกตาถูกทำลาย อาเจียน ระบบทางเดินอาหาร ระบบเลือด ปัญหาตับและไต รวมทั้งมะเร็ง

ในแนวทางปฏิบัติสำหรับคุณภาพน้ำดื่ม องค์การอนามัยโลกจำกัดปริมาณโครเมียมไว้ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลิตรสำหรับน้ำดื่ม ตามข้อจำกัดนี้ มติของสภาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติบราซิล (CONAMA) ที่ 430/2011 มอบหมายให้ผู้ที่ปล่อยเป็นผู้รับผิดชอบในการบำบัดของเสียก่อนกำจัด สำหรับโครเมียม ขีดจำกัดที่ยอมรับได้คือสูงถึง 0.1 ppm และ 1.0 ppm ถึง โครเมียม VI และ โครเมียม III ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการใช้วิธีการทางกายภาพและเคมีหลายวิธีในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง เช่น การตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงไอออนิก การบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี และการดูดซึมทางชีวภาพ ในกลุ่มเหล่านี้ การดูดซับโดยใช้เมทริกซ์ของผัก (การดูดซึมทางชีวภาพ) ถูกเน้นเพราะหลายชนิดมีชีวมวลประกอบขึ้นจากสารประกอบต่างๆ ซึ่งรวมถึงกรดฮิวมิก ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และโปรตีน ทั้งหมดนี้มีไซต์ดูดซับ เช่น หมู่คาร์บอนิล คาร์บอกซิล เอมีน และไฮดรอกซิลที่สามารถดูดซับโลหะหนักผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนหรือคีเลชั่น ตัวดูดซับชีวภาพยังคงมีต้นทุนการดำเนินงานต่ำ กระบวนการที่ได้มาง่าย และมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำให้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการบำบัดของเสีย *Opuntia ficus-indica* พืชจากตระกูลกระบองเพชรและเป็นที่รู้จักในบราซิลว่า “palma forrageira” เป็นชีวมวลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นสายพันธุ์พื้นเมืองจากเม็กซิโกและปลูกกันอย่างแพร่หลายในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิลเพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงแพะเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ปรับตัวได้ ทำซ้ำได้ และต้องการน้ำน้อย สายพันธุ์ Opuntia มีโดยเฉลี่ย 21% ของเซลลูโลส , 18.8% ของเมือก, 14.84% ของเพคติน และ 2.9%–6.0% ของโปรตีน ข้อมูลทางเคมีนี้กระตุ้นความสนใจจากผู้เขียนหลายคนเกี่ยวกับการใช้สายพันธุ์นี้หรืออนุพันธ์ของมันในการดูดซับโลหะหนักและมลพิษ ในการศึกษาที่จัดทำโดย Adjeroud et al. (2018) และ Fox *et al*. (2012) เมือกถูกสกัดและใช้ในการดูดซับทองแดงและสารหนูตามลำดับ ต้นแห้งใช้สำหรับกำจัดแคดเมียมและตะกั่ว ในขณะที่ผล (Prickly pear) ใช้สำหรับกำจัดสีย้อม การศึกษาทั้งหมดนี้ดำเนินการด้วยสารละลายน้ำสังเคราะห์ ในแง่ของคุณสมบัติการดูดซับของชีวมวล องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติการดูดซับของ “palma forrageira” จากไบโอม Caatinga และความกังวลของรัฐบาลเกี่ยวกับความเป็นพิษจากของเสียในอุตสาหกรรม การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของ *Oputia ficus indica* var.orelha de elefante เป็นสารดูดซับชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยต้นทุนต่ำ เพื่อการดูดซับโครเมียมในน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมเครื่องหนัง

2.5.3 การเพิ่มคุณค่าของลำต้นใบกลมมน (pads) ของต้นกระบองเพชร *Opuntia ficus-Indica* และอุตสาหกรรมเหล็ก ที่มีปริมาณ rejected FeCl3 สูง สำหรับการกำจัดสารลดแรงตึงผิวและฟีนอลจากน้ำเสียการกลั่นน้ำมัน ผ่านการสร้างตะกอนและการรวมตกตะกอน (Dkhissi *et al*, 2020)

การกลั่นน้ำมันพืชดิบเป็นแหล่งหนึ่งของมลพิษน้ำ เช่น กระบวนการสร้างของน้ำเสียจำนวนมาก โลหะหนัก ไฮโดรคาร์บอน, ฟีนอล, สารลดแรงตึงผิว, ยาฆ่าแมลง สารกำจัดวัชพืช และกากตะกอนมีพิษ เป็นสิ่งที่พบได้บ่อยที่สุดมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่ต้องการลดทันที

ฟีนอลเป็นสารประกอบอะโรมาติกมีพิษ ที่ทำให้สัตว์และพืชตายได้ entraining การลดความเร็วหรือการชะลอตัวหรือการปิดกั้นของการทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวเองทางชีวภาพ นอกจากนี้ สารลดแรงตึงผิว สามารถจำกัดกระบวนการทางชีวภาพโดยยับยั้งจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุ ดังนั้น ฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสารประกอบฟีนอลิกควรได้รับการกำจัดจากน้ำเสียหรือย่อยสลาย (decomposed) ก่อนน้ำถูกปล่อยไปสู่สิ่งแวดล้อม

การใช้สารสร้างตะกอนตามธรรมชาติสำหรับ การทรีตเมนต์น้ำเสีย ด้วยการสร้างตะกอน/การรวมตะกอน มีประโยชน์มากมายมากกว่าสารเคมี รวมทั้ง สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ ความเป็นพิษต่ำ การผลิต residual sludgeต่ำ ต้นทุนต่ำ เมื่อเร็ว ๆ นี้ โพลีเมอร์ออร์กานิกธรรมชาติและโพลีอีเลคโตรไลต์ ได้รับการใช้เป็น สารรวมตะกอน และ/หรือ สารช่วยรวมตะกอนในแม่น้ำและการบำบัดน้ำสีย

กระบองเพชร มีรสชาติดี มีคุณสมบัติทางโภชนาการดี มีการกระจายพันธุ์ทั่วโลก เป็นแหล่งอาหารและสารอาหารที่สำคัญแหล่งหนึ่ง และมีการใช้เป็นยา *Opuntia ficus-indica* มีสารสร้างตะกอน-รวมตะกอนสูง และมีสมบัติเป็นตัวดูดซับชีวภาพ และได้รับการศึกษาสำหรับการลดการปนเปื้อนในน้ำในแม่น้ำและน้ำเสียอย่างแพร่หลาย ต้นกระบองเพชรชนิดอื่นก็ได้ถูกใช้เป็นสารสร้างตะกอนที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ประกอบกับเมือกของพืชซึ่งมีความสามารถอุ้มน้ำ เนื่องจากความหนืดและความจุของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนในและนอก pad

กระบองเพชร *Opuntia ficus-indica* มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ แต่ก็พบในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งวงศ์ Cactaceae เป็นที่รู้จักสำหรับ low cost accessibility และการผลิตเมือกซึ่งเป็นสารคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนและแหล่งของเส้นใยอาหาร ส่วนผสมของกรดและพอลิแซ็กคาไรด์เป็นกลางประกอบด้วยอะราบิโนส, กาแลคโตส, กรดกาแลคตูโรนิก แรมโนส และไซโลส ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบใน cactus cladodes

สารสร้างตะกอนจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต (polysaccharides) และโปรตีน ประโยชน์สำคัญของการใช้สารสร้างตะกอนจากธรรมชาติ รวมถึงสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ลดความขุ่น ลดสี ผลิต การลดน้อยลง ง่ายต่อการจัดการกับกากตะกอน การทำลายเชื้อโรค สาหร่าย และแพลงก์ตอน ตลอดจนการกำจัดสารต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ การใช้สารสร้างตะกอนชีวภาพ จึงให้ผลลัพธ์ที่คุ้มค่าเนื่องจากต้นทุนที่ใช้ต่ำ และรักษาความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำที่บำบัดแล้วให้คงที่ และย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่าย

งานวิจัยนี้จึงจะทำการประเมินการใช้งาน กระบองเพชรเป็นสารสร้างตะกอนชีวภาพสำหรับการกำจัดสารลดตึงผิวและฟีนอลจากการกลั่นน้ำมันพืช และงานวิจัยนี้ยังทำการตรวจสอบความสามารถของสารละลายไอรอนคลอไรด์ 30% ที่ได้จากอุตสาหกรรมเหล็ก ของบริษัท Maghreb Steel Company ในฐานะสารสร้างตะกอนสำหรับการกำจัดสารลดแรงตึงผิวและฟีนอลเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite Sampling) การเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมเป็นการเก็บตัวอย่างแบบผสม โดยการเก็บตัวอย่าง ณ จุดเดียวกัน ต่างเวลา เช่น เก็บทุกชั่วโมงในเวลา 2 ชั่วโมง ในเวลา 1 วัน แล้วนำมารวมกัน วัตถุประสงค์การเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม เพื่อทราบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาหรือเป็นการเก็บตัวอย่าง ณ เวลาเดียวหลายจุด ซึ่งจะใช้ในกรณีของแม่น้ำหรือแหล่งน้ำที่มีความแตกต่างในแนวหน้าตัด ทั้งตามความยาวและความลึกของแหล่งน้ำ ตัวอย่างต่อหนึ่งจุด กรณีแหล่งน้ำนิ่งให้เก็บกึ่งกลางความลึกของจุดเก็บน้ำนั้น ๆ

การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าแบคทีเรีย ให้เก็บลึกจากผิวน้ำประมาณ 20 - 30 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นช่วงความลึกที่แบคทีเรียดำรงชีวิตอยู่ได้ดี และให้เปิดและปิดฝาใต้น้ำเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำในปริมาณที่ต้องการ โดยควรเว้นช่องว่างในขวดไว้ประมาณ 1 ใน 5 ส่วนให้มีอากาศหายใจแก่แบคทีเรีย ทุกครั้งที่เปิดปิดฝาขวดเก็บตัวอย่าง ต้องระวังไม่ให้มือสัมผัสปากขวดโดยเด็ดขาด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากความสกปรกของมือผู้เก็บตัวอย่าง การเก็บต้องหันปากขวดไปทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของน้ำเสมอเพื่อให้น้ำไหลพาแบคทีเรียเขย่าขวด นำขวดตัวอย่างขึ้นมาห่อด้วยวัสดุกันแสงเพื่อป้องกันไม่ให้แบคทีเรียถูกทำลายโดยรังสีจากแสงแดด และต้องแช่เย็นขณะนำตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการ

3.2 การเตรียมต้นกระบองเพชร

- **เตรียมต้นกระบองเพชรแบบของเหลว**

นำตัวอย่างต้นกระบองเพชรมาล้างให้สะอาด หั่นให้มีขนาดเล็กลง แล้วจึงนำมาปั่นด้วยเครื่องบดสับอเนกประสงค์ให้มีขนาดเล็กลง

- **เตรียมต้นกระบองเพชรแบบแห้ง**

นำต้นกระบองเพชรมาล้างให้สะอาด หั่นให้มีขนาดเล็กลงนำมาอบให้แห้งไม่มีน้ำ บดให้มีขนาดเล็กลงเป็นผง และนำมาทดสอบการบำบัดน้ำเสีย ทดสอบด้วยปริมาณกระบองเพชรแบบแห้ง 1-2 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเร่งการจับตัวเป็นก้อนและตะกอน (Dkhissi et al, 2020)

ทดสอบสารเคมีเร่งการจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอน ในอุปกรณ์เครื่องแกว่งสารในภาชนะ ทดสอบโดยใช้เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker) การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน

1. ทำการแกว่งสารผสมให้เข้ากันที่ความเร็ว 180 rpm เป็นเวลา 20-30 นาที
2. และทำการปั่นช้าที่ 30 rpm เป็นเวลา 20 นาที
3.ปล่อยให้สารคงตัว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การทำให้สารจับตัวและตกตะกอน จะทำภายใต้ตัวแปรที่เสมือนสภาพจริงที่ได้กำหนดไว้มากที่สุด (ค่า COD, BOD_5, Total suspended solid, ไขมันและน้ำมัน, อุณหภูมิ, สีและความขุ่น, ค่า pH และปริมาณของสารลดแรงตึงผิวและฟีนอล)

3.4 การวิเคราะห์ค่า pH

ใช้เครื่อง pH meter probe ในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด โดยมีการ calibrate เครื่อง pH meter ก่อนการวิเคราะห์

3.5 วิธีการวิเคราะห์ค่า COD (APHA, 1998)

วัสดุอุปกรณ์อุปกรณ์สำหรับการรีฟลักซ์ ประกอบด้วย

1. หลอดทดลองฝาเกลียว ทำจาก Borosilicates ที่สามารถทนความร้อนได้สูงสุด 500 °C
2.เตาอบลมร้อนที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ถึง 150 °C

สารรีเอเจนท์

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.25 N เตรียมได้โดยชั่งน้ำหนักโพแทสเซียม
   ไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103°C เวลา 2 ชั่วโมง น้ำหนัก 12.259 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml

2. กรดซัลฟิวริก เตรียมโดยละลายชั่งน้ำหนักซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 g ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 kg (2.5 l) ต้องใช้เวลาในการละลาย 1 - 2 วัน

3. สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตไตแตรนท์ (standard ferrous ammonium sulfate titrant) ความเข้มข้น 0.10 N เตรียมโดย ชั่งน้ำหนักสารไอร์ออน (II) แอมโมเนียซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_20$) ชนิด AR grade 39 g ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ml ทำให้เย็นแล้วเจือจางเป็น 1,000 ml สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (standardization) ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (standard potassium dichromate solution) เข้มข้น 0.25 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเข้มข้นของสารละลายไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10 ml เติมน้ำกลั่น 90 ml. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30 ml ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาไตเตรตกับเฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟต ใช ferroin 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณความเข้มข้นมาตรฐานไอร์ออน (II) จากสมการที่ 1

ความเข้มข้นมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต

$$= (\text{ml. } K_2Cr_2O_7 \times 0.25)/(\text{ml. } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2) \quad \textbf{(1)}$$

4. สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10 ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2OH_2O$) 1.485 g และ ไอร์ออน (II) ซัลเฟต เฮปต้าไฮเดรต ($FeSO_4$ $7H_2O$) 0.695 g ในน้ำกลั่น เจือจางให้มีปริมาตร 100 ml

5. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4),(AR grade)

วิธีการ

นำน้ำที่เตรียมได้มาเจือจางเพื่อให้ได้ความเข้มข้มของสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเหมาะกับการหาค่า COD และนำมารีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่อุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์ โดยสารละลายโพแตสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณมากเกินพอ หลังจากรีฟลักซ์วัดปริมาณโพแตสเซียมไดโครเมตที่เหลือโดยนำไปไตเตรตกับเฟอรัสแอมโมเนียม-ซัลเฟต (ferrous ammonium sulfate , FAS) และใช้เฟอโรอิน (ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้ ดังสมการ

เมื่อรีฟลักซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$

$$CHO + Cr_2O^{2-}_7 + H^+ \longrightarrow CO_2 + H_2O + Cr^{3+} + Cr_2O^{2-}_7$$

(เกินพอ) (เหลือ)

หาปริมาณ $Cr_2O^{2-}_7$ ที่เหลือโดยการไตเตรตด้วย FAS มีเฟอโรอินเป็น อินดิเคเตอร์

$$6Fe^{2+} + Cr_2O^{2-}_7 + 14H^+ \longrightarrow 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

(สีเหลือง) (สีน้ำตาลแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Cr_2O^{2-}_7$ ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} (FAS) ได้โครมิค (Cr^{3+}) จนหมด แล้ว Fe^{2+} ทำปฏิกิริยากับเฟอโรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดงซึ่งแสดงจุดยุติของการไตเตรต คำนวณค่า COD จากสมการที่ 2

$$\text{COD (mg ออกซิเจน/L)} = \frac{(\mathbf{A-B})\ \mathbf{X\ N\ x\ 8{,}000}}{(\text{ปริมาตร}\ \mathbf{(ml)}\ \text{ตัวอย่างที่ใช้}} \qquad (2)$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของ FAS (N)

3.6 วิธีการวิเคราะห์ค่า BOD และค่า DO (APHA, 1998)

วัสดุอุปกรณ์

1. ขวดอินคิวเบท (Incubation Bottles) หรือขวดบีโอดี (BOD) ขนาด 300 ml ซึ่งมีจุกปิดเป็นจุก

แก้วปิดสนิท ก่อนที่จะนำขวดบีโอดีมาใช้จะต้องนำขวดมาล้างให้สะอาดปราศจากอินทรีย์สารต่าง ๆ ล้างด้วยสารละลายของกรดซัลฟิวริกเข้มข้นผสมกับสารโพแทสเซียมไดโครเมต (cleaning solution) หลังจากนั้นนำขวดมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ครั้งสุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง แล้วทำให้แห้ง

2. ตู้บ่ม (Incubator) ควบคุมและปรับอุณหภูมิได้เองโดยอัตโนมัติที่ 20 ± 1 °C และต้องเป็นตู้ซึ่งสามารถป้องกันไม่ให้แสงผ่านเข้าไปได้

3. เครื่องแก้ว

สารรีเอเจนต์

1.. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เตรียมได้โดยผสมสารละลาย A และ B สารละลายนี้จะมีค่า pH ประมาณ 7.2 ดังนี้

สารละลาย A ความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 36 ml : เตรียมโดยละลาย dibasic sodium phosphate (Na_2HPO_4 $2H_2O$) 8.5 g ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร

สารละลาย B ความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 14 ml : เตรียมโดยละลาย monobasic sodium phosphate (NaH_2PO_4 $2H_2O$) 8.9 g ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร

2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต โดยละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($MgSO_4$ $7H_2O$) 22.5 g ใน น้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ml

3.. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$. $2H_2O$) 36.4 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1,000 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ โดยละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์เฮกซาไฮเดรต ($FeCl_3$ $6H_2O$) 0.25 g ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ml

5. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1 N เตรียมโดยปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.8 ml ละลายในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้มีปริมาตร 100 ml

6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1N เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจาง เป็น 100 ml

7. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ เข้มข้น 0.025 N โดยละลายแอนไฮดรัสซัลไฟต์ (Na_2SO_4) 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มล. (สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมในวันที่จะใช้เท่านั้น)

วิธีการ

นำน้ำตัวอย่าง ที่เตรียมไว้มาเจือจางให้เหมาะกับการหาค่า BOD เติมสารสกัดจากต้นกระบองเพชรท ซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ ใช้ขวดสำหรับหาค่า BOD ของน้ำโดย เฉพาะ 3 ขวด ขวดหนึ่งนำมาหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) ก่อนบ่ม (incubate, DO_0) อีก 2 ขวดนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20±1 °C เวลา 5 วัน และหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ วันที่ 5 (DO_5) นำมาคำนวณค่า BOD จากสมการที่ 3

ค่า BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = (DO_5 – DO_0) x อัตราส่วนการเจือจาง (3)

เมื่อ DO_0 คือ ค่าออกซิเจนละลายที่ละลายในน้ำก่อนบ่ม

DO_5 คือ ค่าออกซิเจนละลายที่ละลายในน้ำหลังบ่ม 5 วัน

อัตราเจือจาง = ปริมาตรน้ำเต็มขวด BOD (300ml) /ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (4)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะหาค่า D_0 คือ ออกซิเจนที่อยู่ในน้ำจะออกซิไดซ์ Mn^{2+} เป็น Mn^{4+} ภายใต้สภาวะเป็นด่าง Mn^{4+} สามารถออกซิไดซ์ I^- เป็น I_2 อิสระภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังนั้นปริมาณ I_2 อิสระที่ถูกขับออกมาจะเท่ากับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้นและวัดได้โดยไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานไธโอซัลเฟต มีขั้นตอนและปฏิกิริยาที่เกิดดังนี้

เติม $MnSO_4$ และ alkali iodide azide ลงในน้ำที่ต้องการหาปริมาณออกซิเจน

$$Mn^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Mn(OH)_2 \text{ ตะกอนสีขาว}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าในน้ำมีออกซิเจน จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$Mn(OH)_2 + 1/2O_2 \rightarrow MnO_2 \text{ ตะกอนสีน้ำตาล}$$

เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น I^- จะถูกออกซิไดซ์เป็น I_2

$$MnO_2 + 2\ I^- + 4H+ \rightarrow Mn^{2+} + I_2 + 2H_2O$$

ไตเตรตด้วย $Na_2S_2O_3$ เพื่อหา I_2 ที่เกิดขึ้น

$$I_2 + 2\ S_2O_3^{2-} \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2\ I^-$$

3.7 วิธีการวิเคราะห์ค่าความขุ่น

ทำการวิเคราะห์ความขุ่นของตัวอย่างน้ำด้วยการวัดค่าการ ดูดกลืนแสง (optical density: OD) โดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

3.8 วิธีการตรวจสอบชนิดของธาตุโลหะหนักในน้ำ (Osumex, Heavy metal general test kit)

ตรวจหาชนิดของธาตุโลหะหนักที่อาจมีการปนเปื้อนอยู่ในน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากคลองประเวศบุรีรมย์ด้วยการใช้ชุดทดสอบโลหะหนัก Heavy Metals Test general kit ของบริษัท Osumex ซึ่งสามารถทดสอบหาปริมาณโลหะหนักได้ 8 ชนิดคือ แคดเมียม, โคบอลต์, ทองแดง, ตะกั่ว , แมงกานีส, ปรอท, นิกเกิล และ สังกะสี ทำการเตรียมตัวอย่างสารละลายที่ต้องการทดสอบโดยปรับให้มีค่า pH อย่างน้อย 5.0 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุด โดยทำการเทสารละลายทดสอบลงในหลอดพลาสติกแบบมีฝาปิด จากนั้นจึงปิดฝาแล้วเขย่าจนสารละลายทดสอบเปลี่ยนเป็นสีเขียวจึงจะพร้อมนำมาทำการทดสอบ จากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำคลองใส่หลอดทดลองที่บรรจุสารละลายทดสอบไว้ด้วยปิเปต ประมาณ 3 ส่วน 4 ของหลอด จากนั้นจึงปิดฝาแล้วจึงเขย่าให้สารละลายทั้ง 2 เข้ากันดี จากนั้นนำหลอดทดลองที่เขย่าแล้วมาวางคว่ำโดยเอาด้านฝาเป็นฐานตั้งหลอด จากนั้นจึงรอเป็นเวลา 15-20 นาที สารละลายทดสอบจะลอยขึ้นมาอยู่ชั้นบนเหนือสารละลายตัวอย่างและถ้าหากมีธาตุโลหะหนักปนเปื้อนอยู่สารละลายทดสอบนี้ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีไปตามชนิดของธาตุโลหะหนัก (ถ้าหากยังคงเป็นสีเขียวหมายถึงตรวจไม่พบโลหะหนักและ หากเปลี่ยนเป็นสีเทา ถึง สีดำหมายถึง มีธาตุโลหะหนักหลายชนิดปนเปื้อนอยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค spread plate

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (pca) ด้วยการละลายผงอาหาร pca 14 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 ml ในบีกเกอร์ขนาด 600 ml จากนั้นนำอาหารที่ละลายแล้วไปอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ จนอาหารเปลี่ยนเป็นสีเหลืองใส จากนั้นจึงนำอาหารที่ได้แบ่งใส่ขวดดูแรนขนาด 500 ml แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากฆ่าเชื้อเสร็จแล้วจึงนำมารอให้อาหารอุ่นจากนั้นจึงนำมาเทลงเพลทเลี้ยงเชื้อ และรอให้อาหารเย็นจนแข็งตัว โดยจะทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 12 เพลท

เตรียมสารละลายน้ำเหลือหรือ NaCl solution 0.9% ด้วยการละลายสารเกลือแกง หรือ NaCl ปริมาณ 4.8 g ละลายในน้ำกลั่น 500 ml จากนั้นจึงนำมาแบ่งใส่ในหลอดทดลอง ปริมาณหลอดละ 9 ml จากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำจากคลองประเวศบุรีรมย์ที่เก็บมาและตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดลองบำบัดน้ำโดยการใช้กระบองเพชร มาเจือจางเป็นลำดับส่วน ในอัตราส่วนตัวอย่างน้ำ : สารละลาย NaCl 1 : 9 จนถึงค่าการเจือจางที่ 10^{-7} จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่เจือจางแล้ว มาหยดลงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยวิธีการ aseptic technique ใน biosafety cabinet โดยใช้ autopipet ดูดตัวอย่างมาหยดลงอาหารเลี้ยงเชื้อ เพลทละ 0.2 ไมโครลิตร จากนั้นจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

3.10 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) (กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี,กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

เตรียมตัวอย่างน้ำที่เพิ่มสารที่จะทำให้เกิดไอออนของสารโลหะหนักลงไปในน้ำ เช่น Fe^{3+}, Fe ก่อนจะนำตัวอย่างน้ำที่ได้ไปทำการบำบัดโดยการใช้กระบองเพชรแบบสดและแบบแห้งเป็นสารรวมตะกอนตามวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (3.3) ก่อนนำตัวอย่างน้ำที่ได้ไปวัดปริมาณของธาตุโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการจับตัวกับอนุภาคของโลหะที่อยู่ในน้ำของกระบองเพชรแบบสดและแบบแห้งที่ได้จากกระบองเพชร

3.11 การวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิววิธี Surfactant Screening Test (คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539)

การตรวจสารพิษสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่พบได้ในผงซักฟอก, น้ำยาซักล้าง, แชมพู พบสารนี้ทั้ง BAS [Branched Alkyl Benzene Sulfonate] และ LAS [Linear Alkyl Benzene Sulfonate] ในผู้ป่วยที่ได้รับสารพิษของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เพื่อใช้ในการตรวจเบื้องต้นและในการติดตามวินิจฉัย การรักษาของแพทย์ ทดสอบโดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บได้มา 3 – 5 ml ใส่ใน Test Tube เติม 1% Methylene Blue 3 หยด จากนั้นเติม Chloroform ประมาณ 6 – 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ml เขย่าเบาๆ สังเกตสีที่เกิดขึ้นที่ชั้นของ Chloroform. เทียบกับ Positive Control และ Negative Control ที่จะใช้เป็นน้ำผสมผงซักฟอกและน้ำกลั่นตามลำดับ วิธีการอ่านผล: ผลการทดสอบรายงานเป็น Positive/Negative การแปลผล: เกิดสีฟ้าถึงสีน้ำเงินที่ชั้นของ Chloroform ให้ผล Surfactant Positive

3.12 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธี DMRT (Duncan's new Multiple Range Test) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชั่น 29.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

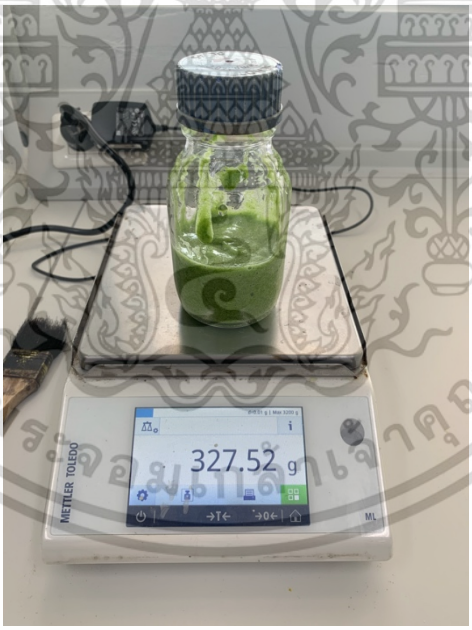
บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ Opuntia ficus-indica

ต้นกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica* ที่ใช้ในการทดลองนี้ จะเพาะปลูกอยู่ที่ ตำบลหนองจระเข้ อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี โดยมีลักษณะเป็นลำต้นแบบ ลักษณะคล้ายใบ หรือเรียกว่า pads สีเขียวอ่อนถึงสีเขียวเข้ม

4.2 ลักษณะของของสารสกัดแบบเหลวที่ได้จากต้นกระบองเพชร

ลักษณะของกระบองเพชรสดที่สกัดได้ออกมาจากการปั่นรวมกับเปลือกชั้นนอกของต้นจะมีความหนืดมาก สีเขียวอ่อน มีค่า pH 4.78 ที่อุณหภูมิห้อง โดยน้ำหนักแรกเริ่มของกระบองเพชรคือ 279.90 กรัม ก่อนที่จะนำมาตัดส่วนที่มีการแห้งตายออกแล้วจึงนำมาปั่น ได้น้ำหนักของเหลวทั้งหมด 232.07 กรัม คิดเป็น % yield = (232.07/279.90) x 100% = 82.91% จากต้นกระบองเพชรที่นำมาทำการปั่น



รูปที่ 4.1 สารสกัดจากต้นกระบองเพชรสดที่ได้ใช้เครื่องบดสับรวมกับน้ำหนักของขวดที่ใช้บรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณลักษณะของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์

น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ที่นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำปรากฏว่า น้ำมีค่า pH 7.25-7.33 ในส่วนของค่า Conductivity หรือค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ -17.8 ถึง -17.4 mV มีค่า BOD อยู่ที่ 24.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ในน้ำคลองที่วัดได้ คือ 4.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำทั้งหมด (TSS) ที่วัดได้คือ 11.00 – 18.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งที่ละลายน้ำหมด ที่วัดได้คือ 13.50 - 17.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์

ค่า pH	7.25 - 7.33
ค่า Conductivity	-17.8 – -17.4) mV
ค่า BOD	24.90 mg/L
ค่า COD	4.17 mg/L
สารลดแรงตึงผิว	ไม่พบ
ค่าความขุ่น	0.001 A
ค่าของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำทั้งหมด (TSS)	11.00 – 18.1 mg/L
ค่าของแข็งที่ละลายน้ำหมด (TDS)	13.50 - 17.90 mg/L

น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ที่นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำปรากฏว่า น้ำมีค่า pH 7.25-7.33 ซึ่งอยู่ในระดับน้ำธรรมชาติ ที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5-9 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ค่า Conductivity หรือค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ -17.8 ถึง -17.4 mV ในการวิเคราะห์ค่า BOD ของน้ำคลองอยู่ที่ 24.90 mg/L ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.5 mg/L แปลได้ว่า มีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำสูงค่าเกณฑ์มตราฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

4.4 การวิเคราะห์ค่า pH

น้ำคลองก่อนบำบัดด้วยกระบองเพชรและน้ำตัวอย่างที่บำบัดด้วยกระบองเพชร 2 กรัม มีค่า pH มากที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม โดยน้ำคลองและน้ำตัวอย่างที่บำบัดด้วยกระบองเพชร 2 กรัม มีค่า pH อยู่ที่ 7.30±0.05 และ 7.46±0.16 ตามลำดับ กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม มีค่า pH อยู่ที่ 6.20±0.01 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Sample	pH
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	**7.30±0.05[a]**
กระบองเพชรสด 2 g	**7.46±0.16[a]**
กระบองเพชรแห้ง 2 g	**6.20±0.01[b]**

[a, b] ตัวอักษรกำกับค่า Mean ± SE ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่า pH พบว่า น้ำคลองที่ผ่านการบำบัดด้วยต้อนกระบองเพชรแห้ง 2 g ลดค่า pH ได้มากกว่า กระบองเพชรสด 2 g จากการตรวจสอบพบว่าค่า pH ของน้ำคลองก่อนบำบัดอยู่ที่ 7.30 หลังบำบัดด้วยกระเพชรสด 2 g และกระบองเพชรแห้ง 2 g ค่า pH ที่ได้อยู่ที่ 6.20 และ 7.46 ตามลำดับ ซึ่งการที่ค่า pH เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากที่เซลล์ของกระบองเพชรสดเกิดการสังเคราะห์แสง แต่อย่างไรก็ที่วัดได้นั้นถือเป็นน้ำธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2023) ที่น้ำธรรมชาติมีช่วงค่า pH 5-9

4.5 ค่า COD ของน้ำเทียบก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบองเพชร

ค่า COD ของน้ำเทียบก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบองเพชร กระบองเพชรสด 1 และ 2 กรัม แตกต่างกับตัวอย่างอื่นที่ทดสอบ ค่า COD ของน้ำที่บำบัดด้วยกระบองเพชรสด 2 กรัม มีค่า 733.3±14.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ของน้ำที่บำบัดด้วยกระบองเพชรสด 1 กรัม มีค่า 720.8±28.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ของน้ำที่บำบัดด้วยกระบองเพชรแห้ง 1 กรัม มีค่า 608.3±52.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ของน้ำที่บำบัดด้วยกระบองเพชรแห้ง 2 กรัม มีค่า 541.7±66.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำคลองมีค่า COD 4.17±143.31 มิลลิกรัมต่อลิตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับค่า COD ของตัวอย่างทั้งหมด ยกเว้นค่า COD ของน้ำกลั่น ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงปริมาณของสารมาตรฐาน FAS ที่ใช้ในการไตเตรต และค่า COD ที่หาได้จากสูตรคำนวณ

ตัวอย่าง	น้ำหนักกระบองเพชร (g)	COD (mg/L)
น้ำกลั่น	**0**	**0±0.00[c]**
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	**0**	**4.17±143.31[c]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบองเพชรสด	1	720.8±28.87[a]
	2	733.3±14.43 [a]
กระบองเพชรแห้ง	1	608.3±52.04 [a+b]
	2	541.7±66.14 [b]

[a, b, c] ตัวอักษรกำกับค่า Mean ± SE ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่า COD มีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังจากใส่กระบองเพชรทั้งแบบสดและแบบแห้ง ทั้งนี้เกิดจากการที่ เราได้ทำการตรวจสอบค่า COD ในวันแรกที่ทำการเก็บตัวอย่างและจากการเติมกระบองเพชรซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ลงไปในตัวอย่างน้ำอาจทำให้ส่งผลต่อการขั้นตอนการย่อยสารอินทรีย์ในสภาวะกรดของตัวอย่างน้ำ นอกจากนี้ตามวิธีการของ (Dkhissi, *et al.*, 2020) นั้น ในขั้นตอนการนำตัวอย่างน้ำมาวัดค่า COD พบว่า ค่า COD ที่วัดได้ในตัวอย่างจะลดลงแบบแปรผันกับเวลาที่ใช้ในการปล่อยให้เกิดการตกตะกอนหลังการปั่นผสมตัวอย่างน้ำและกระบองเพชร ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 180 นาทีจะสามารถลดปริมาณค่า COD ที่วัดได้เมื่อเทียบกับการวัดค่า COD หลังทำการปั่นผสมเสร็จทันทีถึง 30% ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 อย่างอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดค่า COD ได้ผลลัพธ์เกินกว่าระดับที่ปกติ

4.6 ค่า BOD ของน้ำเทียบก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบองเพชร

จากตารางที่ 4.4 พบว่ากระบองเพชรสด 1 มีค่า BOD แตกต่างจากตัวอย่างอื่นที่ทดสอบทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่า BOD ของกระบองเพชรสด 1 กรัม มีค่า 4.00±4.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD ของกระบองเพชรสด 2 กรัม มีค่า 48.9±14.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD น้ำคลองมีค่า 24.90±17.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่า BOD ของน้ำที่ได้จากการไทเทรต

ตัวอย่าง	BOD (mg/L)
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	24.90±17.73[a]
กระบองเพชรสด 1 g	4.00±4.58[b]
กระบองเพชรสด 2 g	48.9±14.18[a]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[a, b] ตัวอักษรกำกับค่า Mean ± SE ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กระบองเพชรสด 1 g มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2553) ถือว่าเป็นน้ำคุณภาพระดับธรรมชาติ

4.7 ค่าความขุ่นและในตัวอย่างน้ำ

น้ำที่บำบัดด้วยกระบองเพชรแห้ง 1 และ 2 กรัม มีค่าความขุ่นสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ทดสอบกับตัวอย่างอื่น มีค่า OD 0.56±0.000 และ 0.68±0.00 A ตามลำดับ ค่า OD น้ำคลอง 0.001±0.18 ค่า OD กระบองเพชรสด 1 กรัม มีค่า 0.28±0.03 A ค่า OD กระบองเพชรสด 2 กรัม 0.423±0.00 A ตามลำดับ แสดงได้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงความขุ่นของตัวอย่างน้ำที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

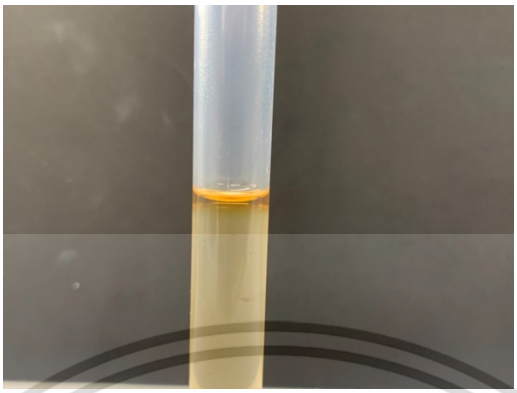
ตัวอย่าง	วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร
น้ำกรอง	0.00±0.000 [d]
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	0.001±0.18[d]
กระบองเพชรสด 1 g	0.28±0.03[c]
กระบองเพชรสด 2 g	0.423±0.00[b]
กระบองเพชรแห้ง 1 g	0.557±0.00 [a]
กระบองเพชรแห้ง 2 g	0.682±0.00[a]

[a, b, c, d] ตัวอักษรกำกับค่า Mean ± SE ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การใช้ต้นกระบองเพชรในการบำบัดน้ำแล้วนำมาวัดค่าความขุ่นทำให้ค่าความขุ่นในน้ำ เมื่อเติมต้นกระบองเพชรลงไปทั้งแบบสดและแบบแห้ง ซึ่งเกิดจากเซลล์และสารประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ที่กระจายอยู่ในน้ำ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Vargas-Solano *et a.*, 2022) และงานวิจัยของ (Dkhissi *et al*, 2020) ที่ค่าความขุ่นที่วัดหลังการบำบัดมีค่าเพิ่มในทุกๆ ตัวอย่างน้ำ

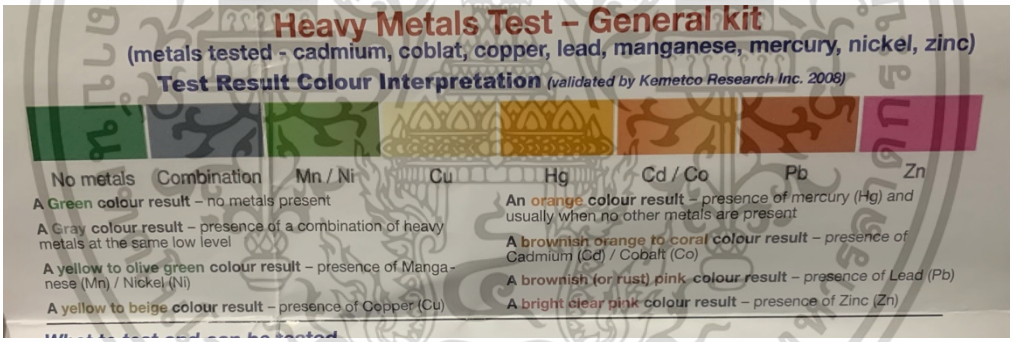
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ชนิดของธาตุโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่เก็บมา



รูปที่ 4.2 ผลตรวจที่ได้จากการใช้ชุดตรวจ Heavy metals test – general kit ของ Osumex

ผลที่ได้จากการใช้ชุดตรวจพบว่าสารละลายทดสอบมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง-ส้ม ซึ่งจากการอ้างอิงจากคู่มือการใช้งานพบว่าช่วงสีที่ได้จะบ่งชี้ถึงการมีอยู่ของธาตุ ปรอท,แคดเมียม,ตะกั่ว โดยหากสีที่ได้มีความเข้มมาก ก็จะสามารถบ่งชี้ได้ด้วยว่ามีธาตุโลหะหนักชนิดนั้นอยู่ในตัวอย่างน้ำ อย่างน้อย 1-5 ppm



รูปที่ 4.3 ช่วงสีที่อยู่ในคู่มือของชุดตรวจ Heavy metals test – general kit ของ Osumex

4.9 ปริมาณของสารตะกั่ว (Pb) วิเคราะห์โดย เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, ICP-OES)

จากการตรวจปริมาณของโลหะหนักก่อนและหลังบำบัดโดยใช้เครื่อง ICP-OES โดยเลือกตรวจหาธาตุตะกั่วซึ่งเป็นธาตุโลหะหนักที่สร้างมลพิษได้ทั้งในดินและในแหล่งน้ำและเครื่อง ICP-OES ที่ใช้ในการตรวจ มีสารมาตรฐานพร้อมสำหรับทำการทดสอบ โดยจากผลการตรวจสอบพบว่า ธาตุตะกั่วมีปริมาณน้อยกว่า 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μg/L ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นที่กำหนดไม่ปริมาณตะกั่ว ต้องไม่เกิน 0.05 mg/L จึงถือว่ายังอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

4.10 การวิเคราะห์จำนวนของจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ

น้ำคลองก่อนการบำบัดมีจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้กระบองเพชรสด 2 กรัม โดยน้ำคลองจะมีจำนวนจุลินทรีย์ 1,936.67±402.78 CFU/ml และกระบองเพชรสด 2 กรัม มีจำนวนจุลินทรีย์ 786.67±32.14 CFU/ml กระบองเพชรสด 1 กรัม กระบองเพชรแห้ง 1 กรัมกระบองเพชรแห้ง 2 กรัม มีจำนวนจุลินทรีย์ 1,306.67±600.78, 1,263.33±777.19 และ 1,023.33±106.93 CFU/ml ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อบน PCA

ตัวอย่าง	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	1,936.67±402.78 [a]
กระบองเพชรสด 1 g	1,306.67±600.78 [a+b]
กระบองเพชรสด 2 g	786.67±32.14[b]
กระบองเพชรแห้ง 1 g	1,263.33±777.19 [a+b]
กระบองเพชรแห้ง 2 g	1,023.33±106.93[a+b]

[a, b] ตัวอักษรกำกับค่า Mean ± SE ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การใช้บำบัดด้วยกระบองเพชรสด 2 กรัม สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด จากจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำคลอง 1,936.67±402.78 CFU/ml ลดลงเหลือ 786.67±32.14 รองลงมา คือ การใช้กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม และกระบองเพชรสด 1 กรัม มีจำนวนจุลินทรีย์อยู่ที่ 1,023.33±106.93, 1,263.33±777.19 และ 1,306.67±600.78 CFU/ml ตามลำดับ

4.11 ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว (surfactant)

การบำบัดด้วยกระบองเพชรสด 1 กรัม 2 กรัม และแห้ง 1 กรัม 2 กรัม น้ำตัวอย่างไม่มีสารลดแรงตึงผิว ให้ผลทดสอบเหมือนน้ำกรอง มีค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากันที่ 0.001± 0.00 g/L แสดงได้ในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการสังเกตสี ความสูง (H) น้ำหนัก (W) ปริมาตร (V) และความหนาแน่น D ของชั้นน้ำกับชั้นคลอโรฟอร์ม

ตัวอย่าง	สี*	H (cm)		W (g)		V (ml)	D (g/L)
		ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นล่าง		
น้ำคลอง + ผงซักฟอกลงไป 0.2 g	+	1.07±0.2^{b+c}	0.93±0.12^{d}	1.10±0.12^{a+b}	2.32±0.09^{a+b}	2.00±0.10	0.001±0.00
กระบองเพชรสด 1 g	-	0.87±0.12^{c+d}	1.13±0.12^{c+d}	1.19±0.12^{a+b}	2.29±0.46^{a+b}	2.00±0.57	0.001±0.00
กระบองเพชรสด 2 g	-	1.20±0.17^{a+b}	1.40±0.26^{b+c}	1.02±0.26^{a+b}	2.21±0.14^{a+b}	2.00±0.22	0.001±0.00
กระบองเพชรแห้ง 1 g	+	1.13±0.25^{a+b+c}	0.87±0.25^{d}	1.08±0.25^{a+b}	2.06±0.17^{b}	2.00±0.11	0.001±0.00
กระบองเพชรแห้ง 2 g	-	1.53±0.15^{a}	1.93±0.1^{a}	1.08±0.1^{a}	2.06±0.27^{a+b}	2.00±0.30	0.001±0.00
Control (น้ำกรองผสมผงซักฟอก 1 g)	+	0.73±0.12^{d}	1.43±0.06^{b}	0.86±0.06^{a+b}	2.49±0.20^{a}	2.00±0.36	0.001±0.00
Control (น้ำกรอง)	-	0.97±0.06^{b+c+d}	1.03±0.06^{d}	0.86±0.06^{b}	2.41±0.06^{a+b}	2.00±0.06	0.001±0.00

$^{a, b, c, d}$ ตัวอักษรกำกับค่า Mean ± SE ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$),ชั้นบน = น้ำ, ชั้นล่าง = คลอโรฟอร์ม , เครื่องหมาย - คือ ไม่พบสาร surfactant เครื่องหมาย + คือพบสาร surfactant และ สี* คือ สีม่วงน้ำเงิน

สี methylene blue จะจับกับสารลดตึงผิวที่เป็นขั้วประจุตรงข้ามกัน และผ่านลงไปในชั้นของคลอโรฟอร์ม และยิ่งมีความเข้มข้นของสีน้ำเงินที่ชั้นคลอโรฟอร์มมาก ก็จะเป็นการบ่งชี้ว่ามีสารลดแรงตึงผิวชนิด anionic surfactant ความเข้มข้นสูงอยู่ในตัวอย่างน้ำ และพบว่าการผสมน้ำกับกระบองเพชรสดและผงกระบองเพชรอบแห้งจะมีผลในการดักจับหรือว่าดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้ในระดับนึง โดนเฉพาะในการใช้กระบองเพชรสด ที่เมื่อปล่อยให้เวลาผ่านไป 20 นาทีแล้ว ก็จะไม่เกิดสีน้ำเงินขึ้นในชั้นของคลอโรฟอร์ม ในขณะที่การใช้ผงจะเริ่มเกิดสีน้ำเงินที่ชั้นคลอโรฟอร์มเมื่อเวลาผ่านไป 10-20 นาที และจะค่อยๆเข้มขึ้นเรื่อยๆ ความเปลี่ยนแปลงของปริมาตรและความสูงของชั้นน้ำตัวอย่างและคลอโรฟอร์มนั้น อธิบายได้จากการผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างตัวอย่างน้ำและสารที่สกัดได้จากกระบองเพชรที่จะเพิ่มปริมาตรของชั้นน้ำ และการผงซักฟอกลงไปในตัวอย่างน้ำจะทำให้เกิดชั้นฟองขึ้น เมื่อสี methylene blue จับกับสารลดตึงผิวที่เป็นขั้วประจุตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ค่า COD ในน้ำคลองประเวศบุรีรมย์มีค่าน้อยกว่า ตัวอย่างน้ำที่ใส่กระบองเพชรทั้งแบบสดและแบบแห้ง หรือมากกว่านี้ แต่เมื่อเทียบกับค่า BOD จะพบว่า กระบองเพชรแบบสด 1 กรัม สามารถลดค่า BOD ได้มากที่สุดอยู่ที่ 0.13±0.15 mg/L ซึ่งสามารถลดค่า BOD ได้ดีกว่ากระบองเพชรแบบสด 2 กรัม มีค่า BOD อยู่ที่ 1.63±0.47 mg/L อาจเกิดจากการที่เซลล์มีความเข้มข้นมาก ทำให้เซลล์นำออกซิเจนในน้ำไปใช้

ค่า pH ค่าความขุ่น และปริมาณสารตะกั่วในน้ำ พบว่า ในการตรวจสอบค่า pH หลังจากการบำบัดด้วยกระบองเพชรแบบแห้งสามารถลดค่า pH จาก 7.303±0.05 ลดลงเหลือ 6.203±0.01 ในส่วนของกระบองเพชรแบบสดมีค่า pH เพิ่มขึ้นจากเดิมอยู่ที่ 7.457±0.16 ทั้งนี้อาจเกิดจากที่เซลล์ของสดกระบองเพชรเกิดการสังเคราะห์แสง ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นในทุกๆ ตัวอย่าง ซึ่งเกิดจากเซลล์และสารประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ที่กระจายอยู่ในน้ำ มีค่า 0.28±0.030 ถึง 0.682±0.001 การวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วในน้ำ พบว่า มีค่าน้อยกว่า 25 μg/L น้ำคลองประเวศบุรีรมย์บริเวณที่เก็บตัวอย่างไม่มีสารตะกั่วเกินเกณฑ์แหล่งน้ำธรรมชาติ จึงยังไม่ทราบการลดสารตะกั่วที่ทดสอบด้วยกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus indica* ในส่วนนี้ควรนำไปศึกษาการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียในครั้งถัดไป

จำนวนจุลินทรีย์ในน้ำ เมื่อทดสอบด้วยกระบองเพชรสด 2 กรัม สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด จาก 1936.67±402.78 CFU/ml หลังการบำบัดลดลงเหลือ 786.67±32.14 CFU/ml ตามด้วยการบำบัดด้วยกระบองเพชรแห้ง 2 กรัม กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม และ กระบองเพชรสด 1 กรัม คือ 1,023.33±106.93, 1,263.33±777.19 และ 1,306.67±600.78 CFU/ml ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ค่า COD ควรวัดในวันแรกและเมื่อเวลาผ่านไป 7-14 วัน เผื่อเปรียบเทียบว่าค่า COD เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่หรือมากกว่านั้น
2. การใช้ต้นกระบองเพชรในการบำบัดน้ำเสียทำให้มีความยากต่อการสังเกตสีในขณะที่วัด COD BOD ควรเจืองจางกระบองเพชรเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต
3. การใช้ต้นกระบองเพชรในการบำบัดน้ำเสียทำให้ไม่สามารถวัดการลดลงขอค่าความขุ่นได้
4. ถ้าต้องการวัดความสามารถในการลดสารลดแรงตึงผิวในน้ำคลองให้ทำการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำตัวอย่าง
5. การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ควร นับเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. วิธีปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/publication/4209

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. มาตรฐานคุณภาพนาแห่งประเทศไทย. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html

กรรณิการ์ เมธนาวิน. 2551. การประยุกต์ใช้เทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectrometry วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างสำหรับกำหนดพื้นที่โอกาสเสี่ยงจากสารพิษตามธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี.

การประปาส่วนภูมิภาคสาขานครพนม. 2559. การวัดความขุ่นในน้ำ. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER19/DRAWER099/GENERAL/DATA0000/00000034.PDF.

แก้วกมล มิตรสีดา และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. 2558. การหาปริมาณโลหะเหล็ก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในน้ำเม่าโดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี. วารสารวิจัย มข. (บศ.). 15 (1) : 32-40.

คู่มือการส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. (มปป.). สารลดแรงตึงผิว (Surfactant Screening test). [Online]. เข้าถึงได้จาก

นิตยา เกตุแก้ว ชญางค์ กิตติภาดากุลและกาญจนา บำเพ็ญดี. 2539. การศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวไร้ประจุในน้ำโดยเทคนิคยูวี วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตเมตรี. การประชุมทางวิชาของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขาวิทยาศาสตร์, วิศวกรรมศาสตร์, อุตสาหกรรมเกษตร, คหกรรมศาสตร์, การจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, ศึกษาศาสตร์, สังคมศาสตร์, เศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ 30 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2539. พิมพ์ครั้งที่ 34. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์;กระทรวงเกษตรและสหกรณ์;กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม;ทบวงมหาวิทยาลัย

บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด. 2564. ออกซิเจนในน้ำ. เข้าถึงได้จาก https://www.neonics.co.th/dissolved-oxygen/oxygen-in-water.html#:~:text=1)%20น้ำในธรรมชาติทั่วไป,ต่ำกว่า%203%20mg%2FL

ภัฐชญา สิทธิสร. 2562. การประเมินค่าคุณภาพน้ำของแม่น้ำบางปะกงโดยใช้การวิเคราะห์หลายตัวแปร. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ. มหาวิทยาลัยบูรพา

มยุรี พรหมพุทธา, สมศักดิ์ ทะระถา. 2550. การกำจัดโลหะหนักและสภาพความเป็นกรดของน้ำทิ้งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องปฏิบัติการด้วยเศษหินปูน. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วิกิพีเดีย. 2564. ทรัพยากรน้ำ. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/ทรัพยากรน้ำ

วิชาการเกษตร. 2559. กระบองเพชรพันธุ์ที่ให้ผลรับประทานได้. [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://www.vichakaset.com/กระบองเพชร/

วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์. 2559. บีโอดี (BOD) กับคุณภาพน้ำและมาตรฐานน้ำทิ้ง. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/BOD_water_quality.pdf.

สกล ขุขันธนิ. 2553. การศึกษาประสทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์. ปริญญานิพนธ์กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุพจนา เจริญสิน. 2556. บทปฏิบัติการที่ 6 Determination of heavy metals in sample by flame atomic absorption spectroscopy. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.vettech.ku.ac.th/vtqa/2556/files/8-1-2.pdf

อนงค์ ศรีโสภา. 2546. การพัฒนาวิธีหาปริมาณ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, <g, Mn, Na และ Zn ในดินโดยเทคนิคอินดักทีพลีคัพเพิลพลาสมา ออฟติคอลอิมีสชันสเปกโทรเมตรี. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ราชภัฏพิบูลสงคราม

APHA-AWWA-WEF. 1998. Standard methods for examination of water and wastewaters. 20th ed. Washington, DC, USA: American Public Health Association.

Dkhissi O, Chatoui M, El Hakmaoui A, Abouri M, Kadmi Y, Akssira M and Souabi S. 2020. Valorization of *Opuntia ficus-Indica* pads and steel industry $FeCl_3$-rich rejection for removing surfactant and phenol from oil refinery wastewater through coagulation-flocculation. J Health Pollut.;10(28):201-204.

Fankhauser. 2012. Pour plate technique for bacterial enumeration. [Online]. http://biology.clc.uc.edu/fankhauser/Labs/Microbiology/Meat_Milk/Pour_Plate.htm

Figueirôa, J.A., Novaes, G.U.M., de Souza Gomes, H., de Morais Silva, V.L.M., de Moraes Lucena, D., Lima, L.M.R., de Souza, S.A., Viana, L.G.F.C., Rolim, L.A., da Silva Almeida, J.R.G. and de Oliveira, A.P., 2021. Opuntia ficus-indica is an excellent eco-friendly biosorbent for the removal of chromium in leather industry effluents. Heliyon, 7(6), p.e07292.

Food and Drug Administration. 2001. Bacteriological Analytical Manual (8th ed.). [Online].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/default.htm

SSC OIL LAB. 2563. COD คืออะไรวิธีวิเคราะห์ COD ในน้ำทำอย่างไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://thaitestlab.com/what-is-cod/

Sumit Kumar. 2013. Inductive coupled plasma optical emission spectrometer. [Online]. http://analyticalprofessional.blogspot.com/2013/06/inductive-coupled-plasma-optical.html

The Biofilms Hypertextbook. (2006). Drop plate method for counting biofilm cells – Instructions for students. [Online]. http://biofilmbook.hypertextbookshop.com/v003/r002/contents/appendices/appendix002/pages/page007.html.

Osumex. 2019. Heavy Metals Test General Kit. [Online]. https://osumex.com/product/hmt-general-kit/

Vargas-Solano SV, Rodríguez-González F, Martínez-Velarde R, Morales-García SS and Jonathan MP. 2022. Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using Opuntia ficus-indica mucilage. Environmental Advances. 1;7:100160.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองจริง

ตารางที่ ผ-1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่า COD ทั้งก่อนและหลังบำบัด

ตัวอย่าง	น้ำหนักกระบองเพชร (g)	Repeats			Average	COD
		1	2	3		
น้ำกลั่น	-	2.9	3.7	3.15	3.25	0
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	-	3.6	2.9	3.3	3.27	4.17
กระบองเพชรสด	1	0.5	0.3	0.3	0.37	812.5
	2	0.3	0.4	0.3	0.33	729.2
กระบองเพชรแห้ง	1	0.6	1	0.9	0.83	604.2
	2	1.4	0.9	1	1.10	537.5

คำนวณค่า COD

$$\text{COD (mgออกซิเจน/L)} = \frac{\mathbf{(A-B)\ X\ N\ x\ 8{,}000}}{(\text{ปริมาตร } \mathbf{(ml)} \text{ตัวอย่างที่ใช้})}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของ FAS (N)

แทนค่า น้ำคลองประเวศบุรีรมย์

$$\text{COD (mgออกซิเจน/L)} = \frac{\mathbf{(3.27-3.25)\ X\ 0.078\ x\ 8{,}000}}{\mathbf{2.5}}$$

COD (mgออกซิเจน/L) = 4.17 mg/L

แทนค่า กระบองเพชรสด 1 กรัม

$$\text{COD (mgออกซิเจน/L)} = \frac{\mathbf{(3.25-0.37)\ X\ 0.078\ x\ 8{,}000}}{\mathbf{2.5}}$$

COD (mgออกซิเจน/L) = 812.5 mg/L

แทนค่า กระบองเพชรสด 2 กรัม

$$\text{COD (mgออกซิเจน/L)} = \frac{\mathbf{(3.25-0.33)\ X\ 0.078\ x\ 8{,}000}}{\mathbf{2.5}}$$

COD (mgออกซิเจน/L) = 729.2 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม

$$\text{COD (mgออกซิเจน/L)} = \frac{(3.25-0.83)\ \text{X}\ 0.078\ \text{x}\ 8{,}000}{2.5}$$

COD (mgออกซิเจน/L) = 604.2mg/L

แทนค่า กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม

$$\text{COD (mgออกซิเจน/L)} = \frac{(3.25-1.10)\ \text{X}\ 0.078\ \text{x}\ 8{,}000}{2.5}$$

COD (mgออกซิเจน/L) = 537.5 mg/L

ตารางที่ ผ-2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่า BOD ทั้งก่อนและหลังบำบัด

ตัวอย่าง	DO	Repeats			average	BOD (DO_0-DO_5)
		1	2	3		
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	DO_0	2.03	2.60	2.90	2.51	24.90
	DO_5	1.81	1.73	1.50	1.68	
กระบองเพชรสด 1 g	DO_0	0.40	0.30	0.60	0.43	4.00
	DO_5	0.40	0.20	0.30	0.30	
กระบองเพชรสด 2 g	DO_0	1.5	2.3	2.1	1.97	48.90
	DO_5	0.4	0.3	0.3	0.33	

คำนวณค่า BOD

ค่า BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = (DO_5 – DO_0) x อัตราส่วนการเจือจาง

แทนค่า น้ำคลองประเวศบุรีรมย์

BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = (1.68 – 2.51) x 30

BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = 24.9 mg/L

แทนค่า กระบองเพชรสด 1 g

BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = (0.43 – 0.30) x 30

BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = 4.00 mg/L

แทนค่า กระบองเพชรสด 2 g

BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = (1.97 – 0.33) x30

BOD (มก.ออกซิเจน/ลิตร) = 48.9 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตัวอย่าง	pH			Average
	1	2	3	
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	7.25	7.33	7.33	0.046
กระบองเพชรสด	7.51	7.28	7.58	0.157
กระบองเพชรแห้ง	6.21	6.2	6.2	0.006

ตารางที่ ผ-4 ความสามารถในการกำจัดตะกั่วในน้ำ โดยเทคนิค AAS ด้วยเครื่อง ICP-OES

ตัวอย่าง	ธาตุ	Conc.(μg/L)
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	Pb	ND*
กระบองเพชรสด 2 g	Pb	ND*

*** Not detected เนื่องจากสารตัวอย่างมีความเข้มข้นน้อยกว่า 25 μg/L**

ตารางที่ ผ-5 ตารางแสดงความขุ่นของตัวอย่างน้ำที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

ตัวอย่าง	วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร			Average
	1	2	3	
น้ำกรอง	0	0	0	0
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	0	0	0.001	3E-04
กระบองเพชรสด 1 g	0.252	0.276	0.313	0.28
กระบองเพชรสด 2 g	0.421	0.424	0.423	0.423
กระบองเพชรแห้ง 1 g	0.558	0.555	0.559	0.557
กระบองเพชรแห้ง 2 g	0.683	0.682	0.681	0.682

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-6 แสดงจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการทำการเจือจางลำดับส่วนและที่ได้

ระดับการเจือจาง	ตัวอย่าง	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)			Average
		1	2	3	
10^{-1}	น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ (control)	1800	1620	2390	1936.67
	กระบองเพชรสด 1 กรัม	2000	940	980	1306.67
	กระบองเพชรสด 2 กรัม	800	750	810	786.67
	กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	700	2150	940	1263.33
	กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	1080	1090	900	1023.33
10^{-3}	น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ (control)	1000	0	3000	7333.33
	กระบองเพชรสด 1 กรัม	16000	6000	0	0.00
	กระบองเพชรสด 2 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	0	0	0	0.00
10^{-5}	น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ (control)	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรสด 1 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรสด 2 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	0	0	0	0.00
10^{-7}	น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ (control)	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรสด 1 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรสด 2 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	0	0	0	0.00
	กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	0	0	0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-7 ตารางแสดงผลการสังเกตสี ความสูงและน้ำหนักของชั้นน้ำกับชั้นคลอโรฟอร์ม

ตัวอย่าง			Repeats			Average
			1	2	3	
น้ำคลอง + ผงซักฟอกลงไป 0.2 g	ความสูง (cm)	ชั้นบน	1.2	1	1	1.067
		ชั้นล่าง	0.8	1	1	0.93
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	1	1.17	1.12	1.09
		ชั้นล่าง	2.21	2.37	2.38	2.32
	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		+	+	+	
กระบองเพชรสด 1 g	ความสูง (cm)	ชั้นบน	0.8	0.8	1	0.87
		ชั้นล่าง	1.2	1.2	1	1.13
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	0.88	1.72	0.97	1.19
		ชั้นล่าง	2.83	1.7	2.35	2.29
	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		-	-	-	
กระบองเพชรสด 2 g	ความสูง (cm)	ชั้นบน	1.1	1.4	1.1	1.2
		ชั้นล่าง	1.1	1.5	1.6	1.4
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	1.15	1.04	0.87	1.02
		ชั้นล่าง	2.45	2.13	2.04	2.21
	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		-	-	-	
กระบองเพชรแห้ง 1 g	ความสูง (cm)	ชั้นบน	1.4	1.1	0.9	1.13
		ชั้นล่าง	0.6	0.9	1.1	0.87
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	1.27	0.95	1.03	1.08
		ชั้นล่าง	2.12	1.93	2.12	2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		X	X	X	
กระบองเพชรแห้ง 2 g	ความสูง (cm)	ชั้นบน	1.4	1.2	2.0	1.53
		ชั้นล่าง	2.1	1.5	2.2	1.93
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	1.27	0.95	1.03	1.08
		ชั้นล่าง	2.12	1.93	2.12	2.06
	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		-	-	+	
Control (น้ำกรอง+ผงซักฟอก 1 g)	ความสูง (cm)	ชั้นบน	0.6	0.8	0.8	0.73
		ชั้นล่าง	1.5	1.4	1.4	1.43
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	0.81	0.85	0.92	0.86
		ชั้นล่าง	2.43	2.55	2.49	2.49
	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		+	+	+	
Control (น้ำกรอง)	ความสูง (cm)	ชั้นบน	1	0.9	1	0.97
		ชั้นล่าง	1	1.1	1	1.03
	น้ำหนัก (g)	ชั้นบน	0.81	0.85	0.92	0.86
		ชั้นล่าง	2.49	2.26	2.49	2.49
	ปริมาตร (ml)		2	2	2	2
	ผลจากการสังเกตสี		-	-	-	

*ชั้นบน = น้ำ, ชั้นล่าง = คลอโรฟอร์ม

** - = ไม่พบสาร surfactant, + = พบสาร surfactant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ANOVA

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติค่า COD ก่อนและหลังบำบัดด้วยกระบองเพชรแบบสดและแบบแห้ง ที่ความเข้มข้นต่างกัน (1, 2 g)

ANOVA

COD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1768072.917	4	442018.229	32.012	.000
Within Groups	179505.208	13	13808.093		
Total	1947578.125	17			

COD

Duncan[a,b]

Sample	N	Subset 1	2	3
น้ำกลั่น	3	.0000		
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	3	116.6667		
กระบองเพชรแห้ง 2 g	3		552.5000	
กระบองเพชรแห้ง 1 g	3		619.1667	619.1667
กระบองเพชรสด 1 g	3			735.8333
กระบองเพชรสด 2 g	3			744.1667
Sig.		.061	.260	.056

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 4777.431.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่า BOD ก่อนและหลังบำบัดด้วยกระบองเพชรแบบสดและแบบแห้ง ที่ความเข้มข้นต่างกัน (1, 2 g)

ANOVA

BOD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.381	2	1.690	8.509	.018
Within Groups	1.192	6	.199		
Total	4.573	8			

BOD

Duncana

Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
กระบองเพชรสด 1 g	3	4.0000	
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	3	24.9000	24.9000
กระบองเพชรสด 2 g	3		49.0000
Sig.		.104	.069

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

ANOVA

OD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.037	5	.207	37.033	.000
Within Groups	.067	12	.006		
Total	1.104	17			

OD

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05			
Sample	N	1	2	3	4
น้ำกรอง	3	.0000			
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	3	.1043			
กระบองเพชรสด1 g	3		.2803		
กระบองเพชรสด 2 g	3			.4227	
กระบองเพชรแห้ง 1 g	3				.5573
กระบองเพชรแห้ง 2 g	3				.6820
Sig.		.113	1.000	1.000	.064

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของ pH ก่อนและหลังบำบัดน้ำเสีย

ANOVA

pH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.804	2	1.402	156.960	.000
Within Groups	.054	6	.009		
Total	2.858	8			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pH

Duncan[a]

Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
กระบองเพชรแห้ง	3	6.2033	
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	3		7.3033
กระบองเพชรสด	3		7.4567
Sig.		1.000	.094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการทำการเจือจางลำดับส่วนและที่ได้

ANOVA

จำนวนโคโลนี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2220200.000	4	555050.000	2.435	.116
Within Groups	2279333.333	10	227933.333		
Total	4499533.333	14			

จำนวนโคโลนี

Duncan[a]

Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
กระบองเพชรสด 2 กรัม	3	786.6667	
กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	3	1023.3333	1023.3333
กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	3	1263.3333	1263.3333
กระบองเพชรสด 1 กรัม	3	1306.6667	1306.6667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำคลองประเวศบุรีรมย์	3		1936.6667
Sig.		.242	.054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสารลดแรงตึงผิว

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูงบน	Between Groups	.812	6	.135	5.924	.003
	Within Groups	.320	14	.023		
	Total	1.132	20			
ความสูงล่าง	Between Groups	3.250	6	.542	21.459	.000
	Within Groups	.353	14	.025		
	Total	3.603	20			
น้ำหนักบน	Between Groups	.617	6	.103	1.857	.159
	Within Groups	.776	14	.055		
	Total	1.393	20			
น้ำหนักล่าง	Between Groups	.737	6	.123	1.457	.262
	Within Groups	1.180	14	.084		
	Total	1.916	20			
ความหนาแน่น	Between Groups	.000	6	.000	.	.
	Within Groups	.000	14	.000		
	Total	.000	20			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร	Between Groups	.000	6	.000	.	.
	Within Groups	.000	14	.000		
	Total	.000	20			

ความสูงบน

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05			
ตัวอย่าง	N	1	2	3	4
postive control (น้ำกรองผสมผงซักฟอก 1 กรัม)	3	.7333			
กระบองเพชรสด 1 กรัม	3	.8667	.8667		
negative control (น้ำกรอง)	3	.9667	.9667	.9667	
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ + เติมผงซักฟอกลงไป 0.2 g	3		1.0667	1.0667	
กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	3		1.1333	1.1333	1.1333
กระบองเพชรสด 2 กรัม	3			1.2000	1.2000
กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	3				1.3667
Sig.		.093	.065	.102	.093

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ความสูงล่าง

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05			
ตัวอย่าง	N	1	2	3	4
กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	3	.8667			
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ + เติมผงซักฟอกลงไป 0.2 g	3	.9333			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

negative control (น้ำกรอง)	3	1.0333			
กระบองเพชรสด 1 กรัม	3	1.1333	1.1333		
กระบองเพชรสด 2 กรัม	3		1.4000	1.4000	
postive control (น้ำกรองผสมผงซักฟอก 1 กรัม)	3			1.4333	
กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	3				2.1000
Sig.		.078	.059	.801	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

น้ำหนักบน

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05	
ตัวอย่าง	N	1	2
negative control (น้ำกรอง)	3	.8600	
กระบองเพชรสด 2 กรัม	3	1.0200	1.0200
กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	3	1.0833	1.0833
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ + เติมผงซักฟอกลงไป 0.2 g	3	1.0967	1.0967
กระบองเพชรสด 1 กรัม	3	1.1900	1.1900
postive control (น้ำกรองผสมผงซักฟอก 1 กรัม)	3	1.3100	1.3100
กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	3		1.4167
Sig.		.054	.085

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

น้ำหนักล่าง

Duncan[a]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
กระบองเพชรแห้ง 1 กรัม	3	2.0567	
กระบองเพชรแห้ง 2 กรัม	3	2.1267	2.1267
กระบองเพชรสด 2 กรัม	3	2.2067	2.2067
กระบองเพชรสด 1 กรัม	3	2.2933	2.2933
น้ำคลองประเวศบุรีรมย์ + เติมผงชักฟอกลงไป 0.2 g	3	2.3200	2.3200
negative control (น้ำกรอง)	3	2.4900	2.4900
postive control (น้ำกรองผสมผงชักฟอก 1 กรัม)	3		2.6333
Sig.		.123	.075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

1.กระบองเพชรแบบสดและแบบแห้ง

(ก)

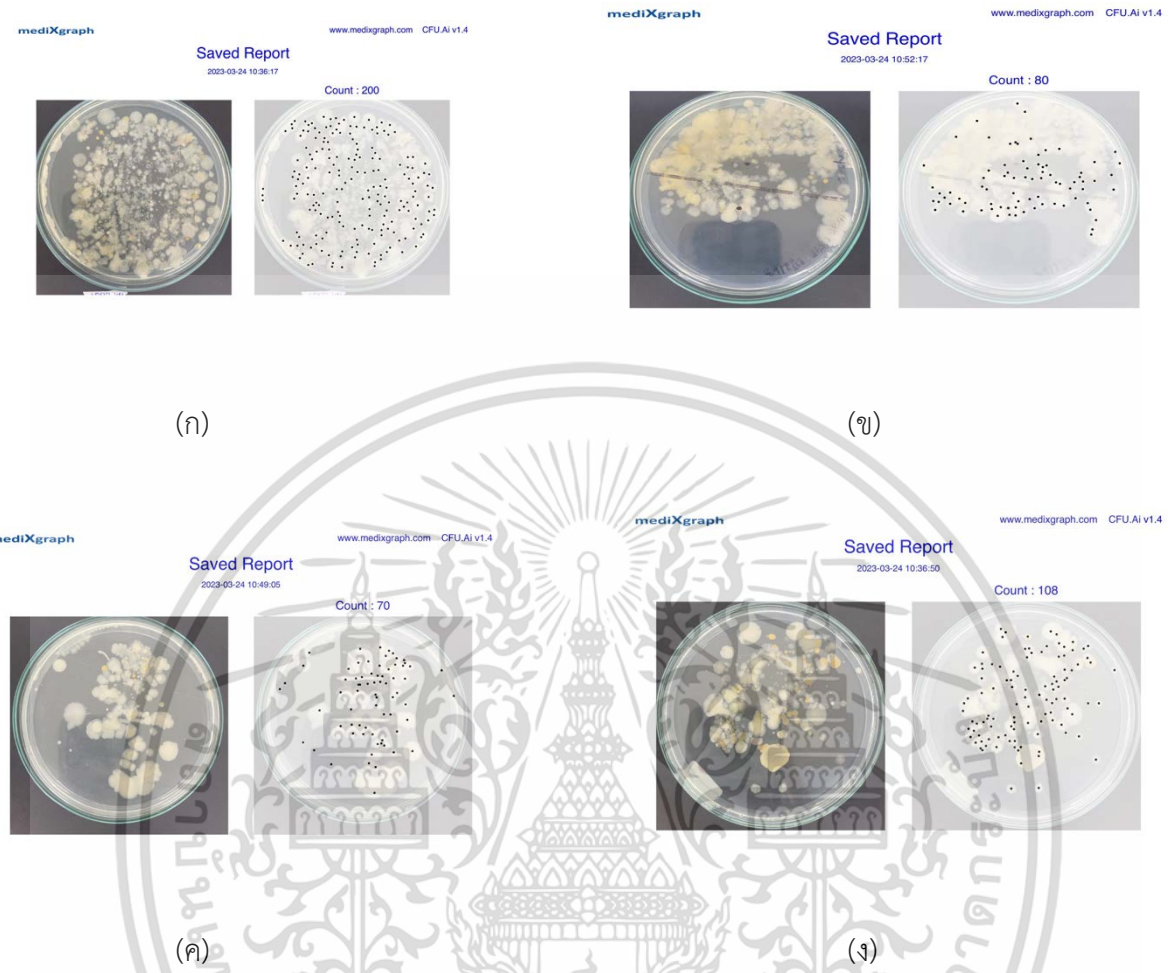
(ข)

รูปที่ ผ-1 กระบองเพชรที่ได้จากการบดสับ **(ก)** ผงกระบองเพชรอบแห้ง **(ข)**

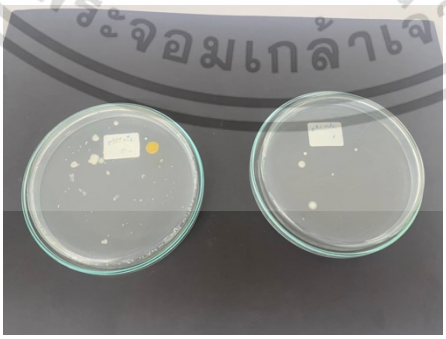
รูปที่ ผ-2 ชิ้นกระบองเพชรที่ตัดให้มีขนาดเล็กลงก่อนนำไปแปรรูปต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ผลการเพาะเลี้ยงเชื้อ 48 ชั่วโมง



รูปที่ ผ-3 (ก) – (ง) ตัวอย่างผลการเพาะเชื้อ total plate count ตัวอย่างน้ำคลอง และนำมานับจำนวนโคโลนีด้วย แอพพลิเคชัน CFU.AI

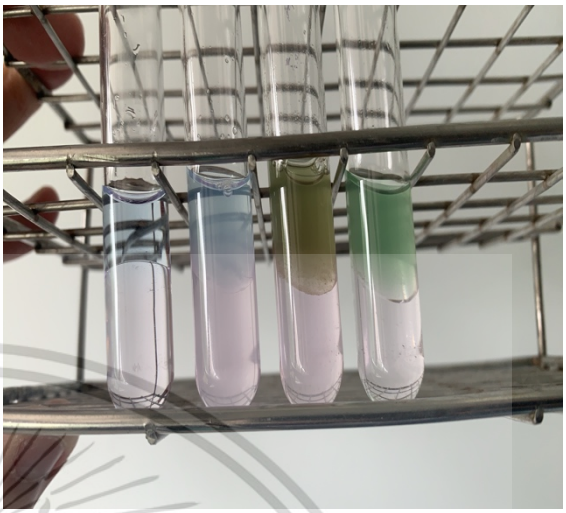


รูปที่ ผ-4 แสดงจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำคลองที่ระดับการเจือจาง 10^-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ผลการทดสอบ screening test เพื่อตรวจหาสารลดแรงตึงผิว

(ก)



(ข)

รูปที่ ผ-5 (ก) แสดงตัวอย่างน้ำผสมผงซักฟอกจะให้ผลเป็นบวก (เกิดสีน้ำเงิน-ม่วง) ที่ชั้นของคลอโรฟอร์มชั้นล่างสุด **(ข)** เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำ screening test โดยเริ่มจากทางซ้ายมือจะเป็น negative control (น้ำกลั่น) , positive control (น้ำผสมผงซักฟอก) , น้ำที่ผ่านการผสมกับกระบองเพชรสด,น้ำที่ผ่านผ่านการผสมกับผงกระบองเพชรตามลำดับ

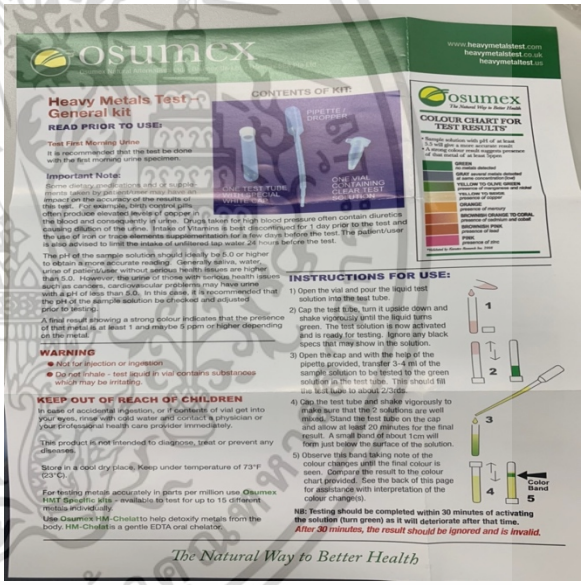
4.การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

รูปที่ ผ-6 การย่อยตัวอย่างน้ำด้วย เตา COD Reactor แบบหลายหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ ผ-7 การย่อยตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริกก่อนนำไปไทเทรตหาค่า BOD **(ก)** ตัวอย่างที่ผ่านการไทเทรตหาค่า BOD แล้ว **(ข)**



(ก) (ข)

รูปที่ ผ-8 ชุดตรวจหาโลหะหนักแบบทั่วไปของ บริษัท Osumex **(ก)** คู่มือการใช้งานชุดตรวจ **(ข)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบฟอร์มการตรวจสอบการคัดลอกผลงานทางวิชาการ

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) ...คุณชัย กานต์ดารณ์...รหัสนักศึกษา..65050544.....

ระดับ (ปริญญาตรี/ปริญญาโท/ปริญญาเอก) สาขาวิชา..เทคโนโลยีชีวภาพ..... ภาควิชา..วิจัยทดลอง.....

คณะ...วิทยาศาสตร์.....

ได้เสนอ

วิทยานิพนธ์	โครงงานพิเศษ	สหกิจศึกษา
การค้นคว้าอิสระ	ปัญหาพิเศษ	เทียบเท่า ระบุ.....
ปริญญานิพนธ์	การศึกษาอิสระ	

หัวข้อเรื่อง

(ไทย)...การวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำคลองประเวศบริเวณพื้นที่ชุมชนโดยใช้ข้อมูลจากสารสกัดจากใบของเชื้อราสายพันธุ์ Opuntia ficus-indica.....

(อังกฤษ)...Examination of water quality indicator in water sample from khlong prawet bauiron with treatment from Opuntia ficus-indica

ได้ตรวจเช็คผลงานวิชาการข้างต้นแล้ว ในภาคเรียนที่...2.....วันที่..30...เดือน..มิถุนายน.....ปี..2566.....

โดยใช้โปรแกรม

☑ อักขราวิสุทธิ์ ☐ TURNITIN

ทั้งนี้ ตรวจสอบพบความเหมือนของเนื้อหา.....2-23.....% โดยอาจารย์ที่ปรึกษายอมรับได้ว่าไม่ได้คัดลอกข้อความที่มีสาระสำคัญจากผลงานของผู้อื่น

ลายมือชื่อนักศึกษา.....คุณชัย กานต์ดารณ์.....

(นาย คุณชัย กานต์ดารณ์)

วันที่..1 กรกฎาคม 2566.....

ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ธนาวดี บุญชัยดี.....

(ธนาวดี บุญชัยดี)

วันที่..1 กรกฎาคม 2566.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 1 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาวนภัสสร บังเกิดฤทธิ์ รหัสประจำตัว 62050503

นายศุภชัย กานต์กรกช รหัสประจำตัว 62050544

นายสุรสีห์ แสนสง่า รหัสประจำ 62050551

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชา ชีววิทยา

ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษเรื่อง

ชื่อภาษาไทย การตรวจสอบค่าบ่งชี้คุณภาพของน้ำคลองประเวศบุรีรมย์ หลังการบำบัดด้วยกระบองเพชรสายพันธุ์ *Opuntia ficus-indica*

ชื่อภาษาอังกฤษ Examination of water quality indicators in water samples from Khlong Prawet Burirom with treatment from *Opuntia ficus-indica* cactus

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 2.23 %

ลงชื่อ.....

(นางสาวนภัสสร บังเกิดฤทธิ์)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....

(นายศุภชัย กานต์กรกช)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....

(นายสุรสีห์ แสนสง่า)

นักศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้