

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

มูลเหตุสำคัญของปัญหามลพิษทางน้ำกล่าวได้ว่าเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์แทบทั้งสิ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพน้ำ ท้ายที่สุดยังมีผลกระทบย้อนกลับเข้ามาสู่มนุษย์ไม่ทางตรงก็ทางอ้อม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีได้มีการบำบัดก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจัดได้ว่ามีแนวโน้มที่รุนแรงกว่าน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ เนื่องจากน้ำเสียจากชุมชนส่วนใหญ่ มักอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ในขณะที่น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ สารอาหาร โลหะหนัก และสารพิษ

ปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ทดแทนน้ำมันพืชอื่น ๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ดงาและอื่น ๆ ตลอดจนสามารถใช้แทนไขมันสัตว์ได้เป็นอย่างดีและมีราคาถูก อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มขยายตัวอย่างรวดเร็ว แม้ว่าอุตสาหกรรมดังกล่าวจะก่อให้เกิดรายได้และการจ้างงานในท้องถิ่นภาคใต้ แต่อุตสาหกรรมดังกล่าวก็ปลดปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมในระดับหนึ่งโดยเฉพาะโรงงานสกัดน้ำมันแบบใช้น้ำหรือแบบมาตรฐาน ซึ่งมีผลผลิตในรูปน้ำมันปาล์มดิบรวมกันมากกว่าร้อยละ 85 ของผลผลิตทั้งหมด นอกจากจะมีวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็ง ได้แก่ ทะลายเปล่า เส้นใย และกะลาปาล์มแล้ว ยังมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มีมลสารในรูปสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอลด้วย (โสภา จันทภาโส, 2542 ; จินตนา แก้วบริสุทธิ, 2541)

ฟีนอลเป็นอนุพันธ์ไฮดรอกซิลของเบนซีนและวงเบนซีนที่เชื่อมกัน พบได้ในน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม รวมทั้งแหล่งน้ำต่างๆ (มักเป็นการปนเปื้อนจากอุตสาหกรรมหรือหลุมฝังกลบขยะ) ฟีนอลจัดเป็นสารอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์และยังเป็นสารก่อมะเร็ง (Buchanan, Nicell and Wagner, 1997 ; Armour, 1991) นอกจากนี้ฟีนอลยังเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการวิเคราะห์น้ำเสียแต่ในทางปฏิบัตินั้นใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์น้ำเสียน้อยมาก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงาน กำหนดให้น้ำทิ้งจากโรงงานมีฟีนอลได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าสูงสุดที่ยอมรับให้มีในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 (ภาคผนวก จ)

ได้คือ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2540) สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้จะเป็นปริมาณที่น้อยแต่หากมีคลอรีนผสมอยู่ด้วยจะเกิดเป็นสารประกอบคลอโรฟีนอล (chlorophenol) ทำให้น้ำมีรสและกลิ่นเป็นที่น่ารังเกียจ (Caza *et al.*, 1999) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสารประกอบฟีนอลในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำในธรรมชาติ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ตลอดจนลดการรับและสะสมสารพิษ (biomagnification) ในร่างกายมนุษย์ซึ่งถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

การใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการกำจัดสารประกอบฟีนอลในน้ำเสียที่ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพและข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ ซึ่งมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเดินระบบค่อนข้างสูงและมีความจำเพาะต่อฟีนอลต่ำ ปัจจุบันพบว่าในไบโอยาฟารามีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่ด้วย (พัชรกร รัตนภูมิ, 2543) จึงเป็นที่น่าสนใจว่าจะใช้ไบโอยาฟาราเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารประกอบฟีนอลในน้ำเสีย ปัจจุบันยังไม่มีใครเคยนำเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่สกัดได้จากไบโอยาฟาราไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ไบโอยาฟาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย

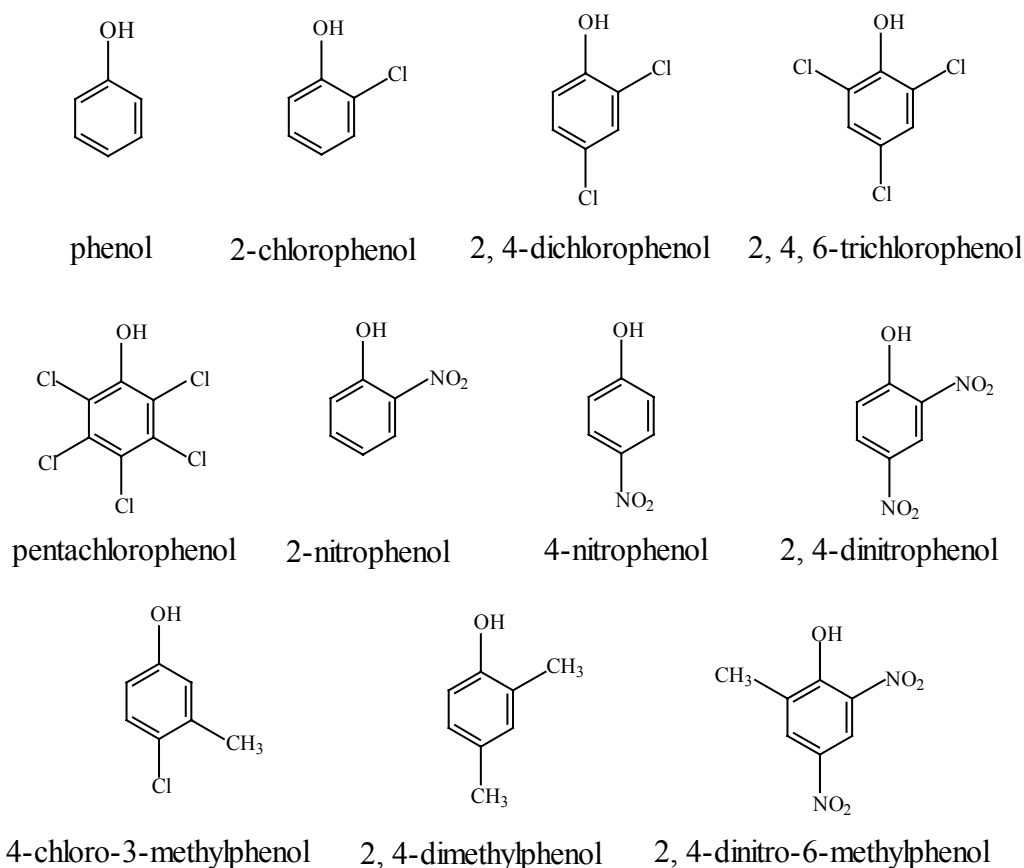
การตรวจเอกสาร

1.1 ฟีนอล

ฟีนอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เชื่อมกับวงแหวนเบนซีนหรืออนุพันธ์ของเบนซีน ฟีนอลมีสูตรทางเคมีคือ C_6H_5OH นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่น ๆ อีก เช่น hydroxy benzene ; carbolic acid ; phenic acid ; phenylic acid ; phenyl hydroxide ; hydroxybenzene ; oxybenzene (Parker *et al.*, 1987) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 94.11

ฟีนอลเป็นของแข็งไม่มีสี มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.071 มีจุดหลอมเหลวที่ $42^{\circ}C$ มีจุดเดือดที่ $182^{\circ}C$ จุดวาบ (flash point) ที่ $79^{\circ}C$ เมื่อสัมผัสอากาศและแสงจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่ออยู่ในรูปของสารละลายมี pH ประมาณ 6 ฟีนอล 1 กรัม สามารถละลายในน้ำและเบนซีน 15 และ 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ กลิเซอรอล คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) น้ำมัน แต่ไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ สารประกอบฟีนอลเป็นสารมลพิษชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการผลิตโพลีคาร์บอนเนต ชนิดโปร่งใสและประเภทีพอกซีเรซิน ไนลอน สีย้อม ผงซักฟอก สารฆ่าเชื้อ สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรม เป็นต้น (Windholz *et al.*, 1976)

ฟีนอลจัดเป็นสารอันตรายเนื่องจากเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ (Wu *et al.*, 1997) ไอของฟีนอลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและตา หากสัมผัสฟีนอลในสถานะของแข็งสามารถทำให้ผิวหนังไหม้ได้ ฟีนอลถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้ง่าย ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ หน้ามืดตาตาย หมดแรง ระบบหมุนเวียนในร่างกายล้มเหลว ดับถูกทำลาย อัมพาต ชัก อาจเสียชีวิตเนื่องจากระบบทางเดินหายใจล้มเหลวหรือหัวใจหยุดเต้นและฟีนอลยังเป็นสารก่อมะเร็ง (Buchanan, Nicell and Wagner , 1998 ; Armour, 1991) นอกจากนี้ US. EPA (US. Environmental Protection Agency) และ IARC (The International Agency of Research on Cancer) ขององค์การอนามัยโลกจัดให้อยู่ในกลุ่ม 1A (ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็ง) และได้ทำบัญชีรายชื่ออนุพันธ์ของฟีนอลที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ 11 ชนิด ได้แก่ phenol 2-chlorophenol 2, 4-dichlorophenol 2, 4, 6-trichlorophenol pentachlorophenol 2-nitrophenol 4-nitrophenol 2,4-dinitrophenol 4-chloro-3-methylphenol 2, 4-dinitro-6-methylphenol 2, 4-dimethylphenol ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพประกอบ 1 และกำหนดความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มอยู่ในช่วง 60–400 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามระดับความเป็นพิษของสารประกอบแต่ละชนิด ฟีนอลมีค่า LD_{50} และ ADI (Acceptable Daily Intake) เท่ากับ 300 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ



ภาพประกอบ 1 สูตรโครงสร้างของฟีนอลและอนุพันธ์ของฟีนอล

1.2 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับ มะพร้าว จาก อินทผลัม และตาลโตนด จากหลักฐานทางโบราณคดีและประวัติศาสตร์ได้ยืนยันว่า ปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกาและพบมากอยู่ทางฝั่งตะวันตก แต่ก็มีบางส่วนขึ้นกระจัดกระจายไปทางฝั่งตะวันออกไปจนถึงเกาะมาดากาสกา ปาล์มน้ำมันที่ขึ้นอยู่ในแอฟริกาส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลซิส กินีซิส (*Elaeis guineensis*) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกในเชิงเศรษฐกิจอยู่ในปัจจุบัน ต่อมาก็มีการสันนิษฐานว่าปาล์มน้ำมันได้แพร่หลายเข้าไปในทวีปอเมริกาใต้ในยุคล่าอาณานิคมและค้าทาส อย่างไรก็ตามได้มีการค้นพบปาล์มป่าอีก 2 ชนิด ในเขตลุ่มน้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นพันธุ์พื้นเมืองในแถบนั้น คือ อีเลซิส โอลีเฟอร์่า (*Elaeis*

oleifera) และอีเลอัส โอโดรา (*Elaeis odora*) โดยที่พันธุ์แรกมีลักษณะคล้ายคลึงกับพันธุ์ในแอฟริกามาก แต่มีความแตกต่างทางลักษณะผล ลำต้นกับใบข้างเท่านั้น

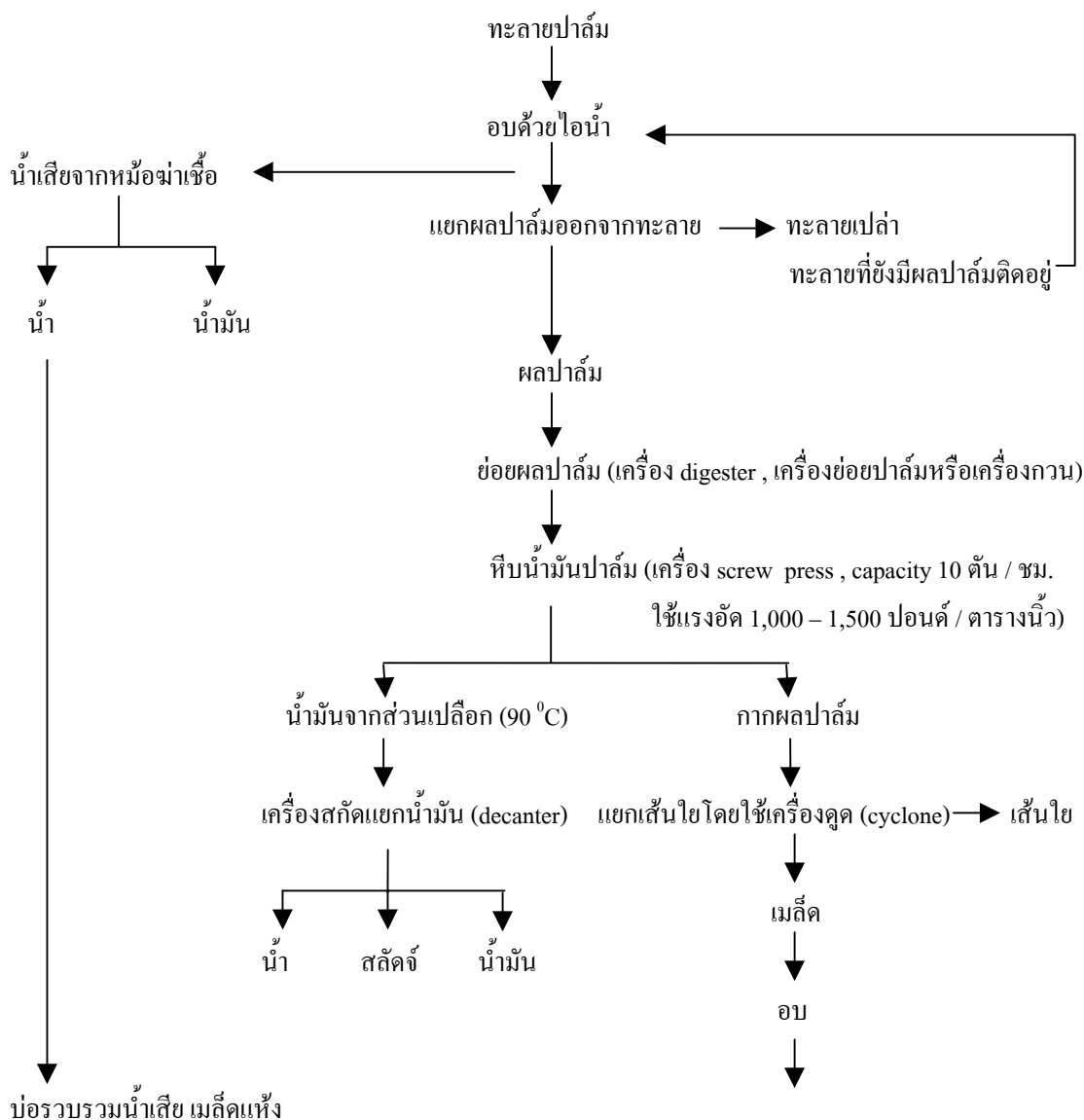
ปาล์มน้ำมันได้ถูกนำเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียเป็นครั้งแรกจำนวน 4 ต้น ที่สวนพฤกษศาสตร์โบเกอร์ในประเทศอินโดนีเซียในราวปี พ. ศ. 2391 และต่อมาก็มีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกที่เขตเดลีทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา ปรากฏว่าปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตสูง ผลโต และเปลือกหนา จึงได้มีการปลูกในเชิงการค้าในปี พ. ศ. 2454 และถัดมาอีกไม่กี่ปีก็มีการนำปาล์มน้ำมันเข้าไปปลูกในประเทศมาเลเซีย จนกระทั่งมาเลเซียได้กลายเป็นผู้ส่งออกน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา

สำหรับในประเทศไทยนั้น ตามหลักฐานพบว่าได้มีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกที่จังหวัดสงขลา ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 และต่อมาในปี พ. ศ. 2511 ก็ได้มีการปลูกปาล์มน้ำมันในเชิงการค้าเป็นครั้งแรกที่จังหวัดกระบี่และสตูล โดยนำพันธุ์ปาล์มมาจากประเทศมาเลเซียทั้งหมด ต่อมาก็มีการปลูกสวนปาล์มกันอย่างแพร่หลายในอีกหลายจังหวัดได้แก่ ตรัง สุราษฎร์ธานี ชุมพร ภูเก็ต สงขลา และประจวบคีรีขันธ์ พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศรวมทั้งสิ้น 1,101,487 ไร่ ทั้งนี้พื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 95 อยู่ในภาคใต้ ในปี พ. ศ. 2539 ผลผลิตในรูปปาล์มสดทั้งทะเลาะจากพื้นที่ภาคใต้มีมากถึง 2,169,177 ตัน (จินตนา แก้วบริสุทธิ์, 2541 อ้างถึงในศูนย์สถิติการเกษตร, 2539)

1.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน

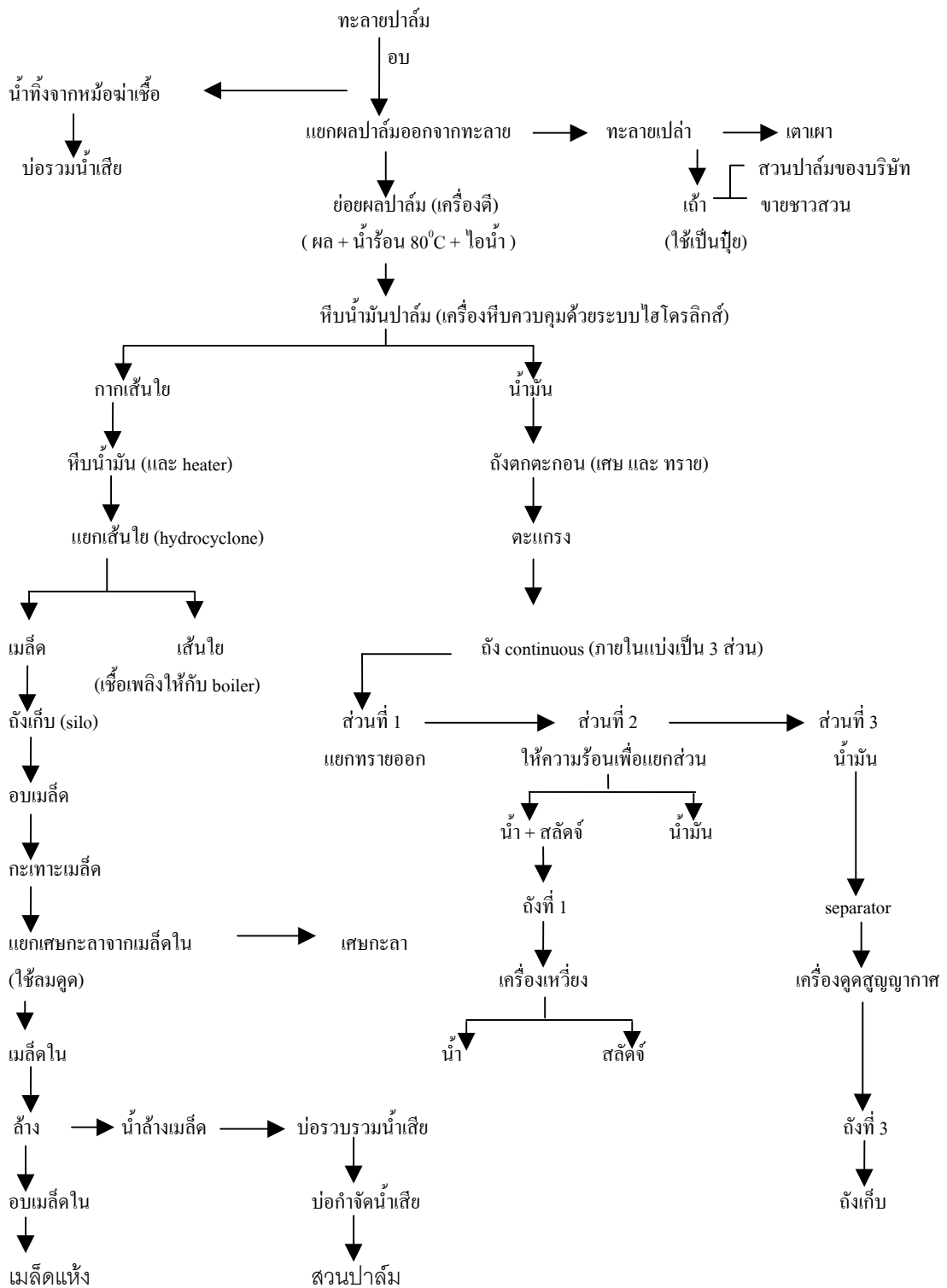
กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การสกัดแบบไม่ใช้น้ำ และแบบใช้น้ำหรือที่เรียกว่าแบบมาตรฐาน (พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ, 2533 อ้างถึงใน โสภานันท์, 2542 ; ผาสุก กุลละวณิชย์, 2528) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะกระบวนการสกัดแบบใช้น้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งที่มาของน้ำเสีย การสกัดแบบมาตรฐานแบ่งย่อยเป็น 2 ลักษณะคือแบบที่ใช้เครื่องแยกน้ำมันแบบ 3 เฟส เรียกว่า decanter ดังแผนภูมิในภาพประกอบ 2 และแบบที่ใช้เครื่องแยกน้ำมันแบบ 2 เฟส ที่เรียกว่า separator ดังแผนภูมิในภาพประกอบ 3 กระบวนการสกัดแบบนี้ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่และขนาดกลาง โดยเริ่มจากการนำทะเลาะปาล์มสดมาอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120–130 องศาเซลเซียส ความดัน 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 45 นาที การอบทะเลาะปาล์มมีจุดประสงค์เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซิสที่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม นอกจากนี้ไอน้ำยังทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่ม สะดวกในการหีบและขั้วหลุดจากทะเลาะได้ง่าย ผลปาล์มจะถูกแยกออกโดยผ่านทะเลาะปาล์มที่อบแล้วเข้าเครื่องแยกผลปาล์มซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ผลปาล์มถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์มซึ่งภายในมี

ใบพัดคอกวนเพื่อให้ เส้นใยฉีกออกจากเมล็ด และทำให้เซลล์น้ำมันแตกตัวเพื่อต่อการหีบ น้ำมันในขั้นต่อไป ขั้นตอนนี้



ภาพประกอบ 2 แผนภูมิการผลิตน้ำมันปาล์มดิบเป็นกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน

ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ (2533) ; โสภา จันทภาโส (2542)



ภาพประกอบ 3 แผนภูมิการผลิตน้ำมันปาล์มดิบเป็นกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่ไม่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน

ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ (2533) ; โสภา จันทภาโส (2542)

มีการเติมน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยในการสกัดน้ำมันประมาณ 15–20 นาที จากนั้นจะถูกป้อนเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัด (screw press) เพื่อหีบน้ำมันจากส่วนเปลือก และน้ำมันจะถูกแยกออกจากน้ำและเศษเส้นใย รวมทั้งสิ่งสกปรกอื่น ๆ โดยการใช้อุปกรณ์ decanter หรือเครื่อง separator

1.4 ปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานจะมีน้ำทิ้งออกมามาก ส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการอบทะลายปาล์มในรูปน้ำเสี้ยวจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (sterilizer condensate) และน้ำเสี้ยวจากเครื่องแยกน้ำมันหรือจากเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำมันจากน้ำสลัดจ์ น้ำเสี้ยวจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อมีประมาณ 200 ลิตรต่อ 10 ตันทะลายปาล์ม (พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ, 2533) ปริมาณน้ำเสี้ยวคิดเป็น 2.5-3.0 เท่าของปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ (Cheah *et al.*, 1988) ส่วน Hwang และคณะ (1978) รายงานว่า ปริมาณน้ำเสี้ยวทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณทะลายปาล์ม และมีน้ำมันร้อยละ 2 ปนอยู่ในน้ำเสี้ยวจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ

การสำรวจปริมาณน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศมาเลเซีย โดย PORIM / RMIM (1981 อ้างโดย อรรถ หันพงศัทธิกุล และคณะ, 2537) ประมาณการน้ำทิ้งส่วนใหญ่มาจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อและมีปริมาณ 0.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมัน น้ำทิ้งจากเครื่องแยกกรวดทราย (desander) 0.1-0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมัน และน้ำทิ้งจากเครื่องแยก separator หรือ decanter 1.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมัน โดยน้ำทิ้งรวมมีประมาณ 2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันที่ผลิตได้

อรรถ หันพงศัทธิกุล และคณะ (2537) ศึกษาการแยกน้ำมันจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 4 โรงงาน ซึ่งมีการแยกน้ำมัน 3 แบบ คือ การแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง decanter การแยกน้ำมันจากน้ำสลัดจ์โดยใช้เครื่อง separator และการแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง separator ร่วมกับ decanter และขั้นสุดท้าย คือ การคั่นน้ำมันจากน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่บ่อบำบัดโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำมันโดยตรงจะมีปริมาณน้ำทิ้งน้อยที่สุด คือ 0.44 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ในขณะที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ separator หรือ separator ร่วมกับ decanter มีปริมาณน้ำทิ้ง 0.90-1.81 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด (ตาราง 1) ทั้งนี้เนื่องจากการแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง decanter มีการผสมน้ำปริมาณน้อยมากประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ในขณะที่การแยกน้ำมันจากน้ำสลัดจ์โดยใช้เครื่อง separator หรือ separator ร่วมกับ decanter นี้ ต้องมีถังลอยซึ่งเติมน้ำเพื่อให้ไขมันแยกตัวจากสารแขวนลอย

ตาราง 1 ปริมาณสารโดยเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 4 โรงงาน

โรงงานสกัด น้ำมันปาล์ม	เวลาในการทำงาน (ชม.)	ปริมาณทะลายปาล์มสด (ตัน)	กำลังการผลิต (ตัน / ชม.)	อัตราการใช้ (ลบ.ม. / ชม.)	ปริมาณน้ำทิ้ง (ลบ.ม./ ตัน ทะลาย ปาล์มสด)	ซีโอดี	บีโอดี	สารแขวนลอย (กก. / ตันทะลายปาล์มสด)	น้ำมันและกรีส
บ. เอเชียน้ำมันปาล์ม จำกัด ^ก	19	464.60	23.75	10.05	0.44	47.51	25.88	10.8	6.1
บ. ทักนิณปาล์ม จำกัด ^ข	18	437.53	24.85	21.53	0.94	62.54	27.56	18.6	6.9
บ. สยามน้ำมัน ^ค และ อุตสาหกรรม จำกัด	24	220.00	9.16	10.76	1.18	47.81	26.62	6.1	14.6
บ. สหอุตสาหกรรม ^ก	16	414.67	26.11	22.37	0.90	51.93	26.24	15.8	7.3
ค่าเฉลี่ย	19.2	384.20	20.97	16.18	0.86	52.45	26.58	12.8	8.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.94	96.43	6.86	5.78	0.27	6.08	0.62	4.8	3.4

ก : สกัดน้ำมัน โดยใช้เครื่อง decanter

ข : สกัดน้ำมัน โดยใช้เครื่อง separator กับ decanter

ค : สกัด โดยใช้เครื่อง separator

ดัดแปลงจาก อนุรักษ์ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ (2537) ; โสภา จันทภาโส (2542)

ตารางที่ 2 ลักษณะน้ำทิ้งโดยเฉลี่ยจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 4 โรงงาน

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	พีเอช	อุณหภูมิ (^o C)	ซีไอดี) (มก/ล)	บีไอดี (มก/ล)	ซีไอดี/บีไอดี	สารแขวนลอย (กรัม/ลิตร)	น้ำมันและกรีส (กรัม/ลิตร)
บ. เอเชียขน้ำมันปาล์ม จำกัด ^ก	4.65	64	113,960	59,368	1.94	26.3	14.7
บ. ทักษิณปาล์ม จำกัด ^ข	4.58	64	68,344	30,704	2.29	20.8	7.6
บ. สยามน้ำมัน ^ค และอุตสาหกรรม จำกัด	4.67	63	42,644	21,450	2.00	5.2	14.2
บ. สหอุตสาหกรรม ^ก	4.53	64	57,641	29,100	1.98	17.5	7.7
ค่าเฉลี่ย	4.61	64	70,647	35,156	2.05	17.4	11.0
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06	0.43	26,621	14,410	0.14	7.7	3.4

ก : สกัดน้ำมันโดยใช้เครื่อง decanter

ข : สกัดน้ำมันโดยใช้เครื่อง separator กับ decanter

ค : สกัดโดยใช้เครื่อง separator

ดัดแปลง อร์นุ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ (2537) ; โสภา จันทภาโส (2542)

1.6 เทคโนโลยีการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสีย

การเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมโดยทั่วไปต้องพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ เช่น ปริมาณและลักษณะของน้ำเสีย คุณภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการ ราคาที่ดิน ความยุ่งยากในการควบคุม และบำรุงรักษาระบบบำบัด ความลำบากในการจัดหาหรือซื้อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ รวมทั้งปัญหาต่าง ๆ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความรำคาญ ตลอดจนต้นทุนในการบำบัด (สมใจ ศิริโชค, 2544) เทคโนโลยีการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียของโรงงานควรจะเป็นกระบวนการที่ง่ายในการดำเนินการและจำเพาะกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด (Wagner and Nicell, 2001) เทคโนโลยีการกำจัดสารประกอบฟีนอลในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี ตัวอย่างของวิธีการดั้งเดิมนั้นได้แก่ การสกัดด้วยสารละลาย การใช้จุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลาย การดูดซับบนถ่านกัมมันต์และการออกซิไดซ์ทางเคมี (Wu *et al.*, 1997) ซึ่งข้อดีและข้อเสียของกระบวนการบำบัดแต่ละวิธีสรุปได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 ข้อดีและข้อเสียของวิธีการดั้งเดิมในการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

วิธีการบำบัดน้ำเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย	อ้างอิง
วิธีการทางฟิสิกส์ และทางเคมี การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	Retention time ต่ำและสามารถดำเนินการได้ง่าย	ถ่านกัมมันต์มีราคาแพงและก่อให้เกิดกากของเสียที่มีความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มขึ้นในสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องกำจัดของเสียดังกล่าวในภายหลัง	Zhang and Nicell, 2000 Cooper and Nicell, 1996
การออกซิไดซ์ทางเคมี	Retention time ต่ำและสามารถดำเนินการได้ง่าย	ค่าใช้จ่ายสูง	Caza <i>et al.</i> , 1999 Cooper and Nicell, 1996
วิธีการทางชีววิทยา ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)	เป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลาย, ลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มาก, ใช้พื้นที่น้อย	ใช้เครื่องจักรกลมาก ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง, กำจัดสารพิษที่เป็นพิษให้อยู่ในปริมาณน้อยได้ยาก	สมใจ ศิริโชค, 2544 Caza <i>et al.</i> , 1999
การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลาย	ลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มาก	สารพิษเป็นพิษและยับยั้งจุลินทรีย์ได้, ต้องการ retention time ที่ยาวนานและมีปริมาณจุลินทรีย์มาก	Wagner and Nicell, 2001 Zhang and Nicell, 2000 Cooper and Nicell, 1996

1.7 การใช้เอนไซม์ในการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้ง

การใช้เอนไซม์กำจัดของเสียอันตรายที่เป็นพิษนั้น สารมลพิษจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารที่ไม่เป็นอันตรายหรือทำให้ความเป็นพิษลดลง (Freeman, 1989 ; Wagner and Nicell, 2001) การใช้เอนไซม์ในการกำจัดของเสียเป็นวิธีการทางชีววิทยาเช่นเดียวกับการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสาร แต่หากเปรียบเทียบระหว่างการใช้การใช้เอนไซม์กับการใช้จุลินทรีย์แล้วพบว่า เอนไซม์จะมีความจำเพาะต่อสารพิษสูง ใช้เวลาในการเร่งปฏิกิริยาน้อย สามารถจัดการได้ง่ายกว่า จุลินทรีย์ ตลอดจนความเข้มข้นของเอนไซม์ยังไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียด้วย ดังนั้นการบำบัดของเสียโดยใช้เอนไซม์จึงเป็นวิธีการที่ดีกว่าการใช้จุลินทรีย์ (Caza *et al.*, 1999) และวิธีการต่าง ๆ ในข้างต้น (Masuda, Sukarai and Sakakibara, 2001) การใช้เอนไซม์ในการกำจัดของเสียเป็นวิธีที่เริ่มใช้กันตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 60 แต่การนำเอนไซม์มาประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้นเกิดขึ้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1982 (Wu *et al.*, 1997)

Klibanov *et al.* (1980) เป็นบุคคลแรกที่เสนอให้ใช้เอนไซม์ horseradish peroxidase (HRP) เพราะเป็นเอนไซม์ที่มีความว่องไวในช่วง pH และอุณหภูมิที่กว้างในการกำจัดสารพิษในน้ำ HRP สามารถกำจัดสารประกอบฟีนอลและอะโรมาติกเอมีนได้มากกว่า 30 ชนิด มีประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษสูงถึง 99% มีต้นทุนของการใช้สารสกัดหยาบของ HRP ที่มีค่าความบริสุทธิ์ 30% ในการสกัดสารฟีนอลในน้ำเสียที่มีความเข้มข้น 105 ppm คิดเป็นเงินเพียง 0.69 ดอลลาร์ ต่อ 1,000 ลิตร (Taylor *et al.* , 1995; Freeman, 1989)

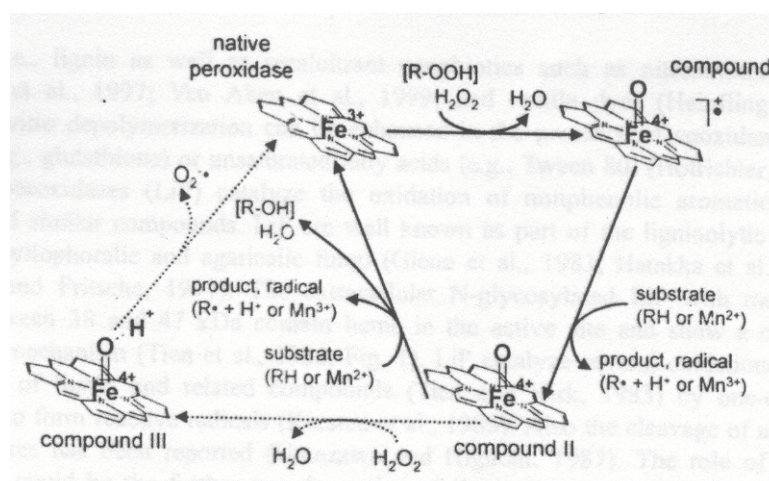
โสภา จันทภาโส (2542) ได้ทำการทดลองโดยเติมสารละลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่มีความว่องไวของเอนไซม์เท่ากับ 0.5 1.0 และ 1.5 หน่วยต่อมิลลิลิตร ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ลงในสารละลายส่วนใสที่ผ่านการแยกสารแขวนลอยและน้ำมันพบว่า หลังการบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สีของน้ำทิ้งจะเข้มข้นตามความว่องไวของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นสีจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.3, 22.9 และ 29.9 ตามลำดับ เนื่องจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสส่วนใหญ่เป็น heme enzyme จะมีสีน้ำตาลเล็กน้อยของเหล็กซึ่งต่างจากรายงานของ Klibanov และคณะ (1983) ที่กล่าวว่า การใช้ horseradish peroxidase ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดความเข้มข้นสีจากโรงงานแปรรูปถ่านหินซึ่งจะมีฟีนอลเป็นส่วนประกอบหลัก และหลังจากทำปฏิกิริยาฟีนอลจะตกตะกอนและความเข้มข้นสีในน้ำทิ้งจะลดลง ความแตกต่างของผลการทดลองอาจเนื่องมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบที่ต่างกันของน้ำทิ้ง

ส่วนการเลี้ยงเชื้อรา *Phanerochaete Chrysosporium* BKM-F-1767 ในสารละลายส่วนใสที่ผ่านการแยกและสารแขวนลอยและน้ำมันออกแล้วที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) โดย

เปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมสารอาหารเลี้ยงเชื้อที่จำกัดในโตรเจนพบว่า ชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เชื้อผลิตเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้สูงสุดเท่ากับ 1.41 หน่วยต่อมิลลิลิตร หลังการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 5 วัน ส่วนความเข้มข้นลดลงร้อยละ 6.2 ในขณะที่การเลี้ยงเชื้อ *Coriolous vesicolor* ที่สภาวะดังกล่าวกันกับข้างต้น การเลี้ยง *P. chysosporium* ไม่พบความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแม้จะมีการเติมสารอาหาร (โสภา จันทภาโส, 2542)

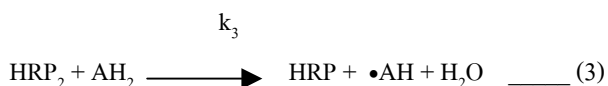
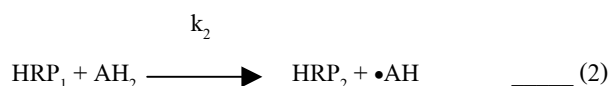
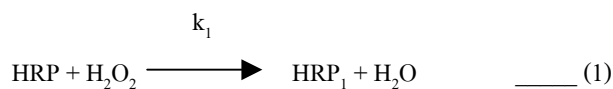
1.8 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นฮีโมโปรตีนพบได้ทั่วไปในจุลินทรีย์ พืช และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยเร่งปฏิกิริยาการสลายสารสับสเตรทซึ่งอาจเป็นสารพิษโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ร่วมด้วยให้กลายเป็นน้ำและสับสเตรทที่ถูกออกซิไดซ์ (Duran and Esposito, 2000; พัทธการรัตน์ภูมิ, 2543; Taylor *et al.*, 1995 ; International Union of Biochemistry, 1979) กลไกการเร่งปฏิกิริยาของ HRP แสดงดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 Catalytic cycle ของ HRP โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อมีสับสเตรทที่เป็นพวกอะโรมาติก

จากภาพประกอบ 4 จะเห็นว่า HRP ถูกออกซิไดซ์โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเปลี่ยนจากรูปที่อยู่ในธรรมชาติไปเป็น compound I และ compound II ซึ่งเป็นรูปที่ active ก่อนที่จะเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปเดิม compound I และ compound II จะออกซิไดซ์ฟีนอลเกิดเป็นอนุมูลอิสระดังสมการที่ 1, 2 และ 3 (Buchanan and Nicell, 1997)



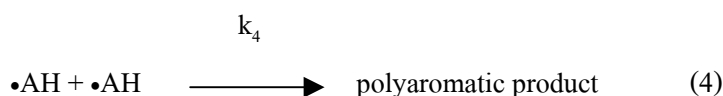
โดย HRP_1 หมายถึง compound I

HRP_2 หมายถึง compound II

AH_2 หมายถึง สับสเตรท (phenolic substrate) ในสภาวะรีดิวซ์

$\bullet\text{AH}$ หมายถึง สับสเตรทที่ถูกออกซิไดซ์ (อนุมูลอิสระ)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสกำจัดสารพิษได้เพราะสามารถโพลีเมอร์ไรซ์สารประกอบฟีนอล โดยการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันหลายขั้นต่อกันกับสารประกอบฟีนอลและสารประกอบอะโรมาติก เอมีนต่างๆ โดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ด้วยและทำให้เกิด phenoxy radical และอนุมูลอิสระของสารประกอบอะโรมาติกเอมีน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในสมการที่ 2 และ 3 จะแพร่กระจายจากบริเวณเร่งของเอนไซม์เข้าสู่สารละลาย โดยอนุมูลอิสระทั้งสองจะก่อรูปเป็นสารประกอบโพลีอะโรมาติก ดังสมการ 4 สารโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นไม่ละลายน้ำและสามารถแยกออกโดยการกรองหรือทิ้งให้ตกตะกอน (Wagner and Nicell, 2001 ; Caza *et al.*, 1999)



เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่พบมากในพืชได้แก่ หัวผักกาดขาวหนูขาว (horseradish : *Armoracia rusticana*) และพืชอื่นๆอีกรวมทั้งในใบยางพารา (พัชรกร รัตนภูมิ, 2543) เปอร์ออกซิเดสยังพบได้ในส่วนต่างๆ ของต้นยางพารา เช่น เปลือก ใบ และในน้ำยางส่วน C-serum (วัลลิ สุวจิตตานนท์ และ คงพัฒน์ พงศ์ไพบูลย์, 2535) ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล (2537) พบว่าในสถานะที่มีสารกำจัดศัตรูพืช ทั้งเปอร์ออกซิเดสจากเปลือกยางพารา (HBP) และ HRP สกัดในท้องตลาดสามารถเร่งปฏิกิริยาการออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและสารประกอบอะโรมาติก โดยตกตะกอนฟีนอลได้ดีเท่ากัน

พัชรกร รัตนภูมิ (2543) พบว่าในใบยางพารามีเปอร์ออกซิเดสอยู่สูงถึง 228.39 หน่วยต่อใบยางพารา 1 กรัม สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่ pH 5.5 และเร่งได้ดีขึ้นแม้อุณหภูมิจะสูงถึง 60 – 70°C สามารถเก็บเปอร์ออกซิเดสในรูปของสารละลายไว้ที่ -20 และ 4°C ได้เป็นเวลา 3 เดือน โดยที่ความว่องไวไม่ลดลง

เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเพื่อตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ หรือ ถูกชักนำให้สร้างขึ้นเมื่อพืชถูกรุกรานจากเชื้อโรค หรือ เมื่อพืชเกิดบาดแผล (Espelie and Franceschi, 1986) และมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ เช่น การซ่อมแซมผนังเซลล์ (Ros *et al.*, 1988) การควบคุมการเจริญเติบโต การขยายตัวของเซลล์ การสังเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์ ได้แก่ ลิกนิน (lignin) ซูเบอร์ริน (suberin) เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับเนื้อไม้ (Van Huystee and Zheng, 1993) เมตาบอลิซึมของออกซิน ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

Benton และ คณะ (1997) พบว่า ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบยางพารามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปฏิกิริยาต่อต้านเชื้อรา *Microcyclus ulei* นอกจากนี้ยังพบว่า ใบยางพาราที่ถูกกรุกรานด้วยเชื้อรา *Corynespora cassiicola* ซึ่งเป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคใบจุดและใบร่วงในใบยางพารา เมื่อนำใบยางพารามาวิเคราะห์ด้วย isoelective focusing พบว่า มีปริมาณของอะซิดิกและเบสิก เปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้น โดยที่เปอร์ออกซิเดสจะเพิ่มในใบยางพาราพันธุ์ต้านทานมากกว่าพันธุ์อ่อนแอ ซึ่งยางพาราที่ใช้สกัดเปอร์ออกซิเดสในการวิจัยครั้งนี้เป็นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากเนื่องจากมีความต้านทานต่อโรคต่างๆที่เกิดกับต้นยางพารา (พัชรกร รัตนภูมิ, 2543 ; ธรรมศักดิ์ ศรีสุกสัย, 2543)

เปอร์ออกซิเดสยังมีบทบาทเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์และการเกิด lipid peroxidation ในเนื้อเยื่อพืชโดยทั่วไป (Hazell and Murray, 1982) นอกจากนี้ยังพบว่า ใบยางพาราแก่มีปริมาณเปอร์ออกซิเดสสูงกว่าใบอ่อน

วัตถุประสงค์

1. สกัดเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากใบยางพาราเพื่อใช้เป็นแหล่งเอนไซม์ในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารประกอบฟีนอลในน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์ม
2. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการนำเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากใบยางพาราไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารประกอบฟีนอลในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับ การบำบัดโดยการเติมโอโซน ตลอดจนพิจารณาถึงตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพ