บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ บริษัทสยามเซลลูโลส จำกัด ตำบลวังศาลา อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง แสดงดังรูป 3.1 โดยในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการทดลองในขวดเขย่า ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากบ่อรวบรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด ในการเก็บน้ำเสียนี้ทำการเก็บในปริมาณมาก แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4 ^{0}ซ เพื่อป้องกันไม่ให้คุณภาพของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง ก่อนนำมาใช้ในการทดลองจะต้องนำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เป็นอุณหภูมิห้อง และต้องเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน ส่วนที่ 2 คือ การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด ได้ติดตั้งชุดอุปกรณ์และทำการทดลองที่แผนกงานควบคุมสิ่งแวดล้อม บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด (มหาชน) ตำบลวังศาลา อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการเก็บน้ำเสียทุกวันทำการทดลองและต้องตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนเพราะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60 ^{0}ซ

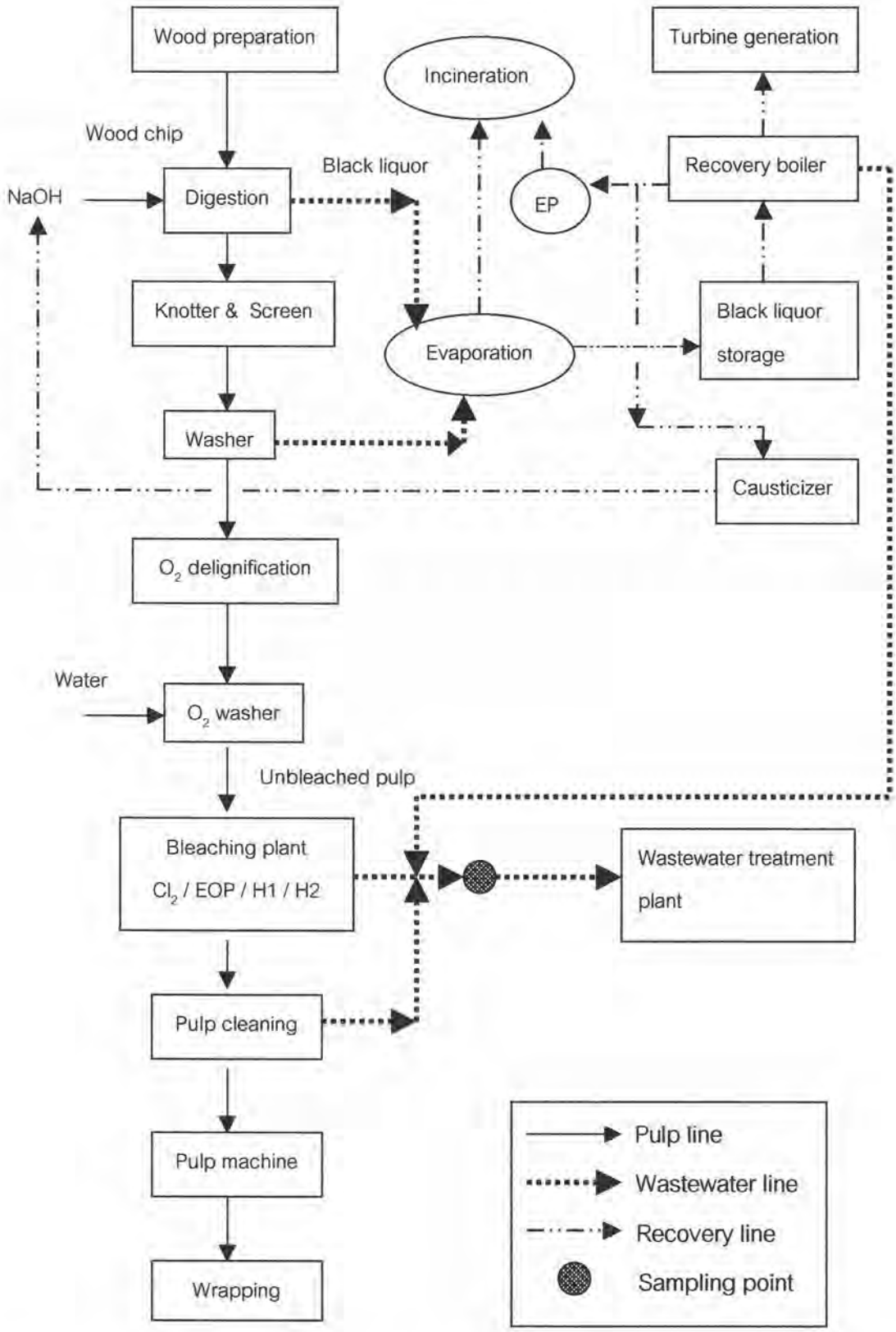
3.2 เชื้อจุลินทรีย์และการเก็บรักษา

3.2.1 เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อรา สายพันธุ์ *Phanerrochaete chrysosporium* ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 การเก็บรักษา

ถ่ายเชื้อโดยใช้เข็มเขี่ยเชื้อ แล้ววางลงบนอาหารแข็งลาดเอียงสูตร Potato dextrose agar บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ^{0}ซ เป็นเวลา 5 วัน เมื่อเชื้อเจริญเติบโตดีแล้ว จึงนำไปเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ^{0}ซ



รูป 3.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษของ บริษัท สยาม เซลลูโลส จำกัด

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 สารเคมีสำหรับเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. น้ำตาลกลูโคส (D (+) - Glucose anhydrous) ของบริษัท Fluka
2. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ของบริษัท BDH Laboratory
3. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($MgSO_4.7H_2O$) ของบริษัท Carlo Erba
4. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ของบริษัท E. Merck
5. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ของบริษัท Fluka
6. ไทเอมีน (Thiamine, Vitamin B_1 hydrochloride) ของบริษัท Fluka
7. PDA (Potato dextrose agar) ของบริษัท Difco Laboratory
8. PDB (Potato dextrose broth) ของบริษัท Difco Laboratory
9. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl acid) ของบริษัท E. Merck
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ของบริษัท Ajax chemical

3.3.2 สารเคมีอื่นๆ

1. โซเดียมอัลจิเนต (Alginic acid sodium salt from brown algae) ของบริษัท Fluka
2. ทวีน 80 (Tween 80) ของบริษัท Fluka

3.3.3 น้ำกลั่น

น้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำกลั่นที่ผ่านกระบวนการกลั่น 1 ครั้ง

3.4 อุปกรณ์และครุภัณฑ์

3.4.1 เครื่องเขย่าแบบธรรมดา ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ ของบริษัท Ta Chang Medical Instrument Factory Taiching Taiwan R.O.C

3.4.3 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบปรับความเย็น Servall refrigerated-automatic ของ บริษัท Ivan Servall, INC.Norwalk, Connecticut U.S.A

3.4.4 ตู้เขี่ยเชื้อแบบมี UV

3.4.5 เครื่องชั่งละเอียด รุ่น U-4600P ของบริษัท Scientific Promotion Co.,Ltd.

3.4.4 pH meter model 40 YA Orion Research Incoorperated Edison N.J. U.S.A.

3.4.5 Spectrophotometer model – 3v15068003 ของบริษัท Milton Roy Company

3.4.8 Peristaltic pump

3.5 อุปกรณ์การทดลอง

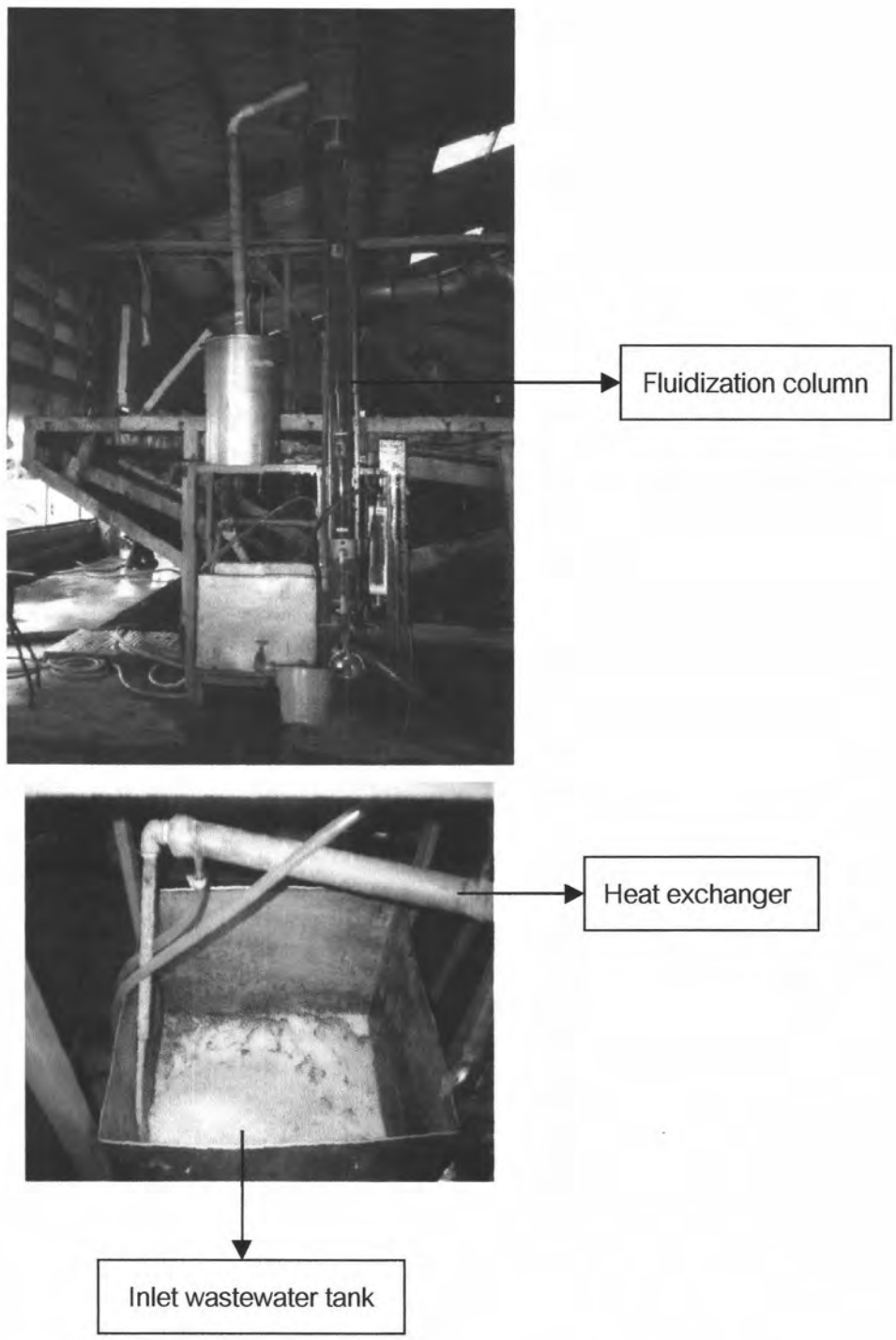
3.5.1 ในระดับขวดเขย่า

ในการทำการทดลองในระดับขวดเขย่านี้ จะทำการทดลองในขวดเออร์เลนเมเยอร์ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้น้ำเสียในการทดลองขวดละ 50 มิลลิลิตร

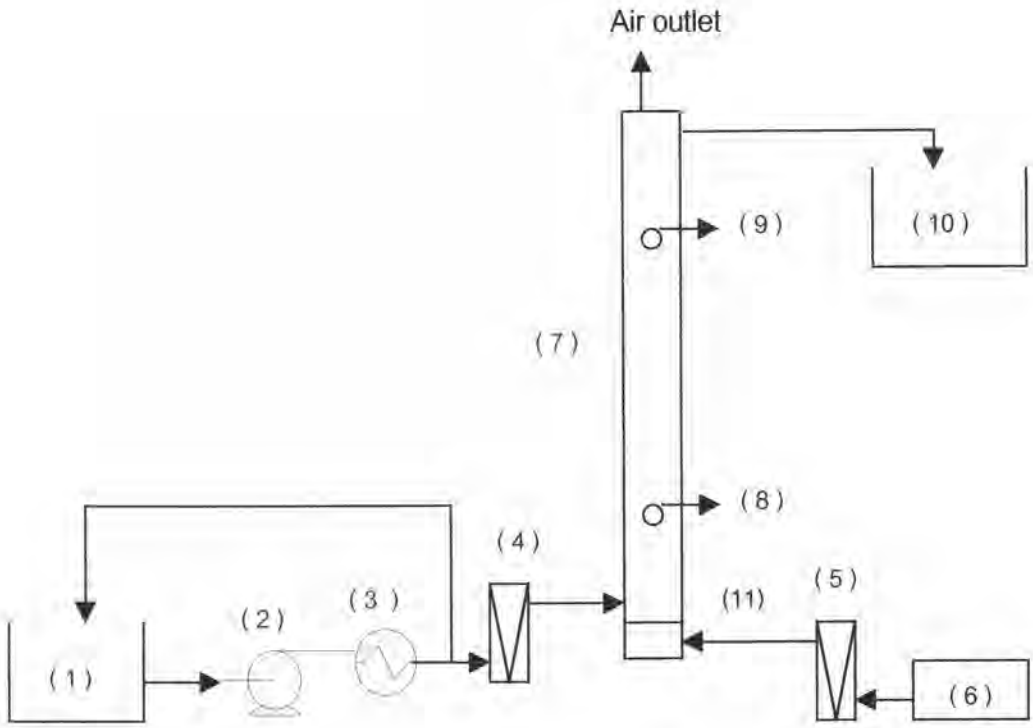
3.5.2 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด

รูปเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด แสดงดังรูป 3.2

แผนผังการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด ได้แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยระบบบำบัดประกอบด้วยคอลัมน์พลาสติก Acrylic ใส ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร ซึ่งจะมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำ 2 จุด จุดแรกอยู่สูงจากตัวกระจายอากาศ 50 เซนติเมตร จุดที่ 2 สูง 145 เซนติเมตร ด้านล่างของคอลัมน์จะบรรจุตัวกระจายอากาศ (Distributor) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ซึ่งจะมีการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air rotameter) เข้าทางด้านล่างคอลัมน์ผ่านตัวกระจายอากาศนี้ โดยที่ตัวกระจายอากาศยังทำหน้าที่เป็นตะแกรงรองรับเม็ดเซลล์ตรึงด้วย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะถูกเก็บไว้ในถังสแตนเลส ขนาด 60 ลิตร ซึ่งในการทดลองจะใช้น้ำเสียประมาณ 50 ลิตร เทลงในถังเก็บน้ำเสีย จากนั้นสูบน้ำเสียเข้าคอลัมน์ด้วยเครื่องสูบ (Pump) ผ่านเครื่องสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) แล้วผ่านเข้าเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Water rotameter) เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ซึ่งอยู่เหนือตัวกระจายอากาศเล็กน้อย ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของคอลัมน์เข้าสู่ถังสแตนเลสขนาด 60 ลิตร ที่ใช้เป็นถังสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว จุดเก็บตัวอย่างน้ำจะมีด้วยกัน 4 จุด คือ ก่อนเข้าระบบที่จุด (1) , ที่จุดเก็บบนคอลัมน์ 2 จุดคือ จุดที่ (8)และ จุดที่ (9) และออกจากระบบที่จุด (10) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียครั้งละประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มของสี , ค่าบีโอดี และค่าซีโอดี



รูป 3.2 ชุดอุปกรณ์เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด



(1) Inlet wastewater tank (sampling point # 1)
(2) Feed wastewater pump
(3) Heat exchanger
(4) Water flowmeter
(5) Air flowmeter
(6) Air compressor
(7) Fluidization column
(8) Sampling point # 2
(9) Sampling point # 3
(10) Outlet wastewater tank (Sampling point # 4)
(11) Distributor

รูป 3.3 แผนผังอุปกรณ์การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด

3.6 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อรา *Phanerochaete chrysosporium*

3.6.1.1) การเตรียมเซลล์แขวนลอยของเชื้อรา (Cell suspension)

เลี้ยงเชื้อราบนอาหารแข็งลาดเอียง (Potato dextrose agar slant) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน เมื่อเชื้อราเจริญเติบโตแล้วนำมาทำเซลล์แขวนลอยด้วยการเติม TWEEN 80 เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตรหลอดละ 5.0 มิลลิลิตร นับ

จำนวนสปอร์ของเชื้อราในเซลล์แขวนลอยให้มีค่า 1.5 x 10^7 สปอร์ / มิลลิลิตรของเซลล์แขวนลอย โดยใช้ Heamacytometer

3.6.1.2) ศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราเปรียบเทียบกันระหว่างอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ 2 ชนิด คือ Potato dextrose broth และ Synthetic growth medium (ภาคผนวก ก)

ปิเปตเซลล์แขวนลอยของเชื้อราซึ่งเตรียมได้ในข้อ 3.6.1.1 ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ลงในอาหารสำหรับการเจริญเติบโต Potato dextrose broth และ Synthetic growth medium (ภาคผนวก ก) ปริมาตร 99 มิลลิลิตร ในขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ หรือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}ซ ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที บ่มเชื้อบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 10 วัน ทำการแยกเม็ดเส้นใยของเชื้อราออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแยก ใช้ความเร็ว 3,000 รอบ / นาที เป็นเวลา 15 นาที ล้างเซลล์ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีพีเอชเท่ากับ 7.0 ทำการล้าง 3 ครั้ง ติดตามลักษณะการเจริญโดยการหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ด้วยการนำเซลล์ที่ผ่านการล้างแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 80^{0}ซ นาน 24 ชั่วโมง ในตู้อบ นำค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างและน้ำหนักเซลล์แห้งจะได้กราฟการเจริญของเชื้อรา

3.6.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

ในการทดลองในระดับขวดเขย่า จะเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากบ่อรวบรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด ในการเก็บน้ำเสียนี้จะทำการเก็บในปริมาณมาก แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4^{0}ซ เพื่อป้องกันไม่ให้คุณภาพของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง ก่อนนำมาใช้ในการทดลองจะต้องนำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เป็นอุณหภูมิห้อง และต้องเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน โดยจะต้องวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลอง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์ แสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลอง

Parameter	Measurement Method
COD	Close reflux method (APHA, AWWA, and WEF.,18th ed.1992)
BOD_5	Standard method (APHA, AWWA, and WEF.,18th ed.1992)
TSS	Standard method (APHA, AWWA, and WEF.,18th ed.1992)
TDS	Standard method (APHA, AWWA, and WEF.,18th ed.1992)
pH	pH meter
Color	Spectrophotometer (NCASI Standard, 1971)

3.6.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการลดสีของน้ำเสียโดยการใช้เซลล์ตรึง *P.chrysosporium* ในระดับขวดเขย่า

3.6.3.1) การศึกษาประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำเสียโดยใช้เซลล์ตรึง *P.chrysosporium* เปรียบเทียบกับเมื่อไม่ใช้เซลล์ตรึง ในระดับขวดเขย่า

จากการเลี้ยงเชื้อ *P. chrysosporium* เพื่อการเจริญเติบโต นำมาปั่นแยกเซลล์ด้วยเครื่องปั่นแยก ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4° ซ เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนที่เป็นน้ำใสทิ้ง แล้วล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 2 ครั้ง นำมาทำการตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนต โดยการผสมเซลล์เชื้อรา (น้ำหนักเซลล์เปียก) กับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 1 ลิตร ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}ซ ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที แล้วหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยใช้ Peristatic pump เพื่อให้ต่อเนื่อง ทำที่อุณหภูมิห้อง และกวนเบาๆตลอดเวลา แล้วแช่เม็ดเซลล์ตรึงต่อไปอีก 2 ชั่วโมง ล้างเม็ดเซลล์ตรึงด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ถ้ายังไม่ได้ใช้งานควร เก็บเม็ดเซลล์ตรึงไว้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ และเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4^{0}ซ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสีย เปรียบเทียบกันระหว่างเมื่อมีการใช้และไม่ใช้เซลล์ตรึง ทำการทดลองโดยใช้เส้นใยของเชื้อรา *P. chrysosporium* 12 กรัม (น้ำหนักเซลล์เปียก) ต่อสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 1 ลิตร ในการตรึงเซลล์ นำเม็ดเซลล์ตรึง ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไปเลี้ยงใน

อาหารสำหรับการสร้างเอนไซม์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร(ภาคผนวก ก) ในขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4.5 บ่มเชื้อบนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน เมื่อครบ 4 วัน เติมน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงไป ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำตัวอย่างน้ำมาแยกเอาเม็ดเซลล์ตรึงออกและนำน้ำไปวิเคราะห์ความเข้มของสี (ภาคผนวก ข) ที่ 3, 6, 9, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ส่วนการทดลองเมื่อไม่มีการใช้เซลล์ตรึง ทำได้โดยใช้เม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนตที่ไม่ได้ผสมเซลล์เชื้อรา ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

3.6.3.2) **การศึกษาอัตราส่วนของเซลล์เชื้อรา *P.chrysosporium* ต่อแคลเซียมอัลจิเนตที่เหมาะสมในการตรึงเซลล์เพื่อใช้ในการลดสีของน้ำเสีย ในระดับขวดเขย่า**

ในการหาอัตราส่วนของเซลล์ต่อแคลเซียมอัลจิเนตที่เหมาะสมในการตรึงเซลล์เพื่อใช้ในการลดสีของน้ำเสีย ได้ทดลองที่น้ำหนักเซลล์เปียก 3, 6 และ 12 กรัมต่อสารละลายโซเดียมอัลจิเนต 1 ลิตร นำเม็ดเซลล์ตรึงที่ได้ไปเลี้ยงในอาหารสำหรับการสร้างเอนไซม์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ภาคผนวก ก) ปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.5 บ่มเชื้อบนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน เมื่อครบ 4 วัน เติมน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไป ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำตัวอย่างน้ำมาแยกเอาเม็ดเซลล์ตรึงออกและนำน้ำไปวิเคราะห์ความเข้มของสี (ภาคผนวก ข) ทุก 3, 6, 9, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง

3.6.3.3) **การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการใช้เซลล์ตรึงเชื้อรา *P.chrysosporium* ในการลดสีของน้ำเสีย ในระดับขวดเขย่า**

เมื่อได้อัตราส่วนของเซลล์เชื้อราต่อแคลเซียมอัลจิเนตที่เหมาะสมในการตรึงเซลล์เพื่อใช้ในการลดสีของน้ำเสียแล้ว นำเม็ดเซลล์ตรึงที่ได้ไปเลี้ยงในอาหารสำหรับการสร้างเอนไซม์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ภาคผนวก ก) ปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.5 บ่มเชื้อบนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน เมื่อครบ 4 วัน เติมน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไป ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำตัวอย่างน้ำมาแยกเอาเม็ดเซลล์ตรึงออกและนำน้ำไปวิเคราะห์ความเข้มของสี (ภาคผนวก ข) ทุก 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและทำการทดลองเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ความเข้มสีทุก 15 นาที เป็นเวลา 90 นาที

3.6.4. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการลดสีของน้ำเสียโดยการใช้เซลล์ตรึง *P.chrysosporium* ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด

เมื่อได้อัตราส่วนของเซลล์เชื้อราและเวลาที่เหมาะสมในการใช้เซลล์ตรึงเชื้อรา ในการลดสีของน้ำเสียในการทดลองระดับขวดเขย่าแล้ว จากนั้นทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบด โดยนำเม็ดเซลล์ตรึง ปริมาตร 1 ลิตร มาเลี้ยงในอาหารสำหรับการสร้างเอนไซม์ปริมาตร 3 ลิตร (ภาคผนวก ก) ปรับพีเอชเท่ากับ 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ทำการบ่มเชื้อในเครื่องปฏิกรณ์ นาน 1 คืน โดยมีการเติมอากาศเข้าในเครื่องปฏิกรณ์และเติมสารอาหารสำหรับเหนี่ยวนำให้เชื้อราสร้างเอนไซม์ลงในน้ำเสียที่อยู่ในถังเก็บน้ำเสียก่อนเข้าคอลัมน์ด้วย จากนั้นจึงสูบน้ำเสียเข้าคอลัมน์ที่อัตราการไหลต่างๆ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียด้วยการปรับวาล์วของท่อสูบน้ำจากถังเก็บน้ำเสีย โดยดูอัตราการไหลของน้ำเข้าคอลัมน์จากมาตรวัดอัตราการไหลแบบลูกลอย (Rotameter) และในแต่ละอัตราการไหลของน้ำเสียจะทำการทดลองที่อัตราการเติมอากาศเข้าคอลัมน์ในอัตราต่างๆเช่นกัน โดยควบคุมอัตราการเติมอากาศตั้งแต่ 0.033 – 0.086 ลบ.ม./ชั่วโมง ได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 0.012, 0.020, 0.025, 0.030 และ 0.036 ลบ.ม./ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความเข้มของสี (ภาคผนวก ข), ค่าบีโอดี(ภาคผนวก ค) และค่าซีโอดี (ภาคผนวก ง)

3.6.5 ศึกษาลักษณะของเชื้อราที่ถูกตรึงในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนตโดยดูจากภาพ Scanning Electron Micrograph (SEM)

ศึกษาลักษณะของเชื้อรา *P. chrysosporium* ที่ถูกตรึงในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนต เปรียบเทียบกับเม็ดเจลที่ไม่มีการตรึงเซลล์ (Cell free) โดยดูจากภาพถ่าย Scanning Electron Micrograph (SEM) นำเม็ดเซลล์ตรึงในวันที่ต่างๆของการใช้งาน และเม็ดเจลที่ไม่มีการตรึงเซลล์ไปถ่ายภาพภาคตัดขวาง (Cross section) โดยใช้เครื่อง Scanning Electon Microscope ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย