ORIGINAL ARTICLE

เปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ [1] อรัญ หันพงศ์กิตติกูล[2] และ โสภา จันทภาโส[3]

Abstract

Prasertsan, P.[1], H-Kittikun, A[1] and Chantaphaso, S.[2]

Comparison on decolorization of palm oil mill effluent by biological, chemical and physical methods

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2001, 23(Suppl.): 807-819

Decolorization of palm oil mill effluent pretreated by enzyme from *Aspergillus niger* ATCC 6275 was investigated. The culture filtrate after separation of suspended solids was used for decolorization by biological, chemical and physical methods. Results indicated that the chemical method (using coagulant) was more effective than the biological method (using commercial peroxidase, two strains of white-rot fungi *Phanerochaete chrysosporium* and *Coriolus versicolor*) and physical method (using activated carbon, pararubber seed and sand filter). Studies on the effect of coagulant concentrations on decolorization revealed that using the combination of 10 ml/l polyferric sulphate and 10 g/l calcium oxide gave the highest color removal of 84.5% and organic matter (in term of chemical oxygen demand, COD) removal of 86.5%.

Key words : decolorization, palm oil mill effluent, peroxidase, fungus, coagulant, activated carbon

[1,2,3]Department of Industrial Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Hat Yai Songkla 90112 Thailand

[1]Ph.D.(Biotechnology), รองศาสตราจารย์ [2]Ph.D.(Biotechnology), ผู้ช่วยศาสตราจารย์ [3]วท.บ.(วิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์), นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Corresponding e-mail: ppoonsuk@ratree.psu.ac.th

บทคัดย่อ

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และ โสภา จันทภาโส

เปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ

ว.สงขลานครินทร์ วทท. 2544 23(ฉบับพิเศษ): 807-819

ศึกษาการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์จาก *Aspergillus niger* ATCC 6275 โดยนำสารละลายส่วนใสที่แยกสารแขวนลอยออกแล้วมาทดลองกำจัดสีด้วยวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ พบว่าวิธีการทางเคมี (โดยใช้สารช่วยตกตะกอน) มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มของสีได้สูงกว่าวิธีการทางชีวภาพ (โดยใช้เอนไซม์ทางการค้าเปอร์ออกซิเดส และเชื้อรา 2 สายพันธุ์ คือ *Phanerochaete chrysosporium* และ *Coriolus versicolor*) และวิธีการทางกายภาพ (โดยการดูดซับด้วยเมล็ดยางพารา และการกรองด้วยถังทราย) จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตกตะกอนต่อการกำจัดสี พบว่าการใช้โพลีเฟอริกซัลเฟตเข้มข้น 10 มล./ลิตร ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์เข้มข้น 10 กรัม/ลิตร สามารถลดความเข้มของสีได้สูงสุด 84.5% และลดปริมาณสารอินทรีย์ (ในรูปค่าซีโอดี) ได้ 86.5%

สีน้ำตาลในน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น รงควัตถุพวกแอนโทไซยานินและแคโรทีน ซึ่งถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและไอน้ำเนื่องจากเซลล์ผลปาล์มถูกทำลาย (Hartley, 1977) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกโพลีฟีนอล แทนนิน และโพลีแอลกอฮอล์ โดยพบว่าในน้ำทิ้งจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อมีปริมาณเพคตินและโพลีฟีนอลเท่ากับ 5.7 และ 2.0 กรัม/ลิตร ตามลำดับ (Barker and Worgan, 1981) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบพวกเมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งเป็นผลิตผลของปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง และพบมากในส่วนของสลัดจ์ (Hwang, *et al*., 1978) สิ่งแปลกปลอมในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มอีกอย่างคือสารประกอบพวกกัม (gum) ซึ่งเมื่อกัมถูกความร้อนในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำขึ้น และสามารถรวมตัวกับเกลือของโลหะ เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และทองแดง ทำให้เกิดความคงตัวของสีในน้ำทิ้ง (Salunkhe and Desai, 1986)

สีเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ระบุอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม แต่มิได้กำหนดเป็นตัวเลขเหมือนพารามิเตอร์อื่นๆ โดยระบุไว้อย่างกว้างๆ ว่าเป็นสีที่ยอมรับได้ น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรหลายประเภท เช่น น้ำกากส่าจากการผลิตสุรา น้ำทิ้งจากการผลิตน้ำมันมะกอก รวมทั้งน้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มล้วนมีสีน้ำตาลคล้ำ แม้จะผ่านการบำบัดจนมีค่าปริมาณสารอินทรีย์ วัดในรูปค่าบีโอดี (BOD) ได้ตามมาตรฐานฯ แต่ไม่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ เนื่องจากน้ำทิ้งสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ-สีน้ำตาลอ่อน ปัญหาเช่นนี้ทำให้โรงงานต้องมีการเก็บกักน้ำทิ้งหลังการบำบัดไว้ในบ่อพัก ซึ่งทำให้พื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพื้นที่สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอยู่ในช่วง 30-50 ไร่ ในขณะที่โรงงานใช้พื้นที่เพื่อการผลิตน้ำมันเพียง 5-8 ไร่ (พูนสุข และ สุธีระ, 2537) ดังนั้นการกำจัดสีของน้ำทิ้งฯ จึงมีความสำคัญ เพื่อช่วยให้โรงงานประหยัดพื้นที่ในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถนำน้ำทิ้งสุดท้ายไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ต่อไป

การกำจัดสีสามารถทำได้หลายวิธีทั้งวิธีการทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่ผลิตจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรเพื่อกำจัดสีของน้ำตาลดิบ (Ahmedna *et al*., 1997) การใช้วิธีการทางชีวภาพร่วมกับวิธีการทางเคมีเพื่อกำจัดสีของ

น้ำเสียจากกากน้ำตาล (Sirianuntapiboon *et al*., 1998) การกำจัดสีกากน้ำตาลโดยใช้เชื้อรา *Geotrichum candidum* Dec 1 (Kim and Shoda, 1999) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าวิธีการดูดซับ การตกตะกอน การใช้โอโซนและรีเวอร์สออสโมซิสใช้ไม่ได้ผลกับการกำจัดสีของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมและเป็นวิธีที่มีราคาแพง ในขณะที่วิธีการทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ *Aeromonas* sp. B-5 สามารถกำจัดสี Bordeaux S สี indigoid และสี Acid blue 74 ได้ (Hayase *et al*., 2000) ดังนั้นการใช้วิธีการใดในการกำจัดสีของน้ำเสีย จึงขึ้นกับคุณลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสีย รวมทั้งประเภทของสี

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมีและทางกายภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์

น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ (decanter) ที่ผ่านการกำจัดสารแขวนลอยและน้ำมันบางส่วน โดยใช้เอนไซม์ที่สกัดจาก *Aspergillus niger* ATCC 6275 บ่มที่อุณหภูมิ 40ºC เป็นเวลา 4 วัน (พูนสุข และคณะ, 2545)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase)

เอนไซม์ทางการค้าเปอร์ออกซิเดสจากเชื้อ *Arthromyces ramnosus* จากบริษัท Sigma Chemical จำกัด

จุลินทรีย์

Phanerochaete chrysosporium BKM-F 1767 และ *Coriolus versicolor* ได้รับความอนุเคราะห์จาก Dr. Robert A. Rastall มหาวิทยาลัย Reading ประเทศอังกฤษ เก็บรักษาเชื้อในหลอดอาหารวุ้น potato dextrose agar (PDA) และอาหารวุ้นมอลต์สกัด (malt extract agar) ตามลำดับ โดยเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (29±2ºC) เป็นเวลา 5 วัน เพื่อให้เชื้อสร้างสปอร์เต็มที่ก่อนเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4ºC ถ่ายเชื้อใหม่ทุกครั้งก่อนการทดลองเพื่อเตรียมเชื้อเริ่มต้น

อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ *P. chrysosporium* BKM-F 1767 (Chao and Lee, 1994) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่จำกัดไนโตรเจน (nitrogen-limited medium) ประกอบด้วย กลูโคส 10 กรัม แอมโมเนียมทาเทรต 0.22 กรัม ไทอะมิน 0.001 กรัม KH_2PO_4 0.9 กรัม K_2HPO_4 0.1 กรัม $MgSO_4.7\ H_2O$ 0.5 กรัม $CaCl_2.2\ H_2O$ 0.05 กรัม กรดไดเมทธิลซักซินิก (dimethyl succinic acid) 2.92 กรัม กรดวีราทริก (veratric acid) 0.27 กรัม micronutrient solution 10 มล. และน้ำกลั่น 1 ลิตร สำหรับ micronutrient solution ประกอบด้วย $CuSO_4.5\ H_2O$ 0.08 กรัม $MnSO_4.4\ H_2O$ 0.07 กรัม $ZnSO_4.4H_2O$ 4.3 กรัม $Fe_2(SO_4)_3$ 0.05 กรัม และน้ำกลั่น 1 ลิตร

อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ *Coriolus versicolor* (ดัดแปลงจาก Roy-areand and Archibid, 1991) ประกอบด้วย เปปโตน 10 กรัม ดี-กลูโคส 40 กรัม $FeSO_4.7\ H_2O$ 20 ไมโครกรัม $MnCl_2$ 20 ไมโครกรัม ไตรโซเดียมซิเตรท (tri-sodium citrate) 40 ไมโครกรัม $MgCl_2.6\ H_2O$ 50 ไมโครกรัม และน้ำกลั่น 1 ลิตร

การวิเคราะห์

แอคทิวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส วิเคราะห์ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Shannon และคณะ (1966) ดังนี้

สารละลายผสมในการทำปฏิกิริยา ประกอบด้วย *o*-dianisidine (Sigma) เข้มข้น 0.5% ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ (พีเอช 5.4) 2.84 มล. และสารละลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Sigma) ที่เจือจางอย่างเหมาะสม 10 ไมโครลิตร เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Sigma) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ 100 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ทุก 15 วินาที นาน 3 นาที ในการวิเคราะห์แอคทิวิตี้ของเอนไซม์มีชุดควบคุมซึ่งเติมสารละลายต่างๆ เช่นเดียวกันแต่ไม่เติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาจะเริ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ลงในส่วนผสม

1 ยูนิต หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาย่อยสลาย *o*-dianisidine 1 ไมโครโมลในเวลา 1 นาที

แอคทิวิตี้ของเอนไซม์แลคเคส วิเคราะห์ตามวิธีของบริษัท Sigma Chemical (1994) ดังนี้

ผสมสารละลาย โพแตสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ (พีเอช 6.5) 1.10 มล. กับสารละลายเอนไซม์ที่เจือจางอย่างเหมาะสม 0.25 มล. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30ºC นาน 3 นาที เติมสารละลาย syringaldazine (Sigma) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรทุก 1 นาทีนาน 10 นาที ในการวิเคราะห์แอคทิวิตี้ของเอนไซม์มีชุดควบคุมซึ่งเติมสารละลายต่างๆ เช่นเดียวกันแต่ใช้สารละลายเอนไซม์ที่ผ่านการต้มแล้ว

ค่าสี วัดค่าสีโดยวิธีเปรียบเทียบกับแพลทินัมโคบอลท์มาตรฐาน ตามวิธีการที่อธิบายโดย ธงชัย และอุษา (2535) โดยใช้ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร

วิธีการ

1. ผลของการกำจัดสีด้วยวิธีการทางชีวภาพ

1.1 ผลของการใช้เอนไซม์

ทดสอบการกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ โดยเติมสารละลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่มีแอคทิวิตี้ 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 ยูนิต/มล. ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มล. (Klibanov, *et al*., 1983) บ่มที่อุณหภูมิ 40ºC ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าสีของน้ำทิ้งก่อนและหลังการทดลอง

1.2 ผลของการใช้จุลินทรีย์

1.2.1 ผลของอุณหภูมิและการเติมสารอาหารต่อการกำจัดสีโดย *Phanerochaetc chrysosporium* BKM-F-1767

เติมเชื้อรา *P. chrysporium* BKM-F-1767 ปริมาณ $5x10^9$ สปอร์/มล. ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ในสภาวะที่มีการเติมและไม่เติมสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่จำกัดไนโตรเจน (nitrogen-limited medium) ปริมาตร 50 มล. บรรจุในขวดอุปกรณ์ (flask) ขนาด 250 มล. เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (30±1ºC) และที่อุณหภูมิ 37ºC

1.2.2 ผลของอุณหภูมิและการเติมสารอาหารต่อการกำจัดสีโดย *Coriolus versicolor*

เติมเชื้อ *Coriolus versicolor* ปริมาณ 3 แผ่นดิสค์ (disc) (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม.) ที่เลี้ยงบนอาหารวุ้นมอล์ทสกัด (malt extract agar) เป็นเวลา 7 วัน ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ที่มีการเติมและไม่เติมสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดัดแปลงจาก Mycological broth ปริมาตร 50 มล. ในขวดอุปกรณ์ขนาด 250 มล. เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (30±1ºC) และที่อุณหภูมิ 25ºC

เลี้ยงเชื้อราทั้ง 2 สายพันธุ์บนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ใช้ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที สุ่มตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 7 วัน วัดค่าพีเอช วิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง แอคทิวิตี้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส และวัดค่าสี

2. ผลของการกำจัดสีด้วยวิธีการทางเคมี

2.1 ผลของการใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับด่าง

เติมโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับด่างลงในน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ปริมาตร 5 มล. เขย่าอย่างเร็วนาน 1 นาที และเขย่าอย่างช้าๆ นาน 3 นาที โดยใช้เครื่องเขย่าซึ่งเป็นหลักการของ Jar test (กรรณิการ์, 2525) ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง วัดพีเอช บันทึกการเปลี่ยนแปลงของสี และปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้น

ศึกษาผลของความเข้มข้นของโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตและชนิดของด่างโดยเติมโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตปริมาตร 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มล./ลิตร ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 30 กรัม/ลิตร

2.2 ผลของการใช้สารช่วยตกตะกอน

สารช่วยตกตะกอนที่ใช้มี 5 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$), เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$), เฟอริกซัลเฟต $Fe_2(SO_4)_3$, เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และ

คลอริเนทเตตคอปเปอร์รัส (chlorinated copperous) ทดลองโดยใช้หลักการ Jar test (กรรณิการ์, 2525)

ปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

2.2.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี

นำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมากรองด้วยผ้าขาวบาง และนำสารละลายส่วนใสไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบ/นาที ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งเท่ากับ 6.0 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (6 นอร์มอล) เติมสารเคมีชนิดต่างๆ ให้ได้ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม/ลิตร จากนั้นเขย่าอย่างเร็วนาน 1 นาที แล้วเขย่าอย่างช้าๆ นาน 3 นาที โดยใช้เครื่องเขย่าหลอด ซึ่งเป็นหลักการ Jar test (กรรณิการ์, 2525) ตั้งทิ้งไว้ 10 ชั่วโม บันทึกการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้น คัดเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด

2.2.2 ผลของพีเอช

เติมสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม (ผลจากข้อ 2.2.1) ลงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นปริมาตร 30 มล. จากนั้นปรับพีเอชของส่วนผสมให้ได้พีเอชเท่ากับ 4 5 6 7 8 9 10 และ 11 กวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กที่ระดับความเร็ว 100 รอบ/นาที นาน 3 นาที แล้วกวนที่ระดับความเร็ว 30 รอบ/นาที นาน 12 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 ชั่วโมง บันทึกการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้น

3. ผลของการกำจัดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ

3.1 การดูดซับด้วยเนื้อเมล็ดยางพารา

เติมเนื้อเมล็ดยางพารา (ขนาด 1x1x1 ลบ.ซม.) ปริมาณ 5 กรัม ลงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดปริมาตร 10 มล. บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30±1ºC) และ 40ºC ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ นาน 12 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเพื่อวัดค่าสี

3.2 การใช้ถังกรอง

เติมน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นปริมาตร 4 ลิตรลงในถังกรองทรงกระบอกปริมาตร 20,322 ลบ.ซม. (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 ซม. สูง 33 ซม.) ที่บรรจุวัสดุต่างๆ ได้แก่ ทรายละเอียด (หนา 3.5 ซม.) ทรายหยาบ (หนา 6.5 ซม.) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) (หนา 2.5 ซม.) และสำลีเป็นชั้นๆ ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองเพื่อวัดค่าสี

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการบำบัดขั้นต้นน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเอนไซม์เพื่อแยกสารแขวนลอยและน้ำมัน (พูนสุข และคณะ, 2545) พบว่าน้ำทิ้งหลังการบำบัดมีสีน้ำตาลจึงศึกษาวิธีการกำจัดสีของน้ำทิ้งด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. ผลของการกำจัดสีด้วยวิธีการทางชีวภาพ

1.1 ผลของการใช้เอนไซม์

ศึกษาผลของการเติมสารละลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (hydrogen-peroxidase oxidoreductase, EC 1.11.1.7) ที่มีแอคทิวิตี้ 0.5, 1.0 และ 1.5 ยูนิต/มล. ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ลงในน้ำทิ้งส่วนใส (Table 1) พบว่าหลังการบ่มที่ 40ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สีของน้ำทิ้งเข้มขึ้นตามแอคทิวิตี้ของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น โดยความเข้มของสีเพิ่มขึ้น 14.3, 22.9 และ 29.9% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Klibanov และคณะ (1983) ที่กล่าวว่าการใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถลดความเข้มของสีในน้ำเสียโรงงานแปรรูปถ่านหิน สีของน้ำทิ้งที่เข้มขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีสีน้ำตาล นอกจากนี้เอนไซม์ที่ใช้อาจไม่สามารถเปลี่ยนสภาพของฟีนอลจากสารประกอบที่ละลายน้ำไปเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ไม่สามารถแยกฟีนอลซึ่งมีส่วนทำให้น้ำทิ้งมีสีน้ำตาลออกจากน้ำทิ้งได้ ซึ่งแตกต่างจากปฏิกิริยาของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากฮอสแรดดิช (horse raddish) (Klibanov *et al*., 1980)

1.2 ผลของการใช้จุลินทรีย์

1.2.1 ผลของอุณหภูมิและการเติมสารอาหารต่อการกำจัดสีโดย *Phanerochaete chrysosporium* BKM-F-1767

ผลการเลี้ยง *P. chrysosporium* BKM-F-1767 ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิห้อง โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารอาหาร (อาหาร

Table 1 Effect of peroxidase concentration on color removal of enzyme-pretreated palm oil mill effluent by incubating the enzyme peroxidase and 2 mM hydrogen peroxide at 40ºC for 1 h

Peroxidase conc. (unit/ml)	Color	Color* (unit)	Color removal (%)
0	Dark brown	11,936	-
0.5	Dark brown	13,936	+14.3
1.0	Dark brown	15,484	+22.9
1.5	Dark brown	17,034	+29.9

* Color was measured at 475 nm wavelength

เลี้ยงเชื้อที่จำกัดไนโตรเจน) และการไม่เติมสารอาหาร (ชุดควบคุม) เป็นเวลา 7 วัน (Table 2) พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เชื้อผลิตเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้สูงสุดเท่ากับ 1.41 ยูนิต/มล. หลังการเลี้ยงเชื้อ 5 วัน แต่วิเคราะห์ไม่พบแอคทิวิตี้ของเอนไซม์แลคเคส ส่วนความเข้มของสีในน้ำทิ้งลดลงเล็กน้อย (6.2%) น้ำหนักเซลล์แห้งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 14.02 กรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงเชื้อนาน 6 วัน โดยค่าพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อย (จากพีเอช 3.35 เป็น 3.12) ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารอาหาร เชื้อไม่ผลิตเอนไซม์ทั้งสองชนิด ค่าสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (3.6%) น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 7.36 กรัม/ลิตร หลังจากเลี้ยงเชื้อนาน 5 วัน และพีเอชเพิ่มจาก 4.54 เป็น 4.80 หลังการเลี้ยงเชื้อ 6 วัน จากผลการทดลองนี้แสดงว่า *P. chrysosporium* สามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ได้

ส่วนผลการเลี้ยงเชื้อ *P. chrysosporium* BKM-F-1767 ที่อุณหภูมิ 37ºC (Table 3) พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เชื้อผลิตเอนไซม์เปอร์-ออกซิเดสได้สูงสุดเท่ากับ 2.20 ยูนิต/มล. หลังการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 4 วัน แต่ไม่พบแอคทิวิตี้ของเอนไซม์แลคเคส

Table 2 Effect of nutrients on growth and enzyme production from *Phanerochaete chrysosporium* BKM-F-1769 cultivated in enzyme-pretreated palm oil mill effluent at room temperature (30±1ºC) for 7 days

Time (day)	With nutrients					Without nutrients				
	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color removal* (%)	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color removal** (%)
0	3.35	0	0	0	0	4.54	0	0	0	0
1	3.34	0.72	0	0	0	4.53	0.52	0	0	0
2	3.34	2.09	0	0	0	4.54	1.71	0	0	0
3	3.31	5.47	0	0	0	4.55	4.45	0	0	+ 1.8
4	3.29	9.87	0.73	0	- 1.6	4.58	4.82	0	0	+ 1.8
5	3.25	13.69	1.41	0	- 1.6	4.60	7.36	0	0	+ 3.6
6	3.12	14.02	1.02	0	- 6.2	4.80	7.08	0	0	+ 3.6
7	3.03	13.86	1.25	0	- 6.2	4.72	6.76	0	0	+ 3.6

* initial color value 14,154 unit; ** initial color value 12,380 unit
\+ color intensity increase; - color intensity decreasee

Table 3 Effect of nutrients on growth and enzyme production from *Phanerochaete chrysosporium* BKM-F-1769 cultivated in enzyme-pretreated palm oil mill effluent at 37ºC for 7 days

Time (day)	With nutrients					Without nutrients				
	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color removal* (%)	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color removal** (%)
0	3.35	0	0	0	0	4.54	0	0	0	0
1	3.35	1.74	0	0	0	4.55	1.13	0	0	0
2	3.32	4.59	0	0	- 1.6	4.55	2.15	0	0	0
3	3.28	9.33	0.85	0	- 1.6	4.54	7.02	0	0	- 1.8
4	3.24	14.17	2.20	0	- 1.6	4.82	7.43	0	0	- 1.8
5	3.21	21.43	1.89	0	- 1.6	4.82	11.93	0	0	- 1.8
6	3.12	19.04	1.85	0	- 6.2	5.04	11.43	0	0	0
7	3.07	18.50	1.63	0	- 6.2	4.80	10.50	0	0	0

* initial color value 14,154 unit; ** initial color value 12,380 unit
\+ color intensity increase; - color intensity decreasee

ส่วนความเข้มของสีในน้ำทิ้งลดลงเล็กน้อย (6.2%) น้ำหนักเซลล์แห้งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.43 กรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงเชื้อนาน 5 วัน ค่าพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อย (จากพีเอช 3.35 เป็น 3.07) ค่าสีที่ลดลงนี้ต่ำกว่าค่าสีที่ลดลงของกากน้ำตาล (80%) ที่เกิดจากการเลี้ยงเชื้อ *Geotrichum candidum* Dec 1 (Kim and Shoda, 1999) ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารอาหาร เชื้อไม่ผลิตเอนไซม์ทั้งสองชนิด ค่าสีลดลงเล็กน้อย (1.8%) น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 11.93 กรัม/ลิตร หลังจากเลี้ยงเชื้อนาน 5 วัน ค่าพีเอชเพิ่มจาก 4.54 เป็น 5.04 หลังการเลี้ยงเชื้อ 6 วัน และลดลงเล็กน้อยที่เวลา 7 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่า *P. chrysosporium* BKM-F-1767 เจริญได้ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ และการเติมสารอาหารช่วยให้เชื้อเจริญเพิ่มขึ้น 2 เท่าในแต่ละอุณหภูมิ เชื้อมีการเจริญและผลิตเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 37ºC ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการผลิตเอนไซม์พบว่าเชื้อผลิตเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสโดยไม่ผลิตเอนไซม์แลคเคสที่การเลี้ยงทั้งสองอุณหภูมิ การวิเคราะห์ไม่พบเอนไซม์แลคเคสสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่าไม่มีข้อพิสูจน์ที่แน่นอนว่า *P. chrysosporium* สามารถผลิตเอนไซม์แลคเคสหรือไม่ หรืออาจเกิดจากสภาวะเลี้ยงเชื้อที่ไม่เหมาะสม หรือจุลินทรีย์ขาดกลไกทางพันธุกรรมในการผลิตเอนไซม์แลคเคส (Srinivasan, *et al*., 1995) นอกจากนี้พบว่าการทดลองนี้ ความเข้มของสีในน้ำทิ้งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งอาจมีปัจจัยอื่นหรือเอนไซม์ชนิดอื่นเกี่ยวข้อง แม้ว่าเชื้อผลิตเอนไซม์เปอร์-ออกซิเดสซึ่งมีความสำคัญในการลดสีสังเคราะห์ (Kim and Shoda, 1999) อาจเนื่องจากน้ำทิ้งมีความเข้มข้นมากเกินไปโดยมีค่าซีโอดีสูงถึง 62,288 มก./ลิตร ที่สำคัญคือเอนไซม์ที่ใช้ในการทดลองมีสีดำ ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าสีเริ่มต้นจาก 11,936 ยูนิต เป็น 12,380 ยูนิต และการเติมสารอาหารทำให้ค่าสีเพิ่มขึ้นเป็น 14,154 ยูนิต

1.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อการกำจัดสีโดย *Coriolus versicolor*

จากการเลี้ยง *C. versicolor* ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ที่อุณหภูมิห้องโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารอาหาร และไม่เติมสารอาหาร เป็นเวลา 7 วัน (Table 4) พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เชื้อผลิตเอนไซม์แลคเคสได้สูงสุดเท่ากับ 6.6 ยูนิต/มล. หลังการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 5 วัน แต่ไม่พบแอคทิวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ความเข้มของสีในน้ำทิ้งลดลงเล็กน้อย (3.3%) น้ำหนักเซลล์แห้งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.77 กรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงเชื้อนาน 6 วัน ค่าพีเอชลดลงจาก 6.28 เป็น 4.44 ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารอาหาร เชื้อไม่ผลิตเอนไซม์ทั้งสองชนิดค่าสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (1.8%) น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 2.94 กรัม/ลิตร หลังจาก

Table 4 Effect of nutrients on growth and enzyme production from *Coriolus versicolor* cultivated in enzyme-pretreated palm oil mill effluent at room temperature for 7 days

Time (day)	Nutrients added					No nutrients added				
	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color removal* (%)	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color** (unit)
0	6.28	0	0	0	0	4.54	0	0	0	0
1	6.13	0.35	0	0	0	4.54	1.41	0	0	0
2	5.76	4.62	0	0	- 1.7	4.56	1.82	0	0	0
3	5.19	7.70	0	2.4	- 1.7	4.60	1.96	0	0	+ 1.8
4	4.89	8.13	0	3.0	- 1.7	4.60	2.13	0	0	+ 1.8
5	4.73	11.38	0	6.6	- 3.3	4.62	2.38	0	0	+ 1.8
6	4.46	12.77	0	5.3	- 3.3	4.62	2.77	0	0	0
7	4.44	11.94	0	2.6	- 3.3	4.62	2.94	0	0	0

* initial color value 13,267 unit; ** initial color value 12,380 unit
\+ color intensity increase; - color intensity decreasee

เลี้ยงเชื้อนาน 7 วัน และพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (จากพีเอช 4.54 เป็น 4.62)

ส่วนการเลี้ยง *C. versicolor* ที่อุณหภูมิ 25ºC (Table 5) พบว่าชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเชื้อผลิตเอนไซม์แลคเคสได้สูงสุดเท่ากับ 13.3 ยูนิต/มล. หลังการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 5 วัน แต่ไม่พบแอคทิวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ส่วนความเข้มของสีในน้ำทิ้งลดลงเล็กน้อย (1.7%) น้ำหนักเซลล์แห้งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.24 กรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงเชื้อนาน 6 วัน พีเอชลดลงจาก 6.28 เป็น 4.77 ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารอาหารเชื้อไม่ผลิตเอนไซม์ทั้งสองชนิดค่าสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (1.8%) น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 5.80 กรัม/ลิตร หลังจากเลี้ยงเชื้อนาน 6 วัน และพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 4.54 เป็น 4.60 หลังการเลี้ยงเชื้อ 7 วัน

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่า *Coriolus versicolor* ผลิตเอนไซม์แลคเคส โดยไม่ผลิต

Table 5 Effect of nutrients on growth and enzyme production from *Coriolus versicolor* cultivated in enzyme-pretreated palm oil mill effluent at 25ºC for 7 days

Time (day)	Nutrients added					No nutrients added				
	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color removal* (%)	pH	DCW (g/l)	Activity (U/ml) peroxidase	Activity (U/ml) laccase	Color** (unit)
0	6.28	0	0	0	0	4.54	0	0	0	0
1	6.14	0.56	0	0	0	4.56	1.68	0	0	0
2	5.69	7.42	0	6.6	- 1.7	4.56	2.40	0	0	0
3	5.01	14.72	0	10.0	- 1.7	4.62	3.33	0	0	+ 1.8
4	4.84	16.60	0	12.6	- 1.7	4.60	4.17	0	0	+ 1.8
5	4.76	19.70	0	13.3	- 1.7	4.60	4.43	0	0	+ 1.8
6	4.77	20.24	0	6.0	- 1.7	4.60	5.24	0	0	0
7	4.77	20.08	0	5.3	- 1.7	4.60	5.80	0	0	0

* initial color value 13,267 unit; ** initial color value 12,380 unit
\+ color intensity increase; - color intensity decreasee

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส การเติมสารอาหารช่วยให้เชื้อเจริญเพิ่มขึ้น 5 เท่า เชื้อมีการเจริญและผลิตเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 25ºC ได้สูงกว่าที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 เท่า เชื้อและเอนไซม์ที่ผลิตมีประสิทธิภาพต่ำมากในการลดความเข้มของสี ซึ่งอาจเนื่องจากมีปัจจัยอื่นหรือเอนไซม์อื่นเกี่ยวข้อง และอาจเป็นผลจากการที่น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของสารต่างๆ มากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yesilada และคณะ (1998) ที่ทดลองเลี้ยง *Coriolus versicolor* ในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันมะกอกเพื่อลดปริมาณซีโอดีและสารฟีนอล รวมทั้งลดค่าสี ซึ่งพบว่าการเลี้ยงเชื้อดังกล่าวในน้ำทิ้งที่ไม่มีการเจือจาง เชื้อเจริญไม่ดีเนื่องจากความเข้มข้นของซีโอดีและฟีนอลสูงเกินไป

2. ผลของการกำจัดสีด้วยวิธีการทางเคมี

2.1 ผลของการใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับด่าง

การเติมโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตปริมาตร 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มล./ลิตร ร่วมกับ CaO, $Ca(OH)_2$, KOH และ NaOH ปริมาณ 30 กรัม/ลิตร ลงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ พบว่าการใช้ CaO และ $Ca(OH)_2$ ร่วมกับโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตมีผลให้ความเข้มของสีลดลง ในขณะที่การใช้ KOH และ NaOH ไม่มีผลให้ความเข้มของสีลดลง น้ำทิ้งยังคงมีสีน้ำตาลเข้ม แสดงว่าการใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับสารเคมีที่มีแคลเซียม ซึ่งมีประจุเท่ากับ 2+ เป็นองค์ประกอบสามารถตกตะกอนและลดความเข้มของสีได้ดีกว่าสารเคมีที่มีโซเดียมหรือโพแตสเซียม ซึ่งมีประจุเท่ากับ 1+ เป็นองค์ประกอบ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Migo และคณะ (1997) ที่ว่าสารเคมีที่มีจำนวนประจุ 2+ มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน ดีกว่าสารเคมีที่มีจำนวนประจุ 1+ ถึง 50-60 เท่า

ผลของการใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือร่วมกับเคลเซียมออกไซด์ (Table 6) พบว่าการใช้ $Ca(OH)_2$ หรือ CaO เพียงอย่างเดียวก็มีผลให้ค่าสีลดลง (52 และ 36% ตามลำดับ) และค่าสีลดลงเกิน 75% เมื่อเติมโพลีเฟอร์ริกซัลเฟต 5 และ 10 มล./ลิตร ขึ้นไปในสารละลาย $Ca(OH)_2$ ความเข้มของสีในน้ำทิ้งลดลงสูงสุด 90 และ 86% ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตปริมาณ 40 และ 30 มล./ลิตร ตามลำดับ เมื่อผสมกับ $Ca(OH)_2$ และ CaO ตามลำดับ พีเอชมีค่า 12.19 และ 12.16 ตามลำดับ น้ำทิ้งมีสีเหลืองอ่อนใส และมีตะกอนเกิดขึ้น 3.5 และ 2.5 มล. ตามลำดับ

Table 6 Effect of polyferric sulphate and calcium hydroxide or calcium oxide (30 g/l each) on pH, color intensity and amount of sediment occurred in the biopretreated palm oil mill effluent after leaving for 3 h

Polyferic sulphate (ml/l)	$Ca(OH)_2$				CaO			
	pH	Color	Color removal (%)	Sediment (ml)	pH	Color	Color removal (%)	Sediment (ml)
0	12.35	brown	52	1.0	11.96	brown	36	2.0
1	12.34	yellow	56	1.5	12.18	light brown	38	1.0
5	12.30	yellow	76	2.5	12.32	light brown	54	1.0
10	12.28	yellow	80	2.5	12.26	light yellow	79	2.0
20	12.26	light yellow	87	3.5	12.24	light yellow	84	2.5
30	12.19	light yellow	89	3.5	12.16	light yellow	86	2.5
40	12.16	light yellow	90	3.5	12.05	light yellow	85	2.0
50	12.08	light yellow	88	2.5	11.35	light yellow	79	1.5
60	11.71	light yellow	82	2.5	11.34	light yellow	68	1.5

*Color was measured at 475 nm wavelength
Initial color of filtrate was 9,750 unit
Initial pH of filtrate was 4.54

เมื่อคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมของโพลีเฟอร์-ริกซัลเฟตที่จะนำไปใช้งานจริงซึ่งต้องคำนึงถึงต้นทุนของราคาสารเคมี พบว่าโพลีเฟอร์ริกซัลเฟต 10 มล./ลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถลดค่าความเข้มของสีได้ 80% จากการปรับพีเอชด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม/ลิตร ลักษณะของเหลวมีสีเหลือง มีปริมาตรตะกอนเท่ากับ 2.5 มล. จากการใช้ปริมาณเพียง 10 มล./ลิตร ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตได้ 30 มล./ลิตร และมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นน้อยกว่า ขณะที่การลดลงของค่าสีต่ำลงเพียง 14% ดังนั้นสารเคมีที่คัดเลือกได้จากการทดลองนี้จะมีปริมาณต่ำกว่าที่รายงานโดย Migo และคณะ (1993) ซึ่งใช้โพลีเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 30 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ได้สูงสุด 93% ในกรณีที่ต้องการใช้แคลเซียมออกไซด์เพื่อปรับพีเอช ปริมาณที่เหมาะสมของโพลีเฟอร์-ริกซัลเฟตในการนำไปใช้งานคือ 10 มล./ลิตร ซึ่งสามารถลดความเข้มของสีได้ 79% ซึ่งต่ำกว่าค่าสูงสุด (86%) เพียง 7% พีเอชมีค่า 12.26 เกิดตะกอนปริมาตร 2 มล. มีรายงานว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ การกำจัดสีดีที่สุดที่ระดับพีเอชสูงกว่า 13 (Migo, *et al*., 1997) สีของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการบำบัดด้วยโพลีเฟอริกซัลเฟต (10 มล./ลิตร) ร่วมกับแคลเซียมออกไซค์ (10 กรัม/ลิตร) แสดงใน Figure 1.

2.2 ผลของการใช้สารช่วยตกตะกอน

2.2.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอน

จากการเติมสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดลงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 กรัม/ลิตร (Table7) การใช้อลูมิเนียมซัลเฟต เฟอรัสซัลเฟต เฟอริกซัลเฟต เฟอริก-คลอไรด์ และคลอริเนตเตตคอปเปอร์รัส ที่ความเข้มข้น 0.5-2 กรัม/ลิตร มีผลให้ค่าสี ความเข้มของสี และพีเอชลดลงตามความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอนที่สูงขึ้น แต่ไม่สามารถลดความเข้มของสีในน้ำทิ้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากพีเอชของน้ำทิ้งค่อนข้างเป็นกรด (พีเอช 4.54) ซึ่งอาจเป็นพีเอชที่ไม่เหมาะสม โดยสารเคมีแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชช่วงหนึ่งเท่านั้น เช่น อลูมิเนียมซัลเฟตที่พีเอช 6-7.8 เฟอร์ริก-คลอไรด์ที่พีเอช 6-8 เฟอร์ริกซัลเฟตที่พีเอช 9 เฟอร์รัส-

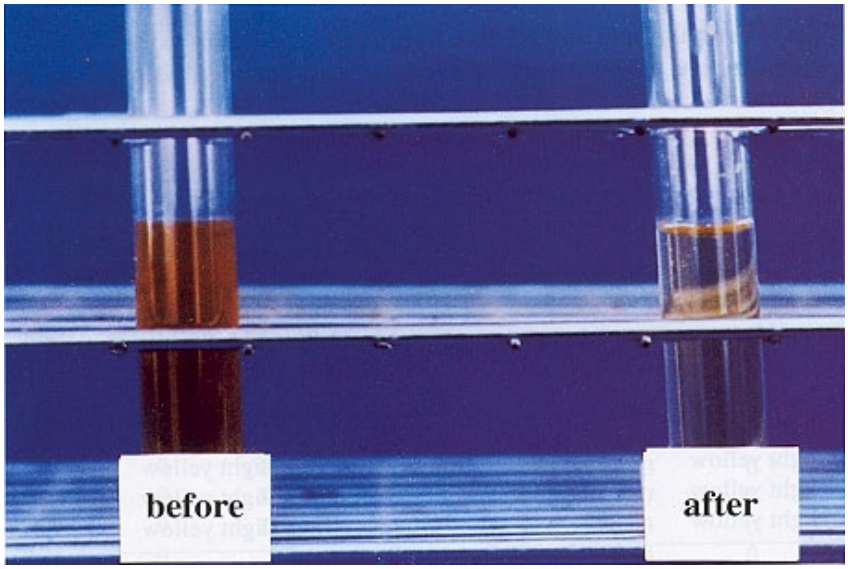

Figure 1 Color appearance before and after treatment using 10 ml/l polyferric sulphate with 10 g/l CaO

ซัลเฟตที่พีเอช 4-11 คลอริเนตเตตคอปเปอร์รัสที่พีเอช 6-9 (ณรงค์, 2526) ดังนั้นขั้นตอนต่อไปจึงทดสอบผลของพีเอชต่อการกำจัดสี

2.2.2 ผลของพีเอช

จากการเติมสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดลงในน้ำทิ้งแล้วปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงพีเอช 4-11 พบว่าค่าสีและความเข้มของสีเพิ่มขึ้นตามพีเอชของน้ำทิ้งที่สูงขึ้น โดยลักษณะของน้ำทิ้งมีสีน้ำตาลดำ แต่ลดลงเล็กน้อยที่พีเอช 10 และ 11 การทดลองนี้ให้ผลแตกต่างจากการทดลองกำจัดสีของสารเมลานอยดินสังเคราะห์ซึ่งให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตที่พีเอช 4.5 เฟอร์ริกซัลเฟตและเฟอร์ริกคลอไรด์ที่พีเอช 3.5 (Migo, *et al*., 1997)

3. ผลการกำจัดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ

3.1 การดูดซับด้วยเนื้อเมล็ดยางพารา

การใช้เนื้อเมล็ดยางพาราเป็นตัวดูดซับสีของน้ำทิ้งเป็นแนวทางหนึ่งที่คาดว่ามีความเป็นไปได้ที่สามารถลดความเข้มของสีในน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ หลังจากเติมเนื้อเมล็ดยางพาราลงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วย

Table 7 Effect of type and concentration of coagulant on pH, color changes and sediment in the enzyme-pretreated palm oil mill effluent after settling for 10 h

Chemical (g/l)	pH	Color	Color* (unit)	Sediment (ml.)
$Al_2(SO_4)_3$				
0.5	5.66	dark brown	8,289	0
1.0	5.40	brown	7,580	0
1.5	5.17	yellow	7,380	0
2.0	4.96	yellow	6,870	0
$FeSO_4$				
0.5	5.70	dark brown	13,012	0
1.0	5.67	dark brown	12,303	0
1.5	5.56	dark brown	11,150	0
2.0	5.28	dark brown	8,535	0
$Fe(SO_4)_3$				
0.5	5.71	dark brown	9,575	0
1.0	5.27	dark brown	9,354	0
1.5	4.99	dark brown	7,225	8
2.0	4.77	brown	6,595	12
$FeCl_3$				
0.5	5.13	dark brown	14,232	0
1.0	4.81	dark brown	11,748	0
1.5	4.08	dark brown	11,394	12
2.0	4.08	dark brown	10,773	18
Chlorinated copperous				
0.5	5.73	dark brown	11,571	0
1.0	5.66	dark brown	11,194	0
1.5	5.62	dark brown	11,082	0
2.0	5.46	dark brown	10,225	0

* measured color at OD_{475}
initial color of decanter effluent was 5,495 unit; initial pH of decanter effluent was 4.54

เอนไซม์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง และ 40ºC นาน 12 ชั่วโมง พบว่าสามารถลดค่าสีได้ 57 และ 54% ตามลำดับ การที่เมล็ดยางพาราสามารถลดค่าสีได้เนื่องจากเมล็ดยางพาราดูดซับสีในน้ำทิ้งบางส่วนเข้าไป โดยสังเกตจากการบ่ม 12 ชั่วโมงเนื้อเมล็ดยางพาราจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (เติมเนื้อเมล็ดยางพาราในน้ำกลั่น) ซึ่งยังคงเป็นสีขาว (คงเดิม)

3.2 การใช้ถังกรอง

การใช้ถังกรองโดยการบรรจุวัสดุต่างๆ ได้แก่ ทรายละเอียด ทรายหยาบ ถ่านกัมมันต์ และสำลี เป็นชั้นๆ ในภาชนะทรงสูง พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองมีค่าสีลดลง 32% ซึ่งค่าสีที่ลดลงอาจเนื่องจากการดูดซับ และการกรองเอาตะกอนและสีของน้ำทิ้งโดยวัสดุต่างๆ ทำให้ค่าสีของน้ำทิ้งลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปสารแขวนลอยและน้ำมันอาจไปอุดตันระหว่างอนุภาคของวัสดุต่างๆ โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์เริ่มมีการสะสมของตะกอน (อวยพร, 2531) ทำให้อัตราการดูดซับลดน้อยลง

สรุป

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ พบว่าวิธีทางเคมีสามารถกำจัดสีได้สูงสุด และจากการกำจัดด้วยโพลีเฟอริกซัลเฟต (10 มล./ลิตร) ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ (10 กรัม/ลิตร) สามารถลดความเข้มของสีน้ำทิ้งได้ 84.5% และทำให้ค่าซีโอดีลดลง 86.5%

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. คณะสาธารณะสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ณรงค์ วุทธเสถียร. 2526. การปรับสภาพน้ำในอุตสาหกรรมและหม้อไอน้ำ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุมน. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. วิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย. กรุงเทพมหานคร.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และ สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. 2537. การศึกษาและการวิเคราะห์สถานภาพของการใช้ประโยชน์จากของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. รายงาน. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, อรัญ หันพงค์กิตติกูล และ โสภา จันทภาโส. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์จาก *Aspergillus niger* ATCC 6275 ที่เลี้ยงบนกากปาล์ม. ว. สงขลานครินทร์ วทท. ปาล์มน้ำมัน: 797-806.

อวยพร บัวใบ. 2531. การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองที่ใช้ทรายและถ่านกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ahmedna. M., Johns, M.M., Clarke, S.J., Marshall, W.E. and Rao, R.M. 1997. Potential of agricultural by-product-based activated carbons for use in raw sugar decolourisation. J Sci Food Agric. 75: 117-142.

Baker, T.W., and Worgan, J.T. 1981. The utilization of palm oil processing effluent as substrate of microbial protein by the fungus *Aspergillus oryzae*. Eur. J. Appl. Microbiol. 11: 234-246.

Chao, W.L. and Lee, S.L. 1994. Decolorization of azo dyes by three white rot fungi: influence of carbon source. World J. Biotechnol. 10(5): 556-559.

Hayase, N., Kouno, K. and Ushio, K. 2000. Isolation and characterization of *Aeromonas* sp. B-5 capable of decolorizing various dyes. J. Biosci. Bioeng. 90(5): 570-573.

Hwang, T.K., Ong, S.M., Scow, C.C. and Tan, H.K. 1978. Chemical composition of palm oil mill effluents. Planter. 54: 749-756.

Kim, J.S. and Shoda, M. 1999. Batch decolorization of molasses by suspended and immobilized fungus of *Geotrichum candidum* Dec 1. J. Biosci. Bioeng. 88(5): 586-589.

Klibanov, M.A., Alberti, B.N., Morris, E.D. and Felshin, L.M. 1980. Enzymatic removal of toxic phenol and anilines from waste water. J. Appl. Biochem. 2: 414-421.

Klibanov, M.A., Tu, T.M. and Scott, P.K. 1983. Peroxidase-catalyzed removal of phenols from coal-conversion waste water. Science. 211: 259-260.

Migo, V.P., Matsumura, M., Rosario, E.J.D. and Kataoka, H. 1993. Decolorization of molasses wastewater using an inorganic flocculant. J. Ferment. Bioeng. 75(6): 438-442.

Migo, V.P., Rosario, E.J.D. and Matsumura, M. 1997. Flocculation of melanoidins induced by inorganic ions. J. Ferment. Bioeng. 83(3): 287-291.

Roy-Arcand, L and Archibald, F.S. 1991. Direct dechlorination of chlorophenolic compound by laccase from Trametes *Coriolus versicolor*. Enzyme Microbiol. Technol. 13: 194-203.

Salunkhe, D.K. and Desai, B.B. 1986. Oil Palm In Post Harvest Biotechnology of Oil Seed. CRC. Press., Inc. Florida. pp 147-158.

Shannon, M.L., Kay, E. and Lew, Y.J. 1966. Peroxidase isozymes from horseradish roots. J. Biol. Chem. 241(9): 2166-2172.

Sigma Chemical company. 1994. Sigma quality control test procedure enzymatic assay of laccase. Post office box 14506 Saint Louis Missouri USA. pp 1-2.

Sirianuntapiboon, S., Chairattanawan, K. and Ohmomo, S. 1998. Removal of colored substances from molasses waste water by biological treatment systems combined with chemical treatment. JARQ. 32: 211-216.

Srinivasan, C., D'Souza, T.M., Boominathan, K. and Reddy, C.A. 1995. Demonstration laccase in the white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* BKBF1767. Appl. Environ. Microbiol. 61(2): 4274-4277.

Yesilada, O., Sik, S. and Sam, M. 1998. Biodegradation of olive oil mill waste-water by *Coriolus versicolor* and *Funalia trogii*: effects of agitation, initial COD concentration, inoculum size and immobilization. World J. Microbiol. Biotechnol. 14: 37-42.