บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่เลือกทำการศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา น้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ และใบแก่ของยางพาราสดพันธุ์ RRIM 600 จากแปลงทดลองของศูนย์วิจัยยางพารา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

2.2.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ได้แก่ ขวดพลาสติกขนาด 240 มิลลิลิตร, ขวดโพลีเอทธิลีนขนาด 1 ลิตร และ แกลลอนพลาสติกขนาด 10, 25 และ 30 ลิตร

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

UV-VIS Spectrophotometer ของ Shimadzu รุ่น 160 A

Refrigerated superspeed centrifuge ของ Beckman รุ่น JA-21

Micropipette ของ Eppendoff

Vortex mixer ของ Sciencetific Industries

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น P1210 ของ Mettler

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น H-10 ของ Mettler

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งของ รุ่น AB 204 ของ Mettler Toledo

เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ของ Wissenschaftlich Technische Werkstatten รุ่น pH 526

ตู้อบความร้อนแห้ง (Hot air oven) ของ Contherm

เครื่องควบแน่น (Condenser) ของ Gerhardt

เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (Magnetic stirrer) และเตาไฟฟ้า (Hot plate) ของ Framo-Ger™tetechik รุ่น M 21/1

เครื่องปั๊มดูดอากาศ (Suction pump)

เตาชนิด Heating mantle

ชุดกรองบุคเนอร์ (Buchner filter)

โถทำแห้ง (Desiccator)

อุปกรณ์รีฟลักซ์ (Reflux apparatus)

เครื่องผลิตโอโซนของบริษัท กรีนแพลนเนท 108 คอร์เปอเรชั่น จำกัด รุ่นWAO-2501

กระดาษกรอง GF / C ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร

2.3 อุปกรณ์สำหรับใช้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar Tester) ของ PHIPPS&BIRD รุ่น PB-700

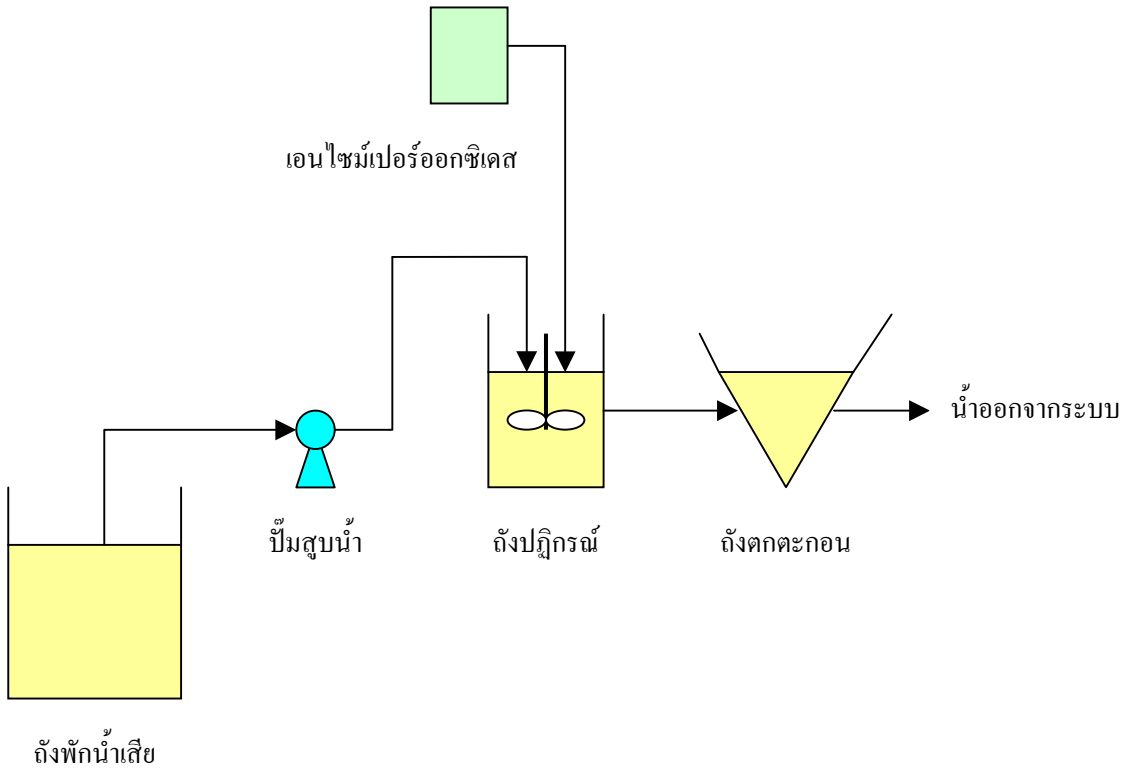
ถังพักน้ำเสีย ถังที่ใช้เป็นถังพลาสติกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 56.8 เซนติเมตร สูง 86.8 เซนติเมตร มีท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ยาว 133 เซนติเมตร ต่อจากปั๊มสูบน้ำที่ก้นถังพักน้ำเสีย และต่อข้อต่อโค้งกับ PVC ที่มีประตูน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว โดยปรับวาล์วให้อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ลงสู่ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ ถังที่ใช้เป็นถังพลาสติกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 27.4 เซนติเมตร ด้านล่างมีก๊อกน้ำเพื่อให้น้ำไหลลงยังถังตกตะกอนด้วยอัตราการไหล 20 ลิตรต่อชั่วโมง ภายในถังมีแท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic bar) ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร

ถังตกตะกอน ถังที่ใช้เป็นถังพลาสติกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 เซนติเมตร สูง 60.3 เซนติเมตร ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดจำนวน 3 แผ่น กั้นเป็นแผ่นกั้นขวาง (buffle walls) วางสลับกันแบบไหลขึ้นลงไปมา มีเวลาเก็บกัก 3 ชั่วโมง บริเวณทางน้ำไหลเข้าออก และมีเวียร์น้ำล้นทำด้วยท่อ PVC ต่อออกจากถังที่ความสูงของระดับน้ำที่มีปริมาตร 60 ลิตร

ปั๊มสูบน้ำ (Submersible pump) ของ บริษัท Shen Zhen Xingrisheng Industry Co., Ltd. รุ่น SP-2500

ชุดขวดให้น้ำเกลือ



ภาพประกอบ 5 ไดอะแกรมของระบบบำบัดแบบต่อเนื่อง

2.4 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองจัดอยู่ในเกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) ดังรายการต่อไปนี้

Tris [hydroxymethyl] aminomethane ($C_4H_{11}NO_3$)

Ethylenediaminetetracetic acid Disodium salt Dihydrate ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 .2\ H_2O$)

Sodium carbonate anhydrous (Na_2CO_3)

Sodium hydroxide pellets (NaOH)

Cupric sulfate Pentahydrate ($CuSO_4 .5\ H_2O$)

Sodium potassium tartrate

Bovine Serum Albumin (BSA)

o-dianisidine

Sodium acetate ($CH_3COONa .3\ H_2O$)

Acetic acid (CH_3COOH)

Ammonia (NH_3)

Ammonium chloride (NH_4Cl)

4-Aminoantipyrine ($C_{11}H_{13}ON_3$)

Tripotassium Hexacyanoferate ($K_3Fe(CN)_6$)

Sulfuric acid (H_2SO_4)

Folin-Ciocalteu's phenol reagent

Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$)

Mercury sulfate ($HgSO_4$)

Silver sulfate (Ag_2SO_4)

1,10 Phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2.H_2O$)

Crystallised Cobaltous Chloride ($CoCl_2.6\ H_2O$)

Ferrous ammonium sulfate ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6\ H_2O$)

Potassium chloroplatinate (K_2PtCl_6)

Ferrous sulfate heptahydrate ($FeSO_4.7\ H_2O$)

Potassium hydrogen phthalate ($HOOCC_6H_4COOK$)

Phenol (C_6H_5OH)

Hydrogenperoxide (H_2O_2)

2.5 วิธีการทดลอง

2.5.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากใบยางพาราสด

นำใบยางพาราสดพันธุ์ RRIM 600 ที่แก่มาล้างด้วยน้ำสะอาด ตัดส่วนที่เป็นก้านใบทิ้ง ชั่งน้ำหนักประมาณ 100 กรัม นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เติมบัฟเฟอร์ (0.1 M Tris-HCl pH 7.5) แช่เย็นปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วปั่นในโถปั่น นำสารละลายที่ได้กรองผ่านผ้ากรอส จากนั้นเซนตริฟิวจ์ (centrifuge) สารละลายด้วยความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ส่วนที่เป็นกากทิ้งไป วัดปริมาตรส่วนใส แล้วนำสารสกัดหยาบใบยางพาราไปหาปริมาณโปรตีนและความว่องไวของเอนไซม์ เพื่อศึกษาหาปริมาณเปอร์ออกซิเดสในใบยางพาราแล้วเก็บใส่ขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไปดังภาพประกอบ 6

ภาพประกอบ 6 สารสกัดเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่สกัดได้จากใบยางพารา

2.5.2 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยเก็บตัวอย่างน้ำแบบการจ้วง (grab sampling) และเก็บตัวอย่างน้ำโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งก่อนและหลังการบำบัด

2.5.3 การบำบัดน้ำ

ศึกษาวิธีการบำบัดโดยเตรียมสารสกัดหยาบของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากใบยางพารา หาปริมาณความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แล้วนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่อง พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด เช่น ปริมาณของเอนไซม์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ระยะเวลา รวมทั้งการตกตะกอนโดยพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอลด้วย

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งแล้วจึงใช้สภาวะนั้นเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในการบำบัดน้ำทิ้งแบบต่อเนื่องด้วยระบบ Continuous Stirred Tank Reactor

ในการบำบัดน้ำทิ้งแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการบำบัดน้ำทิ้งแบบไม่ต่อเนื่องโดยการทำจาร์เทสต์

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการบำบัดน้ำทิ้งแบบต่อเนื่องด้วยระบบ CSTR

2.5.3.1 การบำบัดน้ำทิ้งแบบไม่ต่อเนื่องโดยการทำจาร์เทสต์

นำสารสกัดหยาบไปทำการทดสอบในการบำบัดน้ำทิ้งโดยการทำจาร์เทสต์ดังภาพประกอบ 7 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำ Jar Test ซึ่งเป็นเครื่องกวนขนาดเล็กประมาณ 6 หน่วยเรียงกัน มีที่ควบคุมความเร็วร่วมกัน สามารถปรับความเร็วในการหมุนได้ถึงกว่า 100 รอบต่อนาที โดยนำตัวอย่างน้ำใส่ในภาชนะแต่ละใบ แล้วนำเข้าเครื่องกวนผสม (Jar Tester) ที่ปรับความเร็วในการกวนผสมให้เท่ากันภายในระยะเวลาเดียวกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำทิ้งในสภาวะต่างๆจากการเติมสารในปริมาณต่างๆกัน โดยให้ปัจจัยอื่นๆคงที่หรืออยู่ในสภาวะเดียวกัน

ภาพประกอบ 7 เครื่องมือที่ใช้ในการทำ Jar Test

การศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโดยการทำจาร์เทสต์นั้น แบ่งการศึกษาน้ำเสียเป็น 3 ประเภท คือ

ก. น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ข. น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

ค. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ

แล้วทำการบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำเสียที่บำบัดโดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ น้ำเสียที่บำบัดโดยใช้โอโซนร่วมกับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ก. น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

(1) ผลของปริมาณเปอร์ออกซิเดสในการบำบัดน้ำเสีย

นำน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร 6 ใบ แล้วนำเข้าเครื่องจาร์เทสต์ เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 0.04 หน่วยต่อมิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในปริมาณต่างๆกันตั้งแต่ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0, 1.33×10^{-2}, 2.65×10^{-2},1.33×10^{-1}, 2.65×10^{-1}และ 5.30×10^{-1} หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ) และไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นเปิดเครื่องจาร์เทสต์ กวนผสมด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที 15 นาที หลังจากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

(2) ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร 6 ใบ แล้วนำเข้าเครื่องจาร์เทสต์ เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 0.04 หน่วยต่อมิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 2.65×10^{-2} หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) และไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นเปิดเครื่องจาร์เทสต์ กวนผสมด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลาต่างๆกันตั้งแต่ 5, 10, 30, 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ

ทำการทดลองชุดควบคุมอีก 1 ชุด โดยนำน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร 1 ใบ เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลงในบีกเกอร์ ในอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอล2.65×10^{-2} หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล แต่ไม่กวนผสม ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

(3) ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตรมาทำ Serial Dilution เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลต่างๆ

กัน คือ 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 เท่าของความเข้มข้นเดิม จากนั้นนำน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นดังกล่าวปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 1 ใบ แล้วนำบีกเกอร์ทั้ง 4 ใบ เข้าเครื่องจาร์เทสต์ เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 0.04 หน่วยต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 1 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 5.30×10^{-2}, 1.06×10^{-1}, 2.12×10^{-1} และ 4.25×10^{-1} หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ) ลงในบีกเกอร์แต่ละใบทั้ง 4 ใบ โดยไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วเปิดเครื่องจาร์เทสต์ กวนผสมด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (เนื่องจากการทดลองในข้อ (2) ไม่ได้ทำการบำบัดที่เวลา 15 นาที ดังนั้นขณะบันทึกผลจึงขาดผลการบำบัดที่เวลา ดังกล่าว และที่เวลา 5 นาที พบว่าให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด) จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

(4) ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร 4 ใบ แล้วนำบีกเกอร์ทั้งหมดเข้าเครื่องจาร์เทสต์ เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลงในบีกเกอร์ใบละ 1 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 2.65×10^{-2} หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) แล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆกันตั้งแต่ 0, 3, 15 และ 30% ตามลำดับ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดเครื่องจาร์เทสต์ กวนผสมด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

(5) ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมโอโซน

นำน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วผ่านก๊าซโอโซนจาก เครื่องผลิตโอโซนรุ่น WAO-2501 ลงในน้ำทิ้งด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลาต่างๆกันตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 30 นาที ตามลำดับ จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

(6) ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมโอโซน

นำน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำให้เจือจางเป็น 0.754, 0.377, 0.188 และ 0.094 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นดังกล่าวปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร มาผ่านก๊าซโอโซนลงในน้ำทิ้งด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที ทำการบำบัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

(7) ผลของปริมาณเปอร์ออกซิเดสที่ใช้ร่วมกับโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

เลือกนำน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 0.04 หน่วยต่อมิลลิลิตร ในปริมาณต่างๆกัน คือ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0, 1.33×10^{-2}, 2.65×10^{-2},1.33×10^{-1}, 2.65×10^{-1} และ 5.30×10^{-1} หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่ยังใช้เปอร์ออกซิเดสในปริมาณต่างๆกันอีกแม้ว่าเมื่อใช้เปอร์ออกซิเดสมากกว่า 1 มิลลิลิตร จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นเพราะต้องการศึกษาปริมาณเปอร์ออกซิเดสที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับการเติมโอโซน) และไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มาผ่านก๊าซโอโซนลงในน้ำทิ้งด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที ทำการบำบัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

ข. น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

(1) ผลของปริมาณเปอร์ออกซิเดสในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลรวม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (สาเหตุที่ไม่เตรียมให้มีความเข้มข้น 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตรเนื่องจากต้องการศึกษาช่วงความสามารถในการบำบัดโดยเปอร์ออกซิเดสว่ามีมากน้อยเพียงใด รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดเมื่อองค์ประกอบของน้ำเสียเปลี่ยนไป) ปริมาตรทั้งหมด 18 ลิตร โดยผสมน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 1.508 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 ลิตร กับสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 165 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7.835 ลิตร นำน้ำเสียที่เตรียมได้ดังกล่าวปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดด้วย

การเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในปริมาณต่างๆกันตั้งแต่ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0, 0.004, 0.008, 0.04, 0.08, และ 0.16 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ) โดยไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กวนด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

(2) ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มาบำบัดโดยเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 5 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ (ทั้ง 6 ใบ) และไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วกวนด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 5, 10, 30, 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ เทียบกับ ชุดควบคุมอีกชุดที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวปริมาณ 500 มิลลิลิตร เติมเปอร์ออกซิเดสในอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล เพียงอย่างเดียว แต่ไม่กวนผสม ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง

(3) ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0.625 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร มาบำบัดโดยเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในอัตราส่วนเอนไซม์ต่อฟีนอล 0.04, 0.08, 0.16, 0.32 และ 0.64 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ เพียงอย่างเดียว แล้วกวนผสมในเครื่องจาร์เทสต์ด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที (เนื่องจากขณะทำการการวิจัยไม่แน่ใจว่าที่เวลา 30 นาที จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดเพราะระยะเวลาอื่นๆในการบำบัดล้วนให้ค่าประสิทธิภาพติดลบ ดังนั้นจึงเลือกค่าประสิทธิภาพที่ติดลบน้อยที่สุด คือ 60 นาที)

(4) ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 5 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) และไฮโดรเจน

เปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0, 3, 15 และ 30% ตามลำดับ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

(5) ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

เตรียมน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลรวม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยผ่านก๊าซโอโซนด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ

(6) ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

นำน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0.625 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาร 500 มิลลิลิตร มาผ่านก๊าซโอโซนด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(7) ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ใช้ร่วมกับโอโซนในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร มาบำบัดแล้วผ่านก๊าซโอโซนด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที โดยเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพียงอย่างเดียวในปริมาณต่างๆกัน คือ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0, 0.004, 0.008, 0.04, 0.08 และ 0.16 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ค. น้ำเสียสังเคราะห์

(1) ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรทั้งหมด 18 ลิตร โดยผสมสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 180 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 17.82 ลิตร นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ดังกล่าวปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยการเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในปริมาณต่างๆกันตั้งแต่ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20

มิลลิลิตร ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0, 0.004, 0.008, 0.04, 0.08 และ 0.16 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ) กวนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

(2) ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปบำบัดด้วยการเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 5 มิลลิลิตร โดยไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) กวนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลาต่างๆกันตั้งแต่ 5, 10, 30, 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ เทียบกับชุดควบคุมอีก 1 ชุด ที่ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวปริมาณ 500 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพียงอย่างเดียวในอัตราส่วนเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล แต่ไม่กวน ตั้งไว้ 3 ชั่วโมง

(3) ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอล 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0.625 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยเติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 5 มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04, 0.08, 0.16, 0.32 และ 0.64 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ) กวนด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

(4) ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 5 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสต่อฟีนอลเท่ากับ 0.04 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล) และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆกันตั้งแต่ 0, 3, 15 และ 30% ตามลำดับ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร กวนด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

(5) ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยผ่านก๊าซโอโซนด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ

(6) ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

นำน้ำสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอล 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0.625 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ไปบำบัดโดยผ่านก๊าซโอโซนด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที

(7) ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ใช้ร่วมกับโอโซนในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (คิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อฟีนอลเท่ากับ 0, 0.004, 0.008, 0.04, 0.08 และ 0.16 หน่วยต่อมิลลิกรัมฟีนอล ตามลำดับ) จากนั้นผ่านก๊าซโอโซนด้วยอัตราเร็ว 4 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที

2.5.3.2 การบำบัดน้ำทิ้งแบบต่อเนื่องด้วยระบบ CSTR

ก. เทน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มลงในถังพักน้ำเสีย สูบน้ำทิ้งและปรับวาล์วประตูน้ำให้น้ำไหลสู่ถังปฏิกรณ์ในอัตรา 20 ลิตรต่อชั่วโมง

ข. วางถังปฏิกรณ์บนเครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) นำแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร วางที่ก้นถังปฏิกรณ์ จากนั้นเทน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มลงในถังปฏิกรณ์ 5 ลิตร ปรับวาล์วของก๊อกน้ำให้น้ำไหลลงสู่ถังตกตะกอนด้วยอัตราการไหล 20 ลิตรต่อชั่วโมง เปิดเครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก และปรับความเร็วรอบในการกวนผสมประมาณ 150 รอบต่อนาที ปรับอัตราการไหลของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่อยู่ในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร ให้หยดลงในถังปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

ค. เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดซึ่งไหลล้นออกจากเวียร์น้ำล้นจากถังตกตะกอนหลังจากเริ่มเดินระบบทุก 15 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองและคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอลของระบบ

สำหรับตัวแปรของดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์แสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ตัวแปรของดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์

ตัวแปรของดัชนีคุณภาพน้ำ	**วิธีการวิเคราะห์**
พีเอช	Electrometric Method (ใช้ pH meter)
อุณหภูมิ	Thermometer
สี	Visual Comparison Method
สารประกอบฟีนอล	Spectrophotometric Method
ซีโอดี	Closed Reflux Method, Titrimetric Method
ของแข็งแขวนลอย	Gravimetric Method
ของแข็งละลายน้ำ	Gravimetric Method
ของแข็งทั้งหมด	Gravimetric Method

ที่มา : APHA, AWWA and WEF (1995); ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์ (2540); มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2540)