

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	1
บทที่ 2 การศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตันและการดูดซับด้วยสารดูดซับ	3
Abstract	3
บทคัดย่อ	4
บทนำ	5
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	10
ผลการทดลองและวิจารณ์	12
สรุปผลการทดลอง	15
กิตติกรรมประกาศ	16
เอกสารอ้างอิง	18
บทที่ 3. การศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเฝ้าจากเส้นใยและทะเลายปาล์ม	19
บทคัดย่อ	19
บทนำ	20
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	21
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
ผลการทดลองและวิจารณ์	20
สรุปผลการทดลอง	26
กิตติกรรมประกาศ	26
เอกสารอ้างอิง	26
บทที่ 4. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยการโคแอกกูเลชันด้วย Polyaluminium Chloride ร่วมกับ Polyacrylamide	27
บทคัดย่อ	27
บทนำ	28

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	28
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	31
ผลการทดลองและวิจารณ์	34
สรุปผลการทดลอง	39
กิตติกรรมประกาศ	40
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก 1 ข้อมูลผลการทดลองบทความที่ 1	41
ภาคผนวก 2 ข้อมูลผลการทดลองบทความที่ 2	44
ภาคผนวก 3 ข้อมูลผลการทดลองบทความที่ 3	46
ภาคผนวก 4 วิธีการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	48
ภาคผนวก 5 รวมบทความเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ	61

บทที่ 1

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การศึกษาวิจัยเรื่อง การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ มีจุดประสงค์เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งก่อนที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยวิธีการที่นิยมใช้ในการกำจัดสี คือ การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน แต่ผลการศึกษาพบว่าวิธีการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายค่าสารเคมีสูง ไม่คุ้มกับการนำไปใช้งานจริง คณะผู้วิจัยจึงได้พยายามศึกษาแนวทางอื่นๆ เช่น การตกตะกอนด้วย CaO การใช้ถ่าน (Ash) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในการเผาเส้นใยทะเลลายปาล์มมาเป็นสารดูดซับสี เป็นต้น รายงานการวิจัยเรื่อง การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบฉบับนี้ จึงเป็นการรวบรวมบทความทางวิชาการ ที่ได้จากการทำวิจัยในหลายแนวทาง เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม โดยที่ในการบำบัดมีต้นทุนที่ไม่สูงมากนัก บทความดังกล่าวประกอบด้วย

1. การศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน และการดูดซับด้วยสารดูดซับ
2. การศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยขี้เถ้าจากเส้นใยและทะเลลายปาล์ม
3. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยการ โคแอกกูเลชันด้วย Polyaluminium Chloride ร่วมกับ Polyacrylamide

บทความที่ 1 ทำการศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าการใช้ปฏิกิริยาเฟนตันต้องดำเนินการที่ pH 3 ในขณะที่น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มดิบมี pH 8-9 จึงสิ้นเปลืองค่าสารเคมีในการปรับ pH และหลังการเกิดปฏิกิริยาน้ำที่ผ่านการบำบัดมี pH ประมาณ 3 จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการปรับ pH ให้เป็นกลางก่อนการปล่อยทิ้ง อนึ่ง จากการที่ในโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวมีขี้เถ้าและผงถ่านซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาในระบบหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) จึงเห็นแนวทางที่จะนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าสารเคมีในการการบำบัดได้ บทความนี้ ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 8-9 พฤษภาคม 2552

บทความที่ 2 เป็นผลสืบเนื่องจากการที่ผลการวิจัยในบทความที่ 1 ซึ่งพบว่าปฏิกิริยาเฟนตันนั้นถึงแม้ว่าจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่สูง แต่มีต้นทุนการบำบัดที่ค่อนข้างสูง ไม่เป็นที่สนใจให้มีการลงทุนในการบำบัด และพบว่ามีสาร CaO

ซึ่งมีราคาไม่สูงมากนัก มีคุณสมบัติเป็นสารโคแอกกูแลนต์ได้เช่นเดียวกัน คณะวิจัยจึงได้สนใจที่จะนำมาทดลองใช้พบว่าที่สภาวะที่เหมาะสม CaO สามารถรวมตะกอนได้ และเมื่อใช้ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอคชนิด Polyacryamide จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ถึง 84% และเมื่อนำน้ำที่ผ่านการโคแอกกูแลชั่น ไปผ่านคอลัมน์ซึ่งบรรจุด้วยซีเถ้าและผงถ่านเพื่อดูดซับสี เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีอีกทางหนึ่ง

บทความนี้ได้นำเสนอในที่ประชุมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ณ เฟลิกซ์ริเวอร์แควรีสอร์ท กาญจนบุรี 26-27 ตุลาคม 2552

บทความที่ 3 เป็นการศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยการโคแอกกูแลชั่นด้วย Polyaluminium Chloride (PACl) ร่วมกับ Polyacrylamide เป็นวิธีการบำบัดที่มีต้นทุนไม่สูงมากนัก แต่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงมากกว่า 90% ขึ้นอยู่กับปริมาณการเติม PACl การเติมโคแอกกูแลนต์เอคชนิด Polyacrylamide ไม่มีผลต่อการกำจัดสี แต่ช่วยให้การรวมตะกอนดีขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร เมื่อ 22-23 พฤศจิกายน 2553

การศึกษาวิจัยการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าวิธีการที่ 3 สามารถบำบัดให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ต้องใช้ต้นทุนค่าสารเคมีและค่าดำเนินการค่อนข้างสูง จึงไม่จูงใจภาคอุตสาหกรรมในการลงทุน เนื่องจากยังมีทางเลือกอื่นๆ เช่น การกักเก็บไว้ในบ่อขนาดใหญ่ การนำไปรดสวนปาล์ม เป็นต้น สำหรับโรงงานซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีน้ำใช้ไม่เพียงพอ สามารถทำการบำบัดเพียงประสิทธิภาพ 65-70% ก็สามารถนำไปใช้ล้างพื้นและรดต้นไม้ได้ ผู้วิจัยจึงหวังว่า งานวิจัยนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต เมื่อความต้องการใช้น้ำมีมากขึ้น และมาตรการในการควบคุมดูแลสิ่งแวดล้อมเข้มงวดมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2553 สัญญาเลขที่ ENG5301055

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2554

บทที่ 2

การศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน และการดูดซับด้วยสารดูดซับ

จรรยา อินทมณี¹ จันทิมา ชั่งสิริพร² และจรัญ บุญกาญจน์³

Abstract

Janya Intamane¹ Juntima Chungsiriporn² and Charun Bunyakan³

Color and COD Removal from Palm Oil Industry Wastewater by Fenton Reaction Combined with Adsorption

Generally the effluent from palm oil industries has higher values of color and COD than Industrial Effluent Standards. The aim of this work was to study on the color and COD removal from palm oil industry effluent using adsorption combined with fenton reaction. Palm fiber ash, which is the solid waste of boiler unit, has been used as an adsorbent material. In this work, the optimal condition is provided, and the removal efficiencies are compared with ones obtained by using adsorption with palm ash solely. The experimental results have shown that even the efficiencies of using adsorption is high, however a large amount of fiber ash is impractically required. The use of the adsorption combined with fenton reaction significantly improves the color and COD removal efficiencies. In addition, the required amount of palm fiber ash is reduced 7 times compared with one required by using the adsorption solely.

Keywords: color removal, palm oil industry, adsorbent material, fenton reaction.

¹กศ.บ. (เคมี) ผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ชำนาญานพิเศษ ²Ph.D. (วิศวกรรมเคมี) ผู้ช่วยศาสตราจารย์
³Ph.D. (วิศวกรรมเคมี) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: janya.i@psu.ac.th

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม โดยทั่วไป พบว่ามีค่าสีและค่า COD สูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้าย โดยใช้การดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน สารดูดซับสีที่ใช้ในการดูดซับคือ ขี้เถ้าและผงถ่านจากเส้นใยและทะลายปาล์มซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงของบอยล์เลอร์ ในงานวิจัยได้ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้เมื่อใช้การดูดซับด้วยขี้เถ้าร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตันกับการดูดซับด้วยขี้เถ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการทดลองพบว่าแม้ว่าการกำจัดสีและ COD ด้วยการดูดซับด้วยขี้เถ้าเพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ทว่าต้องใช้ปริมาณขี้เถ้าเป็นจำนวนมากซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ อีกทั้งเมื่อใช้การดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD อีกทั้งปริมาณของขี้เถ้าที่ต้องการมีปริมาณลดลงถึง 7 เท่า

คำหลัก การกำจัดสี อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม สารดูดซับ ปฏิกิริยาเฟนตัน

1. บทนำ

ปัญหาสีของน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม นับว่าเป็นปัญหาสำคัญทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ต้องใช้วิธีการกักเก็บซึ่งต้องใช้พื้นที่ในการสร้างบ่อเป็นจำนวนมาก ซึ่งสีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวเกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน เป็นต้น [1] จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท พัทธกษปาล์มออยล์ จำกัด พบว่าการย่อยสลายทางชีววิทยาไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ และมีค่า COD ค่อนข้างสูง

ปฏิกิริยาเฟนตัน (fenton reaction) เป็นปฏิกิริยาที่สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จึงมีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีองค์ประกอบของ ฟีนอล ฟอรัลดีไฮด์ อะโรมาติก และสารเคมีที่มาจากสีย้อม [2] การบำบัดน้ำเสียทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน นับว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งน่าจะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารประกอบอินทรีย์และสีในน้ำเสีย โดยมีผลกระทบจากสารเคมีตกค้างในน้ำทิ้งน้อยกว่าวิธีการบำบัดอื่นๆ เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะสามารถสลายตัวและไม่ตกค้างในน้ำ โดยการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะทำให้สารประกอบอินทรีย์และสีในน้ำเสียถูกออกซิไดซ์ในสถานะที่เป็นกรด (pH 3-5) สำหรับการแยกเอาตะกอนของเหล็กที่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาและละลายอยู่ในน้ำ จะสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนในสถานะเป็นเบส หรือใช้สารรวมตะกอน การกรองผ่านสารดูดซับ เป็นต้น ขี้เถ้าและผงถ่านจากการเผาทะลายน้ำมันปาล์มเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ (boiler) เป็นของเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จากการวิเคราะห์ขี้เถ้าและผงถ่านจากการเผาทะลายน้ำมันปาล์มดังกล่าวพบว่า มีพื้นที่ผิวทั้งหมด (BET surface area) ประมาณ $100 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโคร (micropore surface area) ประมาณ $90 \text{ m}^2/\text{g}$ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นสารดูดซับได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีและสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการใช้ขี้เถ้าและผงถ่านจากเส้นใยและทะลายน้ำมันปาล์มเป็นสารดูดซับ โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ (batch reactor) ที่มีการกวนผสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาหาขั้นตอนการดำเนินการและหาสถานะดำเนินการที่เหมาะสม ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์และสีจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม เพื่อการนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ในการออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มต่อไป

2. ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

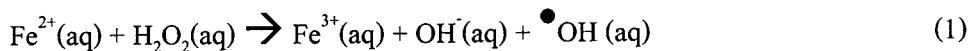
ปฏิกิริยาเฟนตัน

ปฏิกิริยาเฟนตัน เป็นปฏิกิริยาที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1894 จนกระทั่งถึงปี 1930 ได้มีการศึกษากลไกของปฏิกิริยานี้อย่างสมบูรณ์ และได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีสารมลพิษประเภทสารประกอบอินทรีย์ปะปนอยู่ เช่น ฟีนอล พอร์มัลดีไฮด์ สารประกอบอะโรมาติก บี.ที.อี.เอ็กซ์ และสารเคมีต่างๆ ที่ได้มาจากวัสดุที่ย้อม ยาฆ่าแมลง สารกันบูด พลาสติก และยาง กระบวนการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสีย ตะกอน หรือดินที่มีสิ่งปนเปื้อน โดยมีผลดังนี้

- ทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษ (organic pollutant destruction)
- ช่วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradability improvement)
- ลดค่า BOD และ COD (BOD and COD removal)
- ลดกลิ่นและสี (odor and color removal)

กลไกของปฏิกิริยาเฟนตัน

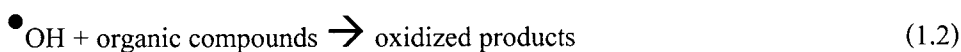
การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน ค้นพบโดย H.J.H. Fenton พบว่าปฏิกิริยานี้สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ได้อย่างสมบูรณ์ (Bigda, 1995) ปฏิกิริยาเฟนตัน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับไอออนของเฟอร์รัสซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals) ดังแสดงในปฏิกิริยาต่อไปนี้ (Walling, 1975)



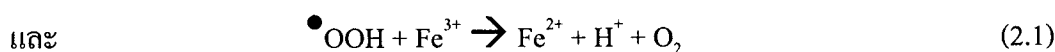
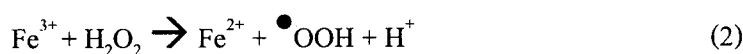
เมื่อปฏิกิริยา (1) เกิดขึ้นในน้ำเสีย ซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์หลายๆ ประเภท พลังงานของการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเริ่มแรกที่อนุมูลไฮดรอกซิล สามารถที่จะเหนี่ยวนำให้มีการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ได้ หนึ่งในปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลของสารละลายในปฏิกิริยา (1) สามารถกระตุ้นให้เกิดได้มากขึ้น เมื่อมีแสงเหนือม่วง (ultraviolet) หรือก๊าซโอโซน (O_3) เป็นคะตะลิสต์ (Arslan, et al., 2000) ปฏิกิริยาต่อมาก็คืออนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) แล้วให้ไอออนของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ดังนี้



อนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบอินทรีย์ในสารละลาย ดังนี้



ปฏิกิริยาจะมีการเกิดซ้ำโดยไอออนเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะช่วยเร่งให้มีการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไปเป็นก๊าซออกซิเจนและอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิล (perhydroxyl radicals) โดยที่ความเข้มข้นของไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะลดลงเรื่อยๆ ดังนี้

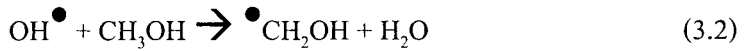


อนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิลเป็นตัวออกซิไดซ์ที่อ่อน แต่มีความสำคัญในกระบวนการเกิดไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้อนุมูลไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลไฮดรอกซิลจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์เกือบทั้งหมดและให้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในขั้นสุดท้าย ปัญหาโดยตรงของปฏิกิริยานี้คือการควบคุมสารเคมี และพีเอช (pH) ซึ่งหากมีการควบคุม องค์ประกอบเหล่านี้ไม่ดีพอก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเป็นเพียงน้ำและออกซิเจนเท่านั้น (Ghaly, et al., 2001) ผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชัน (oxidized products) ที่ต้องการอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียก็คือ คาร์บอนไดออกไซด์ เพราะหมายถึงสารประกอบอินทรีย์ได้ถูกเปลี่ยนรูปจนหมดสภาพการเป็นสารพิษ และในแง่ของการตรวจสอบสมบัติของน้ำเสียก่อนการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ด้วยการตรวจสอบค่า COD หรือค่า TOC ถ้าผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จากการเกิดปฏิกิริยาคือคาร์บอนไดออกไซด์แล้วค่า COD หรือค่า TOC ที่ตรวจสอบหลังปฏิกิริยาจะยอมจะมีค่าน้อยจนสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ กลไกปฏิกิริยาทางเคมีของอนุมูลไฮดรอกซิลแบ่งเป็น 4 ชนิด ดังนี้

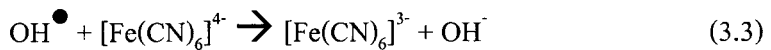
1. การรวมตัว (addition) โดยอนุมูลไฮดรอกซิล จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไม่อิ่มตัวอะลิฟาติกหรืออะโรมาติกแล้วให้อนุมูลของผลิตภัณฑ์ เช่น Cyclohexadienyl ดังตัวอย่างในสมการ(3.1)



2. การสกัดไฮโดรเจน (hydrogen abstraction) อนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นน้ำและอนุมูลอิสระของสารอินทรีย์ (organic free radical)



3. การถ่ายโอนอิเล็กตรอน (electron transfer) อิเล็กตรอนจะถูกถ่ายโอนให้กับอนุมูลไฮดรอกซิล เกิดผลิตภัณฑ์เป็นไอออนของไฮดรอกไซด์



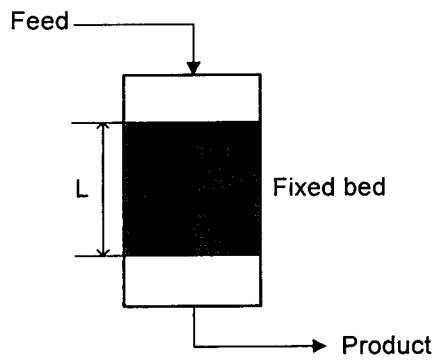
4. การทำปฏิกิริยาร่วมกันของอนุมูล (radical interaction) โดยอนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลอีกตัวหนึ่ง เกิดผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีสถานะของปฏิกิริยาที่ถูกปรับเปลี่ยนอยู่ 2 กระบวนการคือ การสกัดไฮโดรเจน (hydrogen abstraction) และการรวมตัว ซึ่งมีผลมากกว่าปฏิกิริยาอื่นๆ



การดูดซับด้วยถ่านและซีเมนต์จากการเผาถ่าน

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบในของไหล โดยเลือกดูดซับองค์ประกอบหรือกลุ่มองค์ประกอบบางชนิด (adsorbate) ลงบนพื้นผิวตัวดูดซับ (adsorbent) ตัวดูดซับมักจะบรรจุเป็นเบดนิ่ง (fixed bed) อยู่ในหอดูดซับ (adsorber) โดยมีของไหลเคลื่อนที่เข้าสู่หอดูดซับ เมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างของไหลกับตัวดูดซับที่สามารถดูดซับองค์ประกอบบางชนิดในของไหลได้แล้ว จะเกิดการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสทั้งสอง การดูดซับจะดำเนินจนตัวดูดซับเข้าใกล้สภาวะอิ่มตัวจึงหยุด ประสิทธิภาพของตัวดูดซับจะลดลงตามเวลาและตัวดูดซับในหอดูดซับจะถูกทำความสะอาดโดยกระบวนการคายซับหรือการดีซอร์ปชัน (desorption) เพื่อกำจัดสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของแข็งให้ออกไปให้มากที่สุด ขั้นตอนดีซอร์ปชันนี้เรียกว่าการฟื้นฟูสภาพ (regeneration) ก่อนที่จะนำสารดูดซับกลับมาใช้ในกระบวนการดูดซับครั้งใหม่ต่อไป

ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นของแข็งที่มีรูพรุนขนาดเล็ก มีความพรุนสูง เพื่อให้ทั้งพื้นผิวและปริมาตรภายในของรูพรุนมีค่าสูง ถ่านกัมมันต์ได้จากการเผาของไม้ กะลา ฟืช และวัสดุธรรมชาติต่างๆ โดยทั่วไปมักมีพื้นผิว $300 - 1200 \text{ m}^2/\text{g}$ และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน $10 - 60$ อังสตรอม การดูดซับจะเกิดขึ้นที่บริเวณผนังของรูพรุน ด้วยปัจจัยของความแตกต่างของน้ำหนักรวม โมเลกุล รูปร่าง โมเลกุล ความมีขั้ว พิเศษ อุณหภูมิ ความดันของระบบ โดยทั่วไปตัวดูดซับจะมีความสามารถสูงในการดูดซับองค์ประกอบที่ต้องการแยก ทำให้ยากต่อการทำความสะอาดตัวดูดซับให้สมบูรณ์เหมือนเป็นวัสดุใหม่ ดังนั้นสภาพของตัวดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพจะยังคงมีการปนเปื้อนขององค์ประกอบนั้นติดอยู่ ขั้นตอนการดูดซับจะประกอบด้วยหลายขั้นตอน คือ องค์ประกอบที่จะถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบัลค์ของไหลแพร่เข้าสู่บริเวณพื้นผิวรอบนอกของของแข็ง จากนั้นตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในรูพรุน ไปยังพื้นผิวของรูพรุนเพื่อเข้าไปเกาะที่ผิวรูพรุน แรงที่กระทำระหว่างโมเลกุลกับพื้นผิวของแข็งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) สำหรับการดูดซับทางกายภาพบางครั้งอาจเรียกว่า การดูดซับแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals adsorption) เพราะเป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งเป็นแรงที่มีค่าไม่สูงนัก กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน ซึ่งปริมาณความร้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดการดูดซับ โดยที่ปริมาณความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำกว่าทางเคมีมาก การดูดซับส่วนมากดำเนินการในหอดูดซับแบบ เบนนิ่งของตัวดูดซับแสดงได้ดังรูป 1



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการดูดซับของเบนนิ่ง

การหาปริมาณของตัวถูกดูดซับในสารป้อนต่อพื้นที่หน้าตัด F_A หาได้จากความเร็วผ่านผิวกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารป้อนดังนี้

$$F_A = u_0 c_0 \tag{4}$$

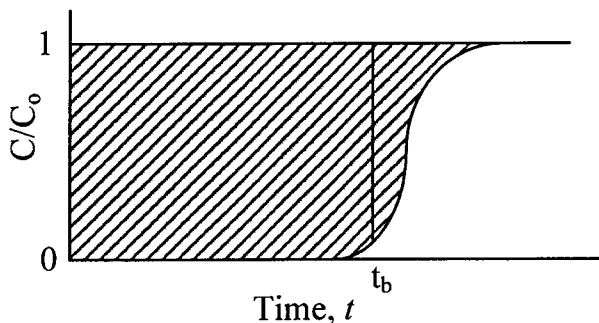
การดูดซับอุดมคติโดยไม่มีความต้านทานของการถ่ายโอนมวล การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไหลที่ทางออกจากระบบจะเปลี่ยนจากศูนย์มายังความเข้มข้นเริ่มต้นทันทีที่เวลาอุดมคติ t^* จึงได้เส้นกราฟเบรคทรูเป็นเส้นตรงแนวตั้ง ซึ่งการดูดซับของของแข็งเพิ่มขึ้นทันทีจาก $W_0 \rightarrow W_{sat}$ ดังนั้นปริมาณทั้งหมดของตัวถูกละลายในสารป้อนที่ถูกดูดซับภายในเบดในช่วงเวลา t^* ต่อพื้นที่หน้าตัดเบดสามารถหาได้จากการคูณมวลดังนี้

$$u_0 c_0 t^* = L \rho_b (W_{sat} - W_0)$$

$$t^* = \frac{L \rho_b (W_{sat} - W_0)}{u_0 c_0} \quad (5)$$

โดยที่ u_0 = ความเร็วผ่านผิว (superficial velocity) และ c_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารป้อนที่สถานะเริ่มต้น L = ความสูงของเบด ρ_b = ความหนาแน่นบัลคซ์ของเบด W_0 = การดูดซับที่สถานะเริ่มต้น (initial adsorbate loading) และ W_{sat} = การดูดซับที่สถานะอิ่มตัว (saturation adsorbate loading) หรือค่าการดูดซับที่สถานะสมดุล (equilibrium adsorbate loading)

ในทางปฏิบัติหอดูดซับจะต้องหยุดการทำงานที่เวลาหยุด t_b ซึ่งน้อยกว่าเวลาอุดมคติ ดังนั้นปริมาณจริงที่ตัวถูกละลายจะถูกดูดซับได้จะมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ดูดซับได้ที่สถานะอิ่มตัวเสมอ การหาปริมาณจริงของตัวถูกละลายบนของแข็งสามารถหาได้จากการอินทิเกรตเส้นกราฟเบรคทรูจากเวลาเริ่มต้นจนกระทั่งถึงเวลาหยุด t_b หรือคำนวณจากพื้นที่เหนือเส้นกราฟจนกระทั่งถึงเวลาหยุดนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2 ช่วงการถ่ายโอนมวลของการดูดซับ MTZ (mass transfer zone) เทียบกับความสูงเบด แสดงถึงประสิทธิภาพของหอดูดซับ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น อัตราการถ่ายโอนมวล อัตราการไหลผ่านเบด และลักษณะของไอโซเทิร์ม เป็นต้น



รูปที่ 2 แสดงเส้นกราฟเบรคทรูในช่วงการถ่ายโอนมวล

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
2. ถังปฏิกรณ์ใช้บีกเกอร์ขนาด 500 มล.
3. พีเอชมิเตอร์ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AG สำหรับวัดพีเอชของระบบ
4. วิเคราะห์สีโดยวิธีแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co Unit) โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร
5. วิเคราะห์ COD โดยวิธี Open reflux ตามมาตรฐาน APHA, AWWA and WEF. 1995.

สารเคมีสำหรับปฏิกิริยาเฟนตันประกอบด้วย

1. เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
3. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
4. สารดูดซับจะใช้ซีเถ้าและผงถ่านจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์ม จากโรงงานบริษัท พัทธ์ภัยปาล์มออยส์ จำกัด จังหวัดตรัง

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสี

โดยการใช้ซีเถ้าและผงถ่านจากทะเลสาบปาล์มและเส้นใยปาล์มในปริมาณ 10, 20, 60, 100, 120, และ 140 กรัมต่อตัวอย่างน้ำสี 1 ลิตร กวนที่ความเร็วรอบ 120 rpm เป็นเวลา 5 และ 20 นาที หลังจากนั้นกรองแยกผงถ่านออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 (11 ไมครอน) และวัดค่าสีด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

3.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการกวนสารดูดซับ

โดยใช้ตัวอย่างน้ำสี 1 ลิตร ใส่ขี้เถ้า 140 กรัม กวนด้วยความเร็วรอบคงที่ 120 rpm เก็บตัวอย่างครั้งละ 10 มล. ที่เวลา 5, 10, 20 และ 30 นาที กรองแยกขี้เถ้าด้วยกระดาษกรองและวัดค่าสี

3.2.3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการดูดซับด้วยขี้เถ้าและผงถ่านจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์ม

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการดูดซับด้วยขี้เถ้าและผงถ่านจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์ม ในชุดปฏิบัติการขนาดห้องปฏิบัติการแบบแบทช์ (batch) โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 500 มล. ใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม 200 มล. กวนด้วยเครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็ก

จากการค้นคว้าและการศึกษาเบื้องต้นโดยการเปรียบเทียบผลการทดลอง F1 และ F2 (ตารางที่ 1) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 3 และสัดส่วนการใช้ FeSO_4 และ H_2O_2 ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของสารที่จะออกซิไดซ์ การศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติม FeSO_4 และ H_2O_2 ต่ำสุดเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมี ของน้ำสีจากน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาการเติม FeSO_4 ในช่วง 0.1 – 0.3 กรัม/ลิตร และเติม H_2O_2 (30%) ช่วง 0.2 – 0.4 มล./ลิตร นำตัวอย่างหลังจากเกิดปฏิกิริยาเฟนตันมาศึกษาปริมาณการใช้สารดูดซับที่เหมาะสม โดยใช้ผงถ่าน 10, 20, 30, 60 และ 80 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร กวนเป็นเวลา 20 นาที กรองแยกผงถ่านด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำน้ำที่กรองได้วัดค่าสีด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

ตารางที่ 1 ตารางการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารและ pH

ที่เหมาะสมในปฏิกิริยาเฟนตัน

ตัวอย่าง	FeSO_4 (g/l)	H_2O_2 (ml)	pH
F1	0.1	0.4	7.6
F2	0.1	0.4	3.0
F3	0.2	0.4	3.0
F4	0.1	0.6	3.0

3.2.4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัด COD

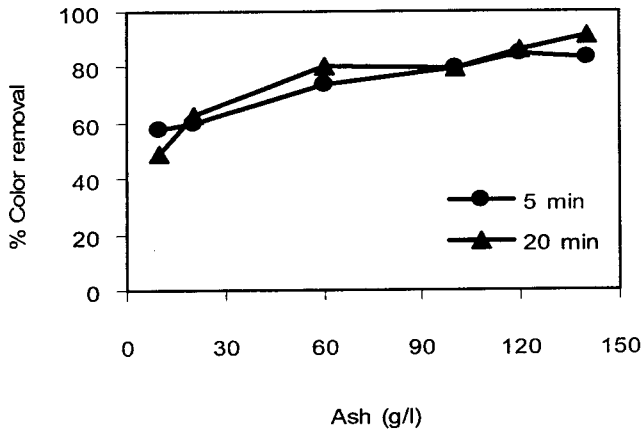
นำตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ ซึ่งผ่านการดูดซับด้วยซีเถ้าและผงถ่าน 20 g/l กรองด้วยกระดาษกรองและวิเคราะห์หาค่า COD

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. ผลของการบำบัดน้ำทิ้งด้วยสารดูดซับชนิดซีเถ้า

4.1.1 ผลของปริมาณสารดูดซับ

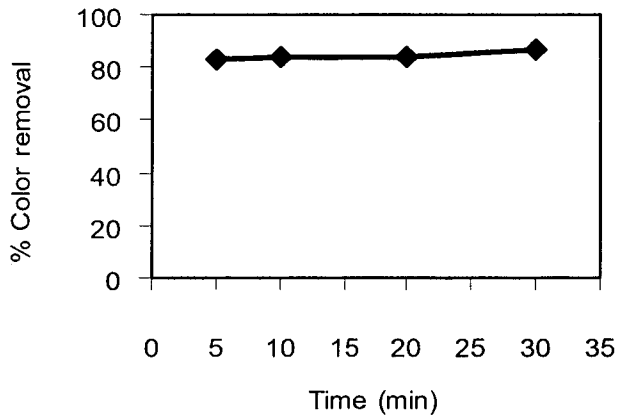
จากการศึกษาปริมาณการใช้สารดูดซับเพียงอย่างเดียวในการดูดซับสีในน้ำทิ้ง พบว่าปริมาณสารดูดซับมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 ซึ่งจากผลการทดลองการดูดซับด้วยสารดูดซับชนิดซีเถ้าสามารถดูดซับสีได้มากถึง 90 % แต่ทว่าปริมาณสารดูดซับที่ใช้ต้องใช้สูงถึง 140 กรัมต่อน้ำสี 1 ลิตร ซึ่งเวลาที่ใช้ในการดูดซับมีผลไม่มากนักในกรณีนี้



รูปที่ 3 ผลของปริมาณซีเถ้าต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี

4.1.2. ผลของเวลาในการดูดซับ

ผลการศึกษาเวลาในการดูดซับสีแสดงในกราฟรูปที่ 4 โดยในการศึกษาใช้ซีเถ้าปริมาณคงที่ที่ 140 g/l กวนที่เวลาต่างๆ พบว่าเวลาในการดูดซับที่ 5, 10 และ 20 นาทีมีผลต่อการดูดซับสีน้อยมาก ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีเกือบคงที่ ในขณะที่เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็น 30 นาทีก็พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

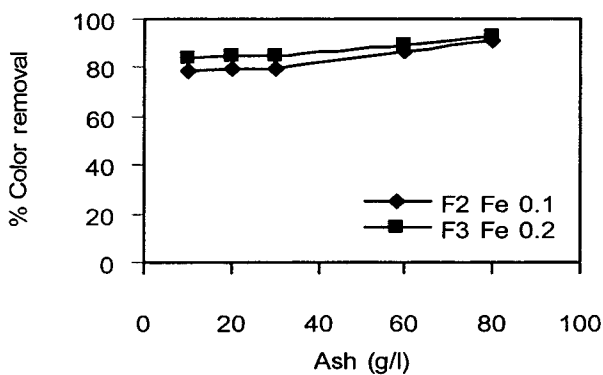


รูปที่ 4 ผลของเวลาในการดูดซับด้วยขี้เถ้าต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีในน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม

4.2. ผลของการบำบัดน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการใช้สารดูดซับ

4.2.1. ผลของปริมาณการใช้ FeSO_4

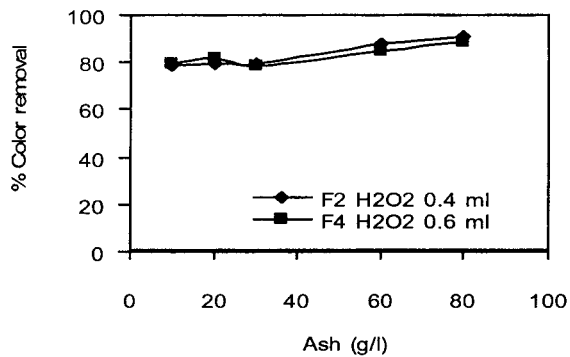
เปรียบเทียบการใช้ FeSO_4 ที่ 0.1 และ 0.2 g/l ในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน นำไปผ่านการดูดซับด้วยขี้เถ้าปริมาณที่เท่ากัน พบว่าการใช้ Fe^{2+} 0.2 g/l ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีกว่าการใช้ Fe^{2+} 0.1 g/l เล็กน้อยดังแสดงในกราฟรูปที่ 5 โดยเฉพาะเมื่อใช้ปริมาณสารดูดซับหรือขี้เถ้ามาก พบว่าทั้งสองสถานะ F2 และ F3 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นหากพิจารณาเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว เมื่อปริมาณสารดูดซับมีค่ามากการใช้ปริมาณ FeSO_4 0.1 g/l น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ปริมาณการใช้ FeSO_4 ที่ 0.1 และ 0.2 กรัมต่อน้ำสี 1 ลิตร

4.2.2 ผลของปริมาณการใช้ H_2O_2

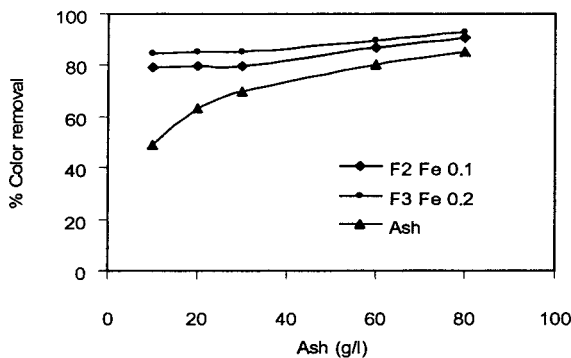
ผลการศึกษาปริมาณการใช้ H_2O_2 (30%) ที่เหมาะสมแสดงในกราฟรูปที่ 6 โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง F2 และ F4 ซึ่งปริมาณของ H_2O_2 มีผลต่อประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อย และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีอยู่ในช่วง 80 – 85% เมื่อพิจารณาในกรณีที่ปริมาณสารดูดซับมาก ปริมาณที่ของ H_2O_2 ที่เหมาะสมคือ 0.4 มล.



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ปริมาณการใช้ H_2O_2 ที่ 0.4 และ 0.6 มล.ต่อลิตรน้ำเสีย

4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยการใช้ปฏิกิริยาเฟนต์ันร่วมกับการดูดซับ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งด้วยสารดูดซับกับการใช้ปฏิกิริยาเฟนต์ันร่วมกับการใช้สารดูดซับ พบว่า การใช้ปฏิกิริยาเฟนต์ันที่สภาวะที่เหมาะสมกำจัดสีก่อนแล้วจึงใช้สารดูดซับจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งด้วยสารดูดซับกับการใช้ปฏิกิริยาเฟนต์ันร่วมกับการใช้สารดูดซับ

4.2.4 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งหลังการกำจัดสปีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการใช้ซีเถ้าดูดซับ กับ การใช้ซีเถ้าดูดซับเพียงอย่างเดียว

ผลการวิเคราะห์ค่า COD และ pH ของน้ำทิ้งก่อนการกำจัดสปี ซึ่งมีค่า COD 1186 mg/l ค่า pH 7.6 เมื่อผ่านการกำจัดสปีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่สภาวะการใช้ FeSO_4 0.1 และ 0.2 g/l และใช้ H_2O_2 (30%) 0.4 ml/l นำมาผ่านการดูดซับด้วยซีเถ้าและผงถ่าน 20 g/l พบว่าสภาวะที่ศึกษาสามารถลดค่า COD ได้ประมาณ 68 % เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ซีเถ้าอย่างเดียว 120 g/l ซึ่งสามารถลดค่า COD ได้ใกล้เคียงกัน ส่วนค่า pH ประมาณ 8.5 ก่อนข้างสูงเล็กน้อยหากจะนำน้ำไปใช้ประโยชน์จะต้องปรับพีเอชก่อน ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการกำจัดสปีและหลังการและหลังการกำจัดสปีที่สภาวะต่างๆ

Fenton condition	Ash (g/l)	COD (mg/l)	pH น้ำทิ้งหลังกำจัดสปี
น้ำเสียก่อนกำจัดสปี	-	1186	7.6
F1	20	601	8.3
F2	20	397	7.5
F3	20	383	7.4
Ash	20	529	8.3
Ash	120	334	8.5

5. ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้วิธีการบำบัดด้วยเฟนตัน ต้องพิจารณาด้านทุนค่าสารเคมี ได้แก่ ค่ากรดเพื่อปรับ pH ของน้ำทิ้งก่อนให้เท่ากับ 3 ในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน ค่าสารเคมีเฟนตัน ได้แก่ FeSO_4 H_2O_2 และการปรับ pH หลังการทำปฏิกิริยาเฟนตันอาจใช้ซีเถ้า ส่วนวิธีการดูดซับด้วยซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาขยะพลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในโรงงาน มีคุณสมบัติเด่นคือ มีรูพรุนขนาดไมโครพอร์ (micropore) ช่วยในการดูดซับสีได้ นับว่าเป็นการลดช่วยต้นทุนการบำบัดสีได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการใช้ซีเถ้าในปริมาณที่มาก หรือต้องเปลี่ยน

ใหม่บ่อยจึงเป็นประเด็นที่น่าจะพิจารณา จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าต้นทุนค่าสารเคมีที่ต้องใช้ในการบำบัดในการใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน ประมาณ 25-30 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย นับว่าเป็นต้นทุนที่สูง เมื่อพิจารณาการที่จะนำน้ำที่บำบัดได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นน้ำล้างพื้น และเมื่อเปรียบเทียบกับ การซื้อน้ำประปา ซึ่งราคาประมาณ 15 บาทต่อคิวบิกเมตร

6. สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการกรองผ่านซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาทะลายปาล์มของบอยล์เลอร์ ปริมาณ 140 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มได้ประมาณ 90 % เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กชนิดไมโครพอร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสีได้ดี แต่ทว่าในการกำจัดสีด้วยการดูดซับเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ทั้งนี้เนื่องจากต้องใช้ซีเถ้าเป็นจำนวนมาก

และเมื่อนำปฏิกิริยาเฟนตันซึ่งเป็นวิธีการกำจัดสีด้วยวิธีทางเคมีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งมาใช้ ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาทะลายและเส้นใยปาล์ม พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี อีกทั้งปริมาณของซีเถ้าที่ต้องการมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการกำจัดสีด้วยการดูดซับเพียงอย่างเดียว และจากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเฟนตันเมื่อปริมาณซีเถ้าที่ศึกษา 20 g/l คือใช้ FeSO_4 0.1 g/l, H_2O_2 (30%) 0.4 ml/l ได้ประสิทธิภาพการกำจัดสีประมาณ 80 – 85 % ลดค่า COD ได้ประมาณ 68 %

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาเบื้องต้น จากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม(PTRU) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโครงการ ITAP คณะวิศวกรรมศาสตร์ ร่วมกับบริษัท พัทธ์ภัยปาล์มออยล์ จำกัด ขอขอบคุณ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาตรวจสอบบทความ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา ศรีสุวรรณ โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม รายงานการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดินปีงบประมาณ 2542 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 1-4.

- [2] Bigda R.J. 1995. Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment. *Chemical Engineering Progress*. 91(12), 62-66.
- [3] C. Bogatu, D. Botau, M. Gheju and D. Coheci. 2002. Study of Azodyes Oxidation with Fenton Reagent by UV-Vis Spectroscopy. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 3, No.1, 210-214
- [4] Nguyen The Dong, Pham thi Thanh Ha, and Phan Do Hung. Color and COD removal of dyeing wastewater by combination treatment of coagulation and fenton oxidation. Institute of Environmental Technology, NCST.
- [5] Kallel, M., Belaid, C., Boussahel, R., Ksibi, M., Montiel, A., and Elleuch, B. 2008. Olive mill wastewater degradation by Fenton oxidation with Zero-Valent iron and hydrogen peroxide. *Journal of Hazardous Materials*. (ScienceDirect, Article in Press, Corrected Proof)
- [6] Tunlawit Satapanajaru, Jukkrit Mahujchariyawong and Pattna Anurakpongsatorn. Reusing Wastewater from Bleaching Process of Textile Industry for Decolorization by Fenton's Oxidation. *Thai Environmental Engineering Journal* Vol.19 No.1 : 67-80

บทที่ 3

การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วย ซีเถ้าจากเส้นใยและทะลายปาล์ม

จรรยา อินทมณี¹ จันทิมา ชั่งศิริพร² และจรัญ บุญกาญจน์³

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) มีสีน้ำตาลเข้มและมีค่า COD สูง โดยมีค่าสีประมาณ 2950 หน่วยสี(Pt-Co Unit) และค่า COD ประมาณ 1200 mg/l ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการรวมตะกอนด้วย CaO และพอลิเมอร์ชนิด PAM ร่วมกับการใช้ซีเถ้าจากเส้นใยและทะลายปาล์มในการดูดซับสี โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสี จากการศึกษาพบว่า สภาวะเหมาะสมในการรวมตะกอน คือ pH 6 และ ใช้ CaO 4 g/l PAM 0.12 g/l ทำให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดสีสูงถึง 87% เมื่อนำน้ำที่ผ่านการรวมตะกอนมาผ่านการกรองด้วยซีเถ้าในแพคคอลัมน์จำนวน 2 คอลัมน์ที่ต่อกันแบบอนุกรมด้วยซีเถ้ารวม 200 g สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ประสิทธิภาพในช่วงเริ่มต้นการกรอง 500 ml สูงสุดถึง 93% ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อปริมาตรการกรองเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาตรการกรอง 2 ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดสีเฉลี่ยประมาณ 85% และสามารถลดค่า COD ได้ 75% ซึ่งวิธีการใช้ CaO ร่วมกับการใช้ PAM และซีเถ้าเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนการดำเนินการต่ำ และเป็นการนำซีเถ้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

คำหลัก การกำจัดสี น้ำมันปาล์มดิบ CaO การรวมตะกอน สารดูดซับ

¹กศ.บ. (เคมี) ผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ชำนาญานพิเศษ ²Ph.D. (วิศวกรรมเคมี) ผู้ช่วยศาสตราจารย์

³Ph.D. (วิศวกรรมเคมี) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมันนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ของประเทศไทย กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) ที่นิยมใช้กันมากโดยทั่วไป คือ การบีบและการแยกโดยใช้ไอน้ำ จึงเป็นที่มาของการเกิดน้ำเสียปริมาณมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ การบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่นิยมใช้แบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) [1] ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด หากปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะทำให้พืชน้ำอันเป็นแหล่งผลิตออกซิเจนไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ส่งผลแหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้ เหตุผลดังกล่าวทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างบ่อกักเก็บ สีของน้ำทิ้งนี้เกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน เป็นต้น [2] การย่อยสลายทางชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำเสียบ่อดักท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ วิธีการในการกำจัดสีในน้ำทิ้งทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางชีววิทยาโดยใช้เอ็นไซม์และจุลินทรีย์ วิธีทางเคมี ได้แก่ การใช้โพสิเพอร์ริกร่วมกับด่าง การใช้ปฏิกริยาเฟนตัน การใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ เพอร์ริกซัลเฟต และวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นต้น [2] การใช้ปฏิกริยาเฟนตัน [3] เป็นวิธีการกำจัดสีที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงแต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้สารเคมีในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง การตกตะกอนด้วยสารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ เพอร์ริกซัลเฟตและ CaO เป็นวิธีการทางเคมีที่สามารถนำมาใช้ในการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำได้ การศึกษาในครั้งนี้เพื่อหาแนวทางในการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำและมีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็น การตกตะกอนในสภาวะเป็นเบสหรือใช้สารรวมตะกอน นับว่าเป็นวิธีการที่มีการใช้สารเคมีน้อย ราคาไม่แพงและหาซื้อได้ง่าย สารดูดซับชนิดซีดีแฉะและผงถ่านจากการเผาทะลายนและเส้นใยปาล์มเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ (boiler) เป็นของเหลือทิ้งจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จากการวิเคราะห์ซีดีแฉะและผงถ่านจากการเผาทะลายนปาล์มดังกล่าวพบว่า มีพื้นที่ผิวทั้งหมด (BET surface area) ประมาณ $100 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโคร (micropore surface area) ประมาณ $90 \text{ m}^2/\text{g}$ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นสารดูดซับได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการรวมตะกอนด้วย CaO และพอลิเมอร์ ร่วมกับการใช้ซีดีแฉะจากเส้นใยและทะลายนปาล์มในการดูดซับสี โดยทำการทดลองแบบเบทช์ (batch) ที่มีการกวนผสมแบบกวนเร็วในตอนแรกและตามด้วยการกวนช้า เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาหาขั้นตอนการ

ดำเนินการขบวนการและหาสถานะดำเนินการที่เหมาะสมในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์และสีจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้า เพื่อการนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

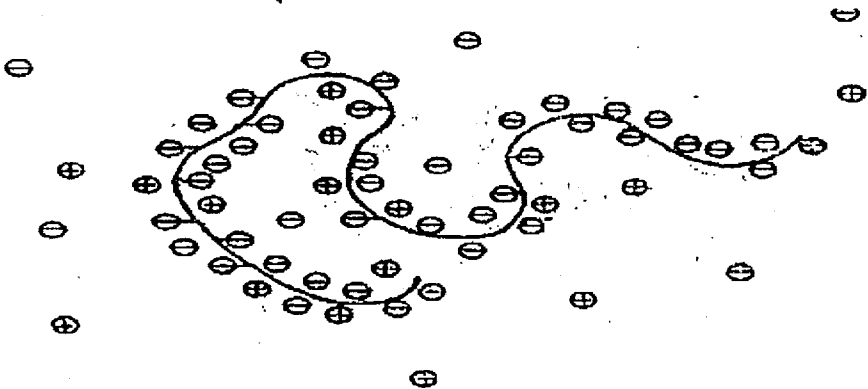
2. ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

การรวมตะกอนด้วย CaO

การตกตะกอนโดยสารเคมี นิยมใช้ในการตกตะกอนพวกสารแขวนลอย โลหะหนัก และตามด้วยกระบวนการกรอง แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นสารที่นิยมใช้ในการเพิ่มความเค็มให้กับน้ำในระบบการทำน้ำอ่อน (water softening plants) เมื่อละลายน้ำจะได้ Ca(OH)_2 เมื่อเติมในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นตัวทำให้เกิด CaCO_3 ซึ่งมีบทบาทเหมือนกับเป็นสาร Coagulant ชนิดหนึ่งสามารถกำจัดความกระด้างและสารแขวนลอยได้

โพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide: PAM)

Polyacrylamide เป็นสารช่วยรวมตะกอน (coagulant aid) คือ สารเคมีที่เติมลงในน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสาร Coagulant โดย Coagulant Aid จะต้องใช้ควบคู่กับ Coagulant ไม่สามารถใช้อย่างเดียวได้ เช่น Polymer (cationic polymer, anionic polymer) ชนิด Cationic มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ซึ่งระดับของประจุบนโพลีเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนอิออนของ nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด non-ionic-polyacrylamide หรือเป็นการรวม cationic monomer ด้วย acrylamide รวมกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วย แสดงดังรูปที่ 1 polymer ชนิด cationic polymer จะนิยมใช้งานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนสดนั้นมีประจุลบ



รูปที่ 1 แสดงรูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย (USEPA,1979)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

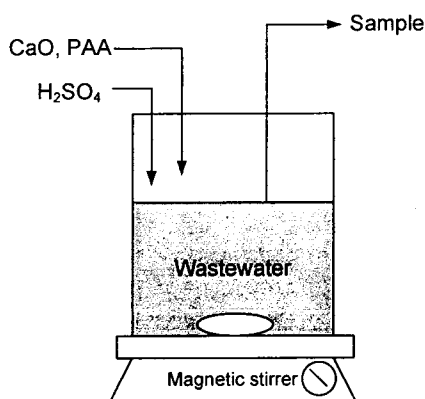
3.1 สารเคมี

สารเคมีสำหรับศึกษาการรวมตะกอนในน้ำเสียเพื่อการบำบัดสีมี 3 ชนิด คือ

1. แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
2. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 1 N.
3. พอลิเมอร์ชนิด Polyacrylamide (PAM)
4. สารดูดซับสำหรับการดูดซับสีใช้ขี้เถ้าจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์ม จากโรงงานบริษัทพิทักษ์ปาล์ม จำกัด จ. กระบี่
5. ตัวอย่างน้ำเสียบ่อสุดท้าย จากโรงงานบริษัทพิทักษ์ปาล์ม จำกัด จ. กระบี่

3.2 อุปกรณ์ชุดการทดลองแบบเบบท์

ชุดทดลองปฏิบัติการแบบเบบท์สำหรับการบำบัดสีในน้ำเสียประกอบด้วย อุปกรณ์ในการกวน เป็นเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ยี่ห้อ Eutech สามารถปรับความเร็วรอบในการกวนได้ในช่วง 30 – 100 rpm บีกเกอร์ขนาด 100 ml สำหรับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารรวมตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์สำหรับใช้ศึกษาการรวมตะกอนในการกำจัดสีในน้ำเสีย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1. การศึกษาการใช้ CaO ในการรวมตะกอน

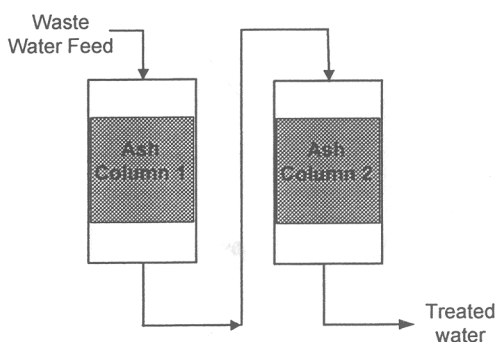
ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนเพื่อการกำจัดสีในน้ำเสียด้วย CaO โดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำเสีย 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml. และสภาวะที่ทำการศึกษาคือ pH ช่วง 2-8 ใช้ CaO ช่วง 1-8 g/l ทำการกวนน้ำเสียในบีกเกอร์ด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) โดยกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 rpm 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 rpm 10 นาที วางให้ตกตะกอน 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำส่วนบน 10 ml เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าสีของน้ำเสียเปรียบเทียบกับน้ำเสียตั้งต้น

3.3.2. การศึกษาการใช้ CaO ร่วมกับพอลิเมอร์ในการรวมตะกอน

ใช้สภาวะ pH ที่เหมาะสมในข้อ 1 ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ ชนิด PAM ร่วมในการรวมตะกอน โดยศึกษาปริมาณการเติม CaO ช่วง 1-5 g/l และใช้ PAM คงที่ 0.12 g/l หลังจากกวนผสม 30 นาที เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าสีของน้ำเสีย

3.3.3. การทดลองดูดซับสีในแพคคอลัมน์ (packed column)

คอลัมน์ดูดซับสีในน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิดแพคคอลัมน์ เพื่อใช้ในการศึกษาการดูดซับสีด้วยซีเถ้าจากเส้นใยและทะเลสาปาล์มที่สภาวะที่เหมาะสม โดยคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม. บรรจุซีเถ้าชุดละ 100 g. ต่อกันเป็นแบบอนุกรมจำนวน 2 คอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยซีเถ้า โดยการนำน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยสภาวะที่เหมาะสม กรองผ่านคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง โดยใช้น้ำเสียปริมาตร 2 ลิตร ป้อนผ่านชุดกรอง อย่างต่อเนื่องผ่านคอลัมน์ 1 ทางส่วนบนของคอลัมน์ และนำน้ำที่ได้จากส่วนล่างของคอลัมน์ 1 ไปป้อนต่อยังคอลัมน์ 2 เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองจากคอลัมน์ที่ 2 ครั้งละ 50 ml โดยเก็บตามช่วงปริมาตรที่ป้อนคือ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ลิตร ตามลำดับ วิเคราะห์ค่าสีของน้ำเสีย



รูปที่ 3 แพคคอลัมน์สำหรับศึกษาการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยซีเถ้าจากเส้นใยและทะเลสาปาล์ม

3.3.4. วิธีการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

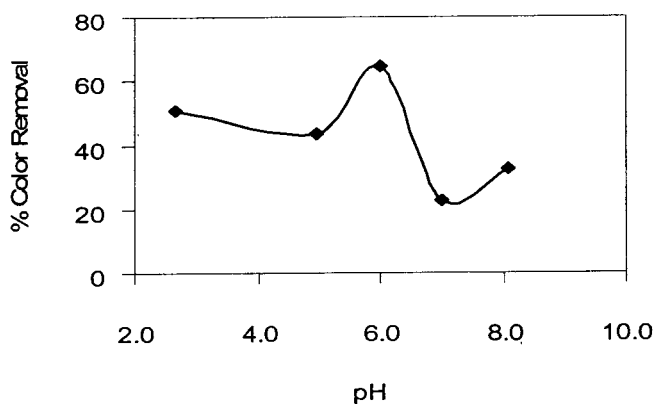
1. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นสีของตัวอย่างน้ำเสียเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยใช้วิธีแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co Unit) โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร
2. วัดค่า pH ของน้ำเสียโดยใช้เครื่อง pH มิเตอร์ ยี่ห้อ Mettler รุ่น AG
3. วิเคราะห์ COD โดยวิธี Open reflux ตามมาตรฐาน APHA, AWWA and WEF. 1995.
4. การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสี ตามสมการที่ 1

$$\text{Color removal eff. (\%)} = \frac{\text{Color}_{in} - \text{Color}_{out}}{\text{Color}_{in}} \times 100 \quad (1)$$

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. ผลการศึกษาอิทธิพลของค่า pH การรวมตะกอนด้วย CaO

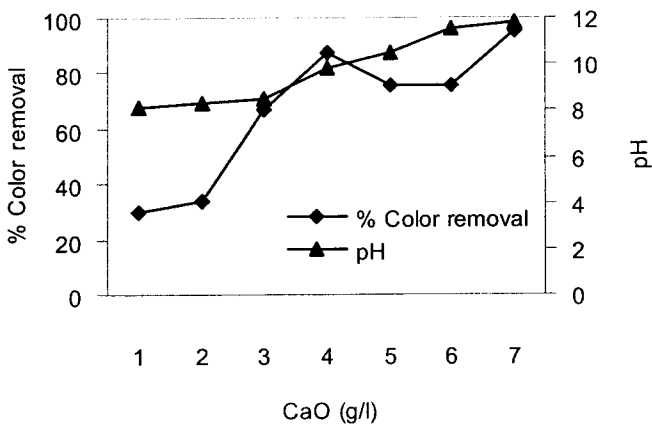
ทำการโดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำเสีย 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml. และสภาวะที่ทำการศึกษา คือ pH ช่วง 2-8 ใช้ CaO คงที่ 4 g/l ทำการกวนน้ำเสียในบีกเกอร์ด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) โดยกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 rpm 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 rpm 10 นาที วางให้ตกตะกอน 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำส่วนบน 10 ml เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าสีของน้ำเสียเปรียบเทียบกับน้ำเสียตั้งต้น พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ pH 6 ซึ่งให้ประสิทธิภาพกำจัดสี 64% ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลของค่า pH ของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการรวมตะกอนด้วย CaO

4.2. ผลการศึกษาการใช้ CaO รวมตะกอน ร่วมกับการใช้พอลิเมอร์

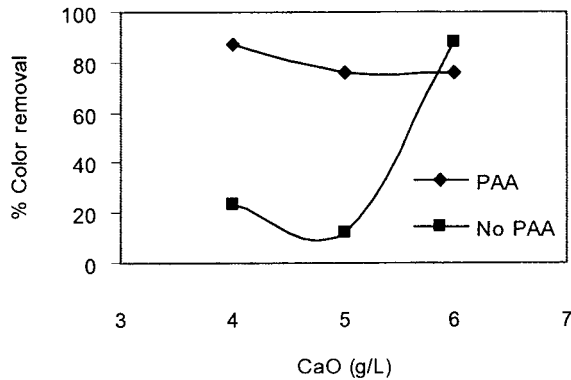
จากการศึกษาการใช้พอลิเมอร์ชนิด PAM ร่วมในการรวมตะกอน โดยสภาวะที่ใช้ คือ pH 6 เดิม CaO ในช่วง 1-5 g/l และใช้ PAM 0.12 g/l พบว่าเมื่อ CaO เพิ่มขึ้นในช่วง 1-5 g/l ทำให้การกำจัดสีมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะที่สภาวะที่เหมาะสมประสิทธิภาพเพิ่มจาก 64% เป็น 87% แต่เมื่อใช้ CaO เพิ่มขึ้นช่วง 5-6 g/l พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง แสดงว่าการเพิ่ม CaO มากขึ้นทำให้ค่า pH สูงขึ้น สภาวะการรวมตะกอนไม่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งด้วย CaO ร่วมกับ PAM และผลของปริมาณการเติม CaO ต่อค่า pH ของน้ำทิ้ง

4.3. ผลการใช้พอลิเมอร์ PAM ร่วมกับ CaO ในการรวมตะกอน

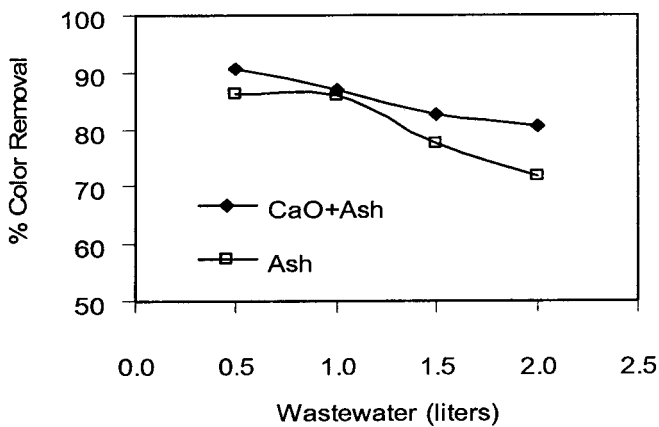
ผลการศึกษาเปรียบเทียบการไม่เติมพอลิเมอร์ ร่วมกับ CaO ในการรวมตะกอน โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของ CaO 4-6 g/l พบว่าที่การใช้ CaO 4-5 g/l และเติม PAM จะช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีกว่าการไม่ใช้ PAM และพบว่าการรวมตะกอนด้วย CaO 6 g/l โดยไม่ใช้ PAM ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงถึง 90% ดังกราฟรูปที่ 6 แต่ pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้จริง



รูปที่ 6 ผลการศึกษาการไม่ใช้ PAM ร่วมในการรวมตะกอนของน้ำทิ้งด้วยสารรวมตะกอน CaO

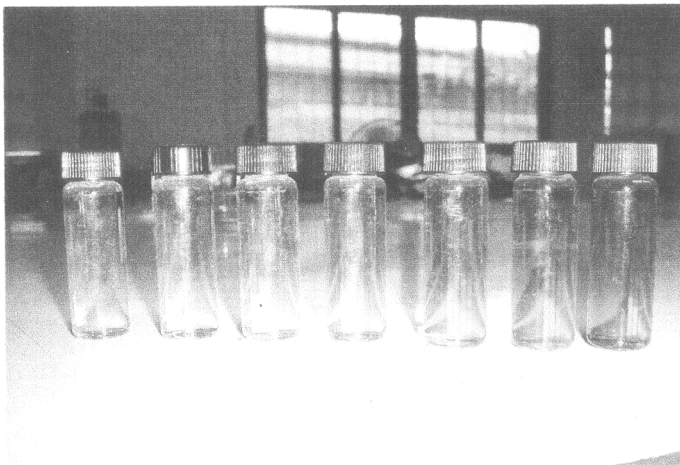
4.4. ผลการศึกษาการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยซีเมนต์ในแพคคอลัมน์

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยการดูดซับด้วยซีเมนต์ ดำเนินการโดยการนำน้ำเสียตัวอย่างและน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วย CaO และ PAM ที่สภาวะที่เหมาะสม กรองผ่านแพคคอลัมน์ เก็บตัวอย่างน้ำเสียซึ่งผ่านการกรองคอลัมน์ที่ 2 ทุกๆ ปริมาตรการกรอง 0.5 ลิตร ประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสีจากความเข้มข้นสีของน้ำเสียก่อนการบำบัด และหลังจากการกรองผ่านแพคคอลัมน์ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีประมาณ 90% ที่ปริมาตรการกรอง 0.5 ลิตร เมื่อปริมาตรการกรองเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพลดลง และประสิทธิภาพที่ได้ดีกว่าการกรองด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียวประมาณ 10 % ผลดังกราฟรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่ปริมาณการใช้ CaO 4 g/l เปรียบเทียบกับการดูดซับด้วยซีเมนต์

จากการทดลองดังกล่าว พบว่า ชีวเถ้าจากเส้นใยและทะเลสาบปาล์ม 200 กรัม สามารถดูดซับสีในน้ำเสียได้ประมาณ 2 ลิตร หลังจากนั้นน้ำที่ผ่านการกรองจะเริ่มมีสีเข้มขึ้น ดังรูปที่ 8 และเมื่อคิดประสิทธิภาพรวมของระบบสำหรับการกรองน้ำปริมาตร 2 ลิตร ด้วยชีวเถ้า 200 กรัม กำจัดสีได้เฉลี่ย 85% ดังนั้น ชีวเถ้า 1 กิโลกรัม สามารถกรองน้ำสีที่ผ่านการรวมตะกอนที่สภาวะที่เหมาะสมได้ประมาณ 10 ลิตร



รูปที่ 8 น้ำเสียที่ผ่านการกรองอย่างต่อเนื่องด้วยชีวเถ้าจากทะเลสาบปาล์ม

4.5. ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยการรวมตะกอนด้วย CaO 4 g/l และผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยชีวเถ้า 200 g พบว่าให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ประมาณ 75% เปรียบเทียบกับการใช้ชีวเถ้าอย่างเดียวประสิทธิภาพประมาณ 70% ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังการกำจัดสีด้วยการรวมตะกอนร่วมกับการดูดซับด้วยชีวเถ้า

Parameter	Before Treatment	CaO 4 g/l + Ash 200 g	Ash 200 g
COD (mg/l)	1177	294	356
pH	8.1	8.7	8.7

4.6. เปรียบเทียบการกำจัดสีด้วยวิธี Fenton และการรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยชีวเถ้า

ผลเปรียบเทียบความต้องการสารเคมีและประสิทธิภาพการกำจัดสีแล้ว จะสังเกตว่า การรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการใช้ซีเถ้าเป็นตัวดูดซับ ใช้ต้นทุนสารเคมีต่ำกว่าการใช้ Fenton + Ash มาก ถึงแม้ว่าการใช้ซีเถ้าในการดูดซับจะใช้มากกว่าถึง 5 เท่า จึงเป็นการใช้ของเสียเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ และประสิทธิภาพหลังการกำจัดสีมีความใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการกำจัดสีด้วยวิธี Fenton และการรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้า

Fenton + Ash	CaO + Ash
1. สารเคมี - FeSO ₄ 0.1 g/l - H ₂ O ₂ (30%) 0.4 ml/l - H ₂ SO ₄ ปรับ pH เป็น 3	1. สารเคมี - H ₂ SO ₄ ปรับ pH เป็น 6 - CaO 0.4 g/l - PAM 0.12 g/l
2. Ash 20 g/l 3. Color removal 80-85 % 4. COD removal 68 % 5. pH หลังการบำบัด 8.5	2. Ash 100 g/l 3. Color removal 85 % 4. COD removal 75 % 5. pH หลังการบำบัด 8.7

5. สรุปผลการทดลอง

สภาวะเหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง คือ การรวมตะกอนที่ pH 6 ใช้ CaO 4 g/l และ PAM 0.12 g/l ร่วมกับการกรองผ่านซีเถ้าในแพคคอลัมน์จำนวน 2 คอลัมน์ที่ต่อกันแบบอนุกรมด้วยปริมาณซีเถ้ารวม 200 g ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 85% และระบบสามารถลดค่า COD ในน้ำทิ้งได้ 75% น้ำเสียหลังการบำบัด pH = 8.7 การใช้ CaO ร่วมกับ PAM และใช้ซีเถ้าเป็นสารดูดซับนี้เป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนการดำเนินการต่ำ โดยสามารถลดปริมาณการใช้ CaO และ PAM ได้ด้วยการนำน้ำมาผ่านการกรองด้วยซีเถ้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ด้วยปริมาณการใช้ซีเถ้าที่ไม่มากนัก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาเบื้องต้น จากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม(PTRU) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณบริษัท พัทธ์ภัยปาล์ม จำกัด ที่อนุเคราะห์น้ำเสียและขี้เถ้าจากทะเลสาบปาล์ม และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา ศรีสุวรรณ โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน สกัดน้ำมันปาล์ม รายงานการวิจัย งบประมาณแผ่นดินปีงบประมาณ 2542 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 1-4.
- [2] พูนสุข ประเสริฐสรรพ อรัญ หันพงษ์กิตติกุล และโสภา จันทภาโส เปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพทางเคมี และทางกายภาพ ว.สงขลานครินทร์ วทท. ปีที่ 23 (ฉบับพิเศษ) 2544 หน้า 808-819.
- [3] จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และพรศิริ แก้วประดิษฐ์ การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม โดยการใช้สารดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. 8-9 พฤษภาคม 2552. หน้า 78-81
- [4] Rajesh, K.S., Sankaralingam, P., Subramanian. S., Subrahamnyam, S.V. Color removal from Pulp and Paper Mill effluent-methods and industrial application-a review. IPPTA J. Vol.21. No.1. 2009. P143-148.
- [5] Nguyen The Dong, Pham thi Thanh Ha, and Phan Do Hung. Color and COD removal of dyeing wastewater by combination treatment of coagulation and fenton oxidation. Institute of Environmental Technology, NCST.
- [6] APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Method for The Examination of Water and Wastewater. 19th Ed.

บทที่ 4

การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยการโคแอกกูเลชันด้วย Polyaluminium Chloride ร่วมกับ Polyacrylamide

จรรยา อินทมณี¹ จันทิมา ชั่งสิริพร² และจรัญ บุญกาญจน์³

บทคัดย่อ

ปัญหาสีและค่า BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ ทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ สีดังกล่าวเกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคโรทีน โพลีฟีนอลแทนนิน และ เพคติน การย่อยสลายทางชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำทิ้งไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ ที่มีค่าสี 2945 Pt-Co Unit ค่า BOD 261 mg/l และ COD 1943 mg/lงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการบำบัดสีและสารอินทรีย์ ในรูปของค่า BOD ในน้ำทิ้งด้วยวิธีการโคแอกกูเลชันด้วย Polyaluminium Chloride (PACI หรือ PAC) ร่วมกับการรวมตะกอนด้วย Polyacrylamide (PAM) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน คือ การใช้ PAC 0.8 g/l ร่วมกับ PAM 2 mg/l ที่ pH 8.7 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 rpm 5 นาที และกวนช้าที่ 70 rpm 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีและ BOD ได้ 86% และ 70% ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของ PACI จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่ม PAM ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่เป็นตัวช่วยในการรวมตะกอนให้ตะกอนตกจมได้ดีขึ้น การดำเนินการนี้ใช้ต้นทุนค่าสารเคมีในการบำบัดน้ำทิ้งกิโลกรัมต่อประมาณ 11บาท

คำหลัก น้ำทิ้ง น้ำมันปาล์มดิบ โคแอกกูเลชัน การรวมตะกอน

¹กศ.บ. (เคมี) ผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ ชำนาญงานพิเศษ ²Ph.D. (วิศวกรรมเคมี) ผู้ช่วยศาสตราจารย์

³Ph.D. (วิศวกรรมเคมี) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

1. บทนำ

ปัญหาเรื่องสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) นับว่าเป็นปัญหาสำคัญทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างบ่อกักเก็บน้ำทิ้ง การปนเปื้อนของสีในน้ำทิ้งนี้เกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคลโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน เป็นต้น [1] การย่อยสลายทางชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำเสียบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ วิธีการกำจัดสีในน้ำมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้สารดูดซับ การรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการใช้ขี้เถ้าจากเสี้ยนใยและทะเลสาปาล์ม [2] และการใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน [3] เป็นต้น วิธีการเหล่านี้ให้ประสิทธิภาพที่สูงแต่มีข้อเสีย เช่น ต้องใช้ขี้เถ้า สารรวมตะกอน และสารเคมีในปริมาณมาก การใช้ปฏิกิริยาเฟนตันจะต้องปรับสภาพของน้ำทิ้งให้เป็นกรดก่อนการบำบัด ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง การใช้สาร โคแอกกูแลนต์ (coagulant) ชนิด Polyaluminium Chloride (PACI หรือ PAC) และ Polyacrylamide (PAM) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ สาร โพลีเมอร์ชนิด PACI เป็นสารรวมตะกอนที่นำมาใช้แทนสารส้ม เตรียมขึ้นจาก Al_2O_3 กับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเป็น $AlCl_3$ นำไปทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูง เติมสารส้มและซัลเฟตเพื่อลดความเข้มข้นของ Al_2O_3 ให้เหลือ 10-11 % เมื่อละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์เป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก (cationic) [4] ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีอนุภาคและสารแขวนลอยพวก Natural Organic Matter หลากหลายชนิด ซึ่งส่วนมากมีประจุเป็นลบ (negative charge) เมื่อรวมกับ PACI จะทำให้เกิดการดูดกันระหว่างประจุเกิดเป็นฟล็อก (flocs) เมื่อรวมตัวกันใหญ่ขึ้นตกจมได้เร็ว ส่วน Polyacrylamide (PAM) ที่นำมาใช้นี้เป็นโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ (anionic) ช่วยทำให้ตะกอนตกเร็วขึ้น ทั้ง PACI และ PAM นิยมใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เช่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในการรวมตะกอนและตกตะกอน เช่น ใช้ในการกำจัดสี Reactive dye และ Direct dye ในน้ำเสียสังเคราะห์ [5] การตกตะกอนน้ำที่มีความขุ่นสูง [6] และใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบของการผลิตน้ำประปา พบว่าสามารถลดค่า UV-254 และลดค่า DOC ได้ดี และพบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์กลุ่ม Humic acid like substances ได้ดี [7] ซึ่งสารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวทำให้น้ำได้ดินมีสีเหลืองอ่อนๆ กำจัดออกจากรน้ำได้ยาก

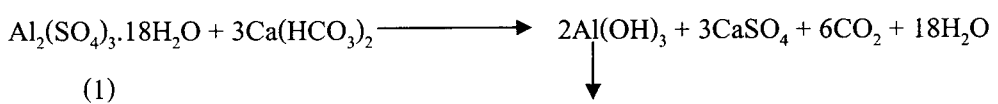
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่ปนเปื้อนสารจำพวกสารพวกแอนโทไซยานิน แคลโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน ด้วยวิธีการโคแอกกูแลชันด้วย PACI และ รวมตะกอนด้วย PAM ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการ

กำจัดสีด้วยระบบการกวนแบบแบทช์ โดยการศึกษาค่า pH ปริมาณการใช้ PACl ร่วมกับ PAM และความเร็วรอบในการกวน ต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการของระบบ ทำการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

2. ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

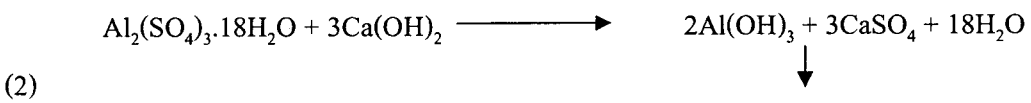
การรวมตะกอนและการตกตะกอนโดยการใช้สารส้ม (alum หรือ Aluminium sulfate)

สารส้มใช้เป็นสารสร้างตะกอนในน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา มีขายทั้งแบบเป็นผงก้อน และเป็นสารละลาย คุณสมบัติของสารส้ม คือ มีรสเปรี้ยวค่อนข้างฝาด เนื่องจากกรดกำมะถัน และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ฝืดและเหนียว เนื่องจากมีสารที่เป็นค้างอยู่ คือ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ มีฤทธิ์กัดกร่อน โดยเฉพาะโลหะและคอนกรีตบางชนิด ละลายน้ำได้ดี เกิดตะกอนของอะลูมิเนียมฟล็อก (alum floc) ,Al(OH)₃ ได้ง่าย สามารถตกตะกอนได้ดีในช่วง pH 5.5 - 8.0 สารส้มใช้เป็นสารสร้างตะกอนเพียงลำพังได้ดี ถ้าน้ำดิบมีค่าความเป็นด่าง (alkalinity) เพียงพอ ค่าความเป็นด่างโดยทั่วไปอยู่ในรูปของ CaCO₃ , Ca(HCO₃)₂ หรือ NaOH ถ้ามีความเป็นด่างไม่พอ ควรเติมปูนขาว (lime) เมื่อใช้สารส้มอย่างเดียวยังปฏิบัติของสารส้มที่เติมลงไปใต้น้ำดิบเกิดขึ้นดังนี้



ฟล็อก

เมื่อใช้สารส้มร่วมกับปูนขาว ปฏิบัติเกิดขึ้นดังนี้

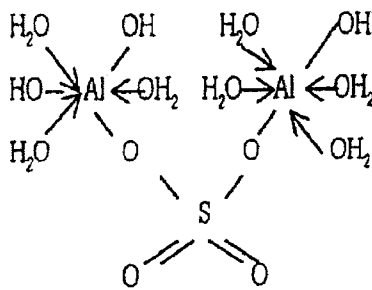


ฟล็อก

ในทางทฤษฎีสารส้ม 1 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างได้ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตรของ CaCO₃ แต่ค่าความเป็นด่างจะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าเติม 0.39 มิลลิกรัม/ลิตรของปูนขาว (Hydrated Lime) ดังนั้นในทางปฏิบัติควรให้มีค่าความเป็นด่างเหลืออยู่ในน้ำประมาณ 10 - 15 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้ามีเช่นนั้นจะมีปริมาณสารส้มเหลือซึ่งอาจผ่านเครื่องกรองออกไปเป็นสารส้มตกค้าง (Residual Alum) มีผลทำให้มีฤทธิ์กัดกร่อน

การใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PACl)

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารที่ทำให้ตกตะกอนตัวใหม่ ที่มีคุณสมบัติคล้ายสารส้ม คือสามารถทำให้เกิดการตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำได้ ซึ่งได้มีการผลิตสารนี้ขึ้นใช้แล้วในหลายประเทศ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ หรือชื่อในภาษาอังกฤษว่า Poly Aluminium Chloride หรือเรียกย่อ ๆ ว่า "PAC" หรือบางครั้งอาจใช้ชื่อย่อเป็น "PACI" เป็นเกลืออะลูมิเนียมที่มีสูตรเคมี คือ $Al_n(OH)_m Cl_{(3n-m)}$ เมื่อ $0 < m < 3n$ ประเภทสารโพลีอนินทรีย์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวโดยนิวเคลียสหลายตัว (โมเลกุลใหญ่) เช่น $(Al_6(OH)_{15})^{3+}$, $(Al_6(OH)_{15})^{3+}$, $(Al_6(OH)_{15})^{3+}$ เป็นต้น



รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

สารโพลีดังกล่าวนี้ มีความเป็นเบสิกเกลือแรงและประจุไฟฟ้าบวกมีคุณสมบัติจับตัวสูงและมีเสถียรภาพมาก ลักษณะทั่วไปของ PACI อาจอยู่ในรูปของสารละลายใส หรือขุ่นเล็กน้อย และอาจอยู่ในรูปของผงละเอียดสีขาว โดยทั่วไปมีคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของ PACI

รายการที่	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	1.1 ถึง 1.4
2	โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (คำนวณเป็น Al_2O_3)	5 ถึง 25
3	ความเป็นด่าง ร้อยละโดยน้ำหนัก	10 ถึง 83
4	ความขุ่น เอนทิยู (NTU) ไม่เกิน	50

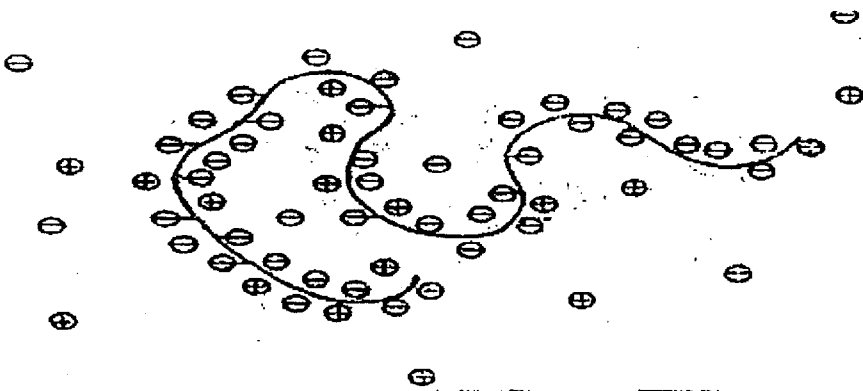
ที่มาของข้อมูล : สมพร โรจน์ดำรงการ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

PACI ทำให้สารต่างๆ ที่แขวนลอยในน้ำจับตัวกันได้โดยตะกอนสกปรกในน้ำที่มีประจุเป็นลบ จะรวมตัวกับประจุไฟฟ้าบวกของ PACI ในทุกขนาดของอนุภาคตะกอน PACI มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ และมีหลายนิวเคลียสทำให้เกิดตะกอนหนัก จึงสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วสามารถใช้ได้ทั่วไปในทุกกรณีกับน้ำที่ต้องการให้มีการตกตะกอน เช่น การผลิตน้ำประปา ตกตะกอนน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และโรงงานอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

การใช้โพลีอะคราไมด์ (Polyacrylamide: PAM)

Polyacrylamide เป็นสารช่วยรวมตะกอน (coagulant aid) คือ สารเคมีที่เติมลงในน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสาร Coagulant โดย Coagulant Aid จะต้องใช้ควบคู่กับ Coagulant ไม่สามารถใช้อย่างเดียวได้ เช่น

-Polymer (cationic polymer, anionic polymer) ชนิด Cationic มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ซึ่งระดับของประจุบนโพลีเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนอิออนของ nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด non-ionic-polyacrylamide หรือเป็นการรวม cationic monomer ด้วย acrylamide รวมกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วยแสดงดังรูปที่ 2 polymer ชนิด cationic polymer จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนสดนั้นมีประจุลบ

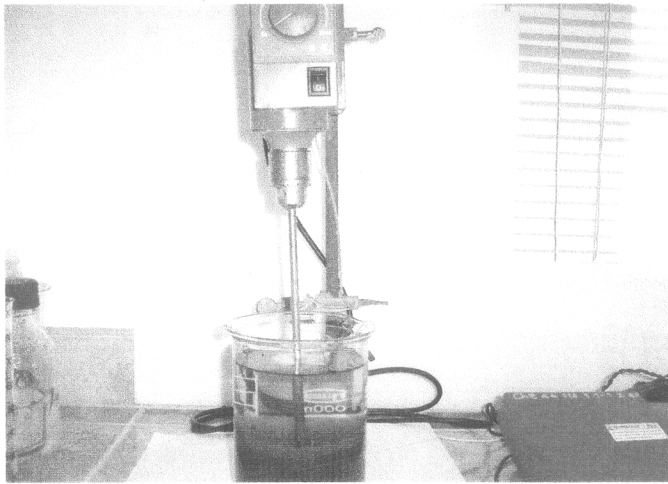


รูปที่ 1 แสดงรูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย (USEPA,1979)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1. อุปกรณ์การศึกษาการรวมตะกอน

การศึกษาการรวมตะกอนของสารสีในน้ำทิ้ง ดำเนินการทดลองด้วยชุดอุปกรณ์การกวนระดับห้องปฏิบัติการที่ประกอบด้วย เครื่องกวน (overhead stirrer) ใบกวนชนิด High-Shear Radiol Flow Impeller ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ในช่วง 50-2000 rpm ยี่ห้อ IKA® รุ่น EUROSTAR digital และใช้บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เป็นถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยใช้อุปกรณ์ควบคุม pH ในการรวมตะกอนด้วย pH meter ยี่ห้อ SCHOTT รุ่น CG842



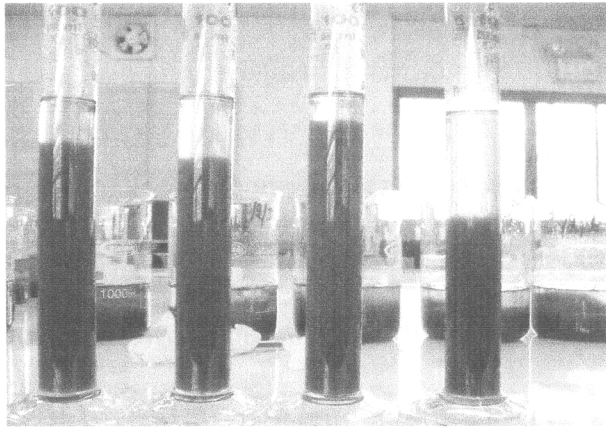
รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์ศึกษาการกวนระดับห้องปฏิบัติการ

3.2. อุปกรณ์ศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอน

การศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสารสีในน้ำทิ้งดำเนินการโดยใช้กระบอกตวงขนาด 100 มล. ใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการเติมสารรวมตะกอนแล้วปริมาตร 100 มล. ใช้เวลาการตกตะกอน 20 นาที และทำการประเมินประสิทธิภาพในการตกตะกอนที่เวลา 20 นาที โดยวัดปริมาตรของตะกอนซึ่งตกสู่ส่วนล่าง ดังแสดงภาพตัวอย่างในรูปที่ 4 ทำการคำนวณประสิทธิภาพในการตกตะกอนในรูปของ % By vol. of clear water โดย สมการที่ (1)

$$\% \text{By vol. of clear water} = \frac{X - Y}{X} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ X = ปริมาตรน้ำทิ้งทั้งหมด และ Y = ปริมาตรตะกอนที่ตก



รูปที่ 4 ชุดอุปกรณ์การศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอนของน้ำทิ้งด้วยการเติมสารรวมตะกอน

3.3. สารเคมีและตัวอย่างน้ำทิ้ง

1. Polyaluminium Chloride (PACl) 10% เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ผลิตในประเทศไทย จำหน่ายโดยบริษัท จีเค ไฟน์เคม จำกัด องค์ประกอบหลักทางเคมีคำนวณในรูปของ Al_2O_3 ประมาณ 10-11%
2. Polyacrylamide (PAM) ชนิดผง ยี่ห้อ ACCOFLOC A-120 เป็นโพลิเมอร์ชนิด Anionic มีประจุเป็นลบ ก่อนใช้งานทำการเตรียมเป็นสารละลายที่ความเข้มข้น 0.1% w/w
3. สารเคมีสำหรับปรับ pH ใช้ H_2SO_4 1 M และ NaOH 1 M
4. น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำจากบ่อสุดท้ายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของบริษัท ตรีงอุตสาหกรรม น้ำมันปาล์ม จำกัด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1. การศึกษาผลของค่า pH ต่อการกำจัดสีในน้ำทิ้งด้วย PACI

การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการ โคแอกกูเลชันและรวมตะกอนของน้ำเสียด้วย PACI โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ปรับ pH ในช่วง 6.0 - 8.0 เติม PACI 0.5 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 5 นาที ขณะกวนทำการวัดค่า pH ของระบบ หลังจากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที เก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีและประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบ

3.4.2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชันด้วย PACI

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ โคแอกกูเลชันและรวมตะกอนของน้ำเสียด้วย PACI โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร วัด pH ก่อนการทดลอง เติม PACI 0.2-2.0 g/l

กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm 5 นาที ขณะกวนวัด pH ของระบบหลังการเติม PACI และกวนซ้ำที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที เก็บตัวอย่าง แบ่งน้ำตัวอย่างที่ได้ใส่กระบอกตวง 100 มล. วางให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที วัดปริมาตรตะกอน ประเมินผลประสิทธิภาพในการตกตะกอน และเก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. ทำการวิเคราะห์ ค่าสีและประเมินผลประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.4.3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAM

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAM โดยใช้ ตัวอย่างน้ำทิ้ง 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร วัด pH น้ำเสียก่อนการบำบัด เติม PACI 0.2-2.0 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm 5 นาที ขณะกวนวัด pH ของระบบหลังการเติม PACI หลังจากนั้นเติม PAM 2 mg/l และกวนซ้ำที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วัดค่า pH ของระบบหลังเติม PAM ทุกการทดลองแบ่งน้ำตัวอย่างที่ได้ใส่กระบอกตวง 100 มล. วางให้ ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที วัดปริมาตรตะกอน ประเมินประสิทธิภาพในการตกตะกอน และเก็บ ตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. มาทำการวิเคราะห์ค่าสีและประเมินผลประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.4.4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันด้วย PAM

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอน ทำการศึกษาโดยใช้ค่า pH ของน้ำทิ้งคือ pH 8.6 โดยตวงตัวอย่างน้ำ 500 มล. ใช้ PACI 0.6 และ 0.8 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm 5 นาที ขณะกวนวัด pH ของระบบหลังการเติม PACI หลังจากนั้นเติม PAM ช่วง 1.5-4.0 mg/l และกวนซ้ำที่ 70 rpm 3 นาที วัด pH ของระบบหลังเติม PAM แบ่งน้ำตัวอย่างใส่กระบอกตวง 100 มล.วางให้ตกตะกอน 20 นาที วัดปริมาตรตะกอน ประเมินประสิทธิภาพในการตกตะกอนและเก็บ ตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. วิเคราะห์ค่าสี ประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.4.5. การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกวน

การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกวน โดยนำน้ำทิ้งปริมาตร 1 ลิตร เติม PACI 0.8 g/l กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100-300 rpm เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติม PAM 2 mg/l กวนซ้ำที่ ความเร็วรอบ 50-70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที นำน้ำใสส่วนบนไปวัดค่าสี และวัดปริมาตรน้ำใสหลังการตกตะกอน

3.4.6. วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

วิเคราะห์ BOD โดยวิธี Iodometric Method วิเคราะห์ COD โดยวิธี Open Reflux Method

และวิเคราะห์สีโดยวิธีแพลตตินัม โคบอลต์ (Pt-Co Unit) [8] ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร จำนวนประสิทธิภาพในการกำจัด BOD COD และ Color ได้ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ Removal} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A = BOD, COD และ Color ก่อนการบำบัด และ B = BOD, COD และ Color หลังการบำบัด

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. ผลการศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีด้วย PACI

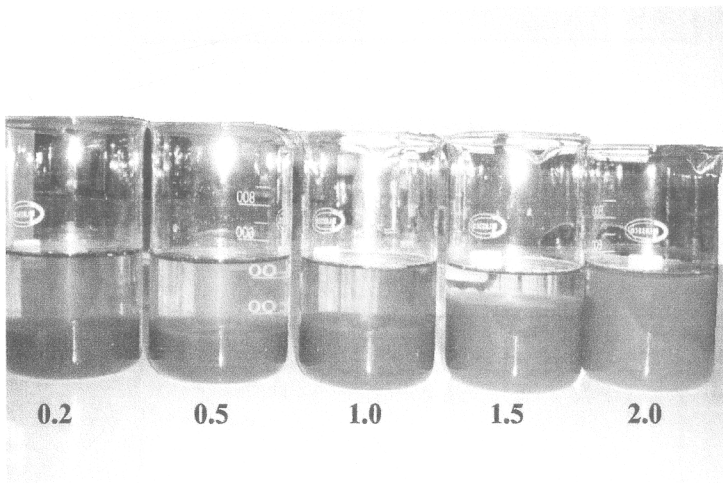
ผลการศึกษาการกำจัดสีด้วย PACI 0.5 g/l ที่ pH ช่วง 6.0-8.0 พบว่าหลังจากการรวมตะกอน ค่า pH ของระบบจะลดลง ที่สภาวะ pH 6.0 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงถึง 92% ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ที่ค่า pH ดังกล่าวไม่เหมาะสม เนื่องจากค่า pH ของน้ำที่ก่อนบำบัดมีค่าประมาณ 8.7 จะต้องสิ้นเปลืองกรดในการปรับ pH และหลังการบำบัดค่า pH ก่อนข้างต่ำ จะต้องสิ้นเปลืองด่างในการปรับ pH เช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาที่สภาวะ pH 8 ซึ่งเป็นค่า pH ที่ใกล้เคียงกับ pH ของน้ำเสียก่อนการบำบัด ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัด 63% จึงสนใจที่จะใช้ค่า pH ของน้ำเสียก่อนบำบัด ในการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันต่อไป

ตารางที่ 2 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

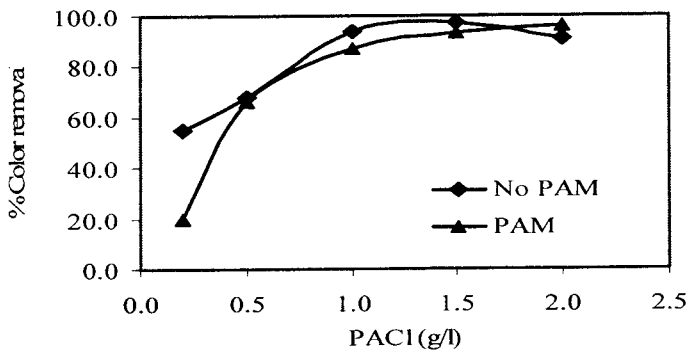
% Color removal	pH before coagulation	pH after coagulation
92	6.0	5.4
89	6.5	6.0
85	7.0	6.4
65	7.5	6.5
63	8.0	6.7

4.2. ผลการศึกษาปริมาณการใช้ PACI ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับการใช้ PACI ร่วมกับ PAM

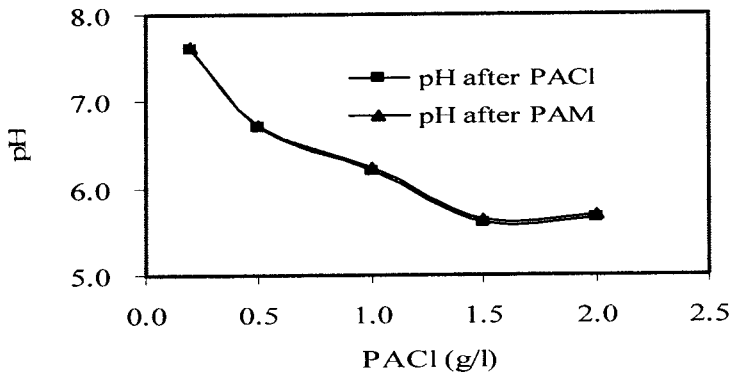
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันและรวมตะกอนด้วย PACI โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เติม PACI ในช่วง 0.2-2.0 g/l พบว่าประสิทธิภาพกำจัดสีขึ้นอยู่กับปริมาณการเติม PACI โดยที่ปริมาณการใช้ PACI ที่ 1.5 g/l และ ไม่เติม PAM ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงถึง 97% แต่ตะกอนที่ได้มีขนาดเล็กส่งผลให้เกิดการตกตะกอนได้ช้าและต้องวางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนถึง 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อสังเกตลักษณะการตกตะกอนพบว่า ที่ปริมาณการใช้ PACI 1.5-2.0 g/l ตะกอนตกช้า และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ PACI ในช่วง 0.2-2.0 g/l ร่วมกับการใช้ PAM 2 mg/l พบว่าเกิดการตะกอนตกได้เร็วขึ้น แสดงผลดังกราฟในรูปที่ 6 แต่ pH ของน้ำหลังกำจัดสีประมาณ 5.5 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 การใช้สารรวมตะกอน PAM ไม่ได้ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในกราฟรูปที่ 8 ดังนั้นปริมาณการใช้ PACI ที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 0.6-0.8 g/l เนื่องจาก pH ของน้ำทิ้งหลังการบำบัดอยู่ในช่วง 6.5-7.0 ทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำหลังการบำบัด และพบว่า การเติม PAM ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่ช่วยในการรวมตะกอนให้ตกเร็วขึ้น



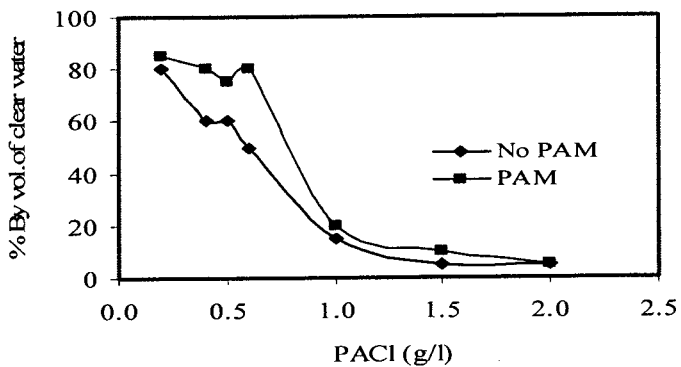
รูปที่ 5 ลักษณะการตกตะกอนโดยใช้ PACI 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 g/l ที่ pH 8.7



รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ปริมาณการใช้ PACI 0.2-2.0 g/l ร่วมกับ PAM และไม่ใช่ PAM



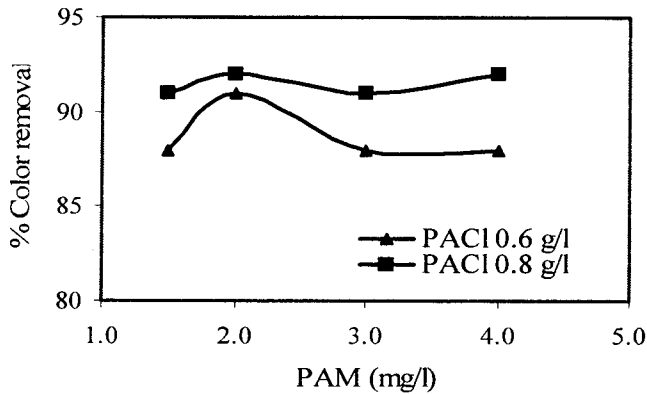
รูปที่ 7 เปรียบเทียบ pH ของระบบหลังการใช้ PACI และ PAM



รูปที่ 8 ผลของการใช้ PAM ต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของ PACI ต่างๆ

4.3. ผลการศึกษาผลของการใช้ PAM

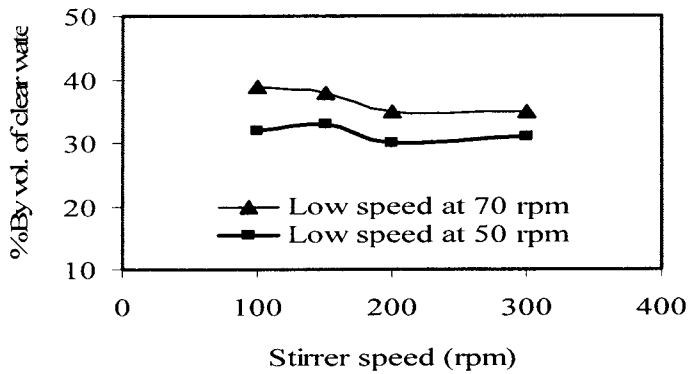
การศึกษาระดับปริมาณการใช้ PAM ที่เหมาะสม โดยเลือกศึกษาปริมาณการใช้ PACI 0.6 และ 0.8 g/l ใช้ PAM ช่วง 1.5-4.0 mg/l พบว่าเมื่อใช้ PACI 0.8 mg/l และใช้ PAM 2 mg/l ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ 92% ดังแสดงกราฟในรูปที่ 9



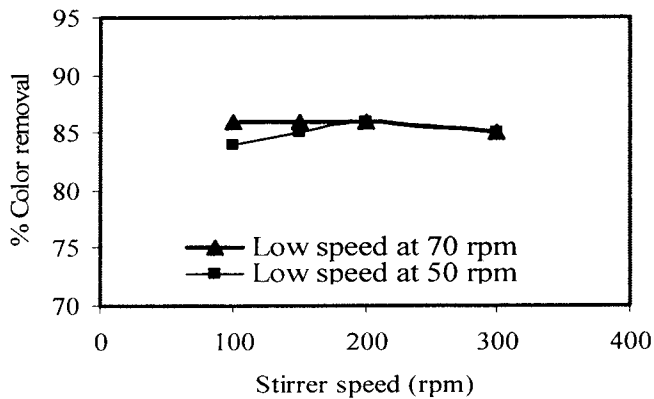
รูปที่ 9 ผลของปริมาณการใช้สารรวมตะกอน PAM ช่วง 1.5-4.0 mg/l ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้ง

4.4. ผลการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม

การศึกษาค้นหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วย PACI ร่วมกับ PAM โดยนำน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร เติม PACI 0.8 g/l กวนเร็วที่ 100-300 rpm เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติม PAM 2 mg/l กวนช้าที่ 50-70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที พบว่าความเร็วรอบในการกวนเร็วที่เหมาะสมคือ 100 rpm ส่วนความเร็วรอบในการกวนช้าคือ 70 rpm :ซึ่งความเร็วรอบในการกวนช้ามีผลต่อการรวมตะกอน แต่ไม่มีผลต่อการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ ดังกราฟในรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 ดังนั้นความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานคือ กวนเร็วที่ 100 rpm 5 นาที และกวนช้า ที่ 70 rpm 3 นาที ที่เวลาในการตกตะกอน 20 นาทีจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบประมาณ 86% ได้น้ำส่วนใสประมาณ 39%



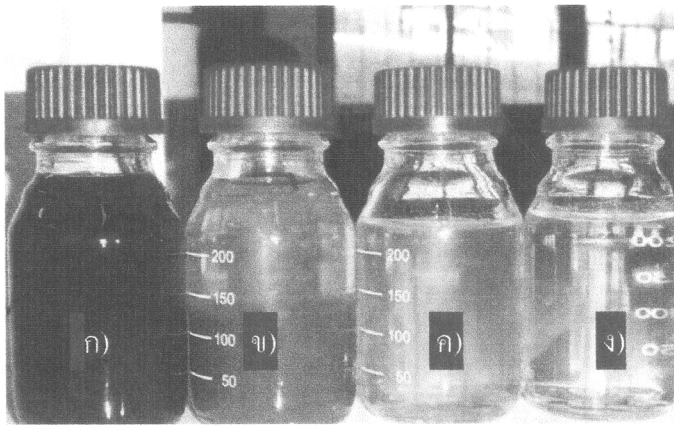
รูปที่ 10 ผลของความเร็วยรอบในการกวนซ้ำต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสารสีน้ำทิ้ง



รูปที่ 11 ผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้ง

4.5. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดที่สภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานโดยใช้ PACI 0.8 g/l ใช้ PAM 2 mg/l ที่ pH 8.7 กวนเร็วด้วยความเร็วยรอบ 100 rpm 5 นาที กวนซ้ำที่ 70 rpm 3 นาที ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี และ BOD ประมาณ 86% และ 70% ตามลำดับ ดังแสดงภาพการเปรียบเทียบลักษณะของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดในรูปที่ 12 แต่พบว่าค่า COD เพิ่มขึ้น 42% เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัด 92% โดยใช้ PACI 1.5 g/l พบว่าสามารถลดค่า COD ได้ 47% จากผลการวิเคราะห์น้ำทิ้ง 2 สภาวะพบว่ายังมีอนุภาคซัลเฟต คลอไรด์ ของสารละลาย PACI เหลืออยู่ จึงเป็นสาเหตุให้ค่า COD เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3



ก) น้ำทิ้งก่อนบำบัด ข) ตกตะกอน ค) Eff.86% ง) Eff.92%

รูปที่ 12 เปรียบเทียบสีของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดด้วย PACI ร่วมกับ PAM

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการกำจัดสีด้วยการ โคลแอกกูเลชันและรวมตะกอนด้วย PACI และ PAM

Parameter	Before treatment	After treatment at Eff. 86%	After treatment at Eff. 92%
BOD (mg/l)	261	79	52
COD (mg/l)	1943	3364	1024
pH	8.7	6.6	5.4
Chloride (mg/l)	-	2943	4750
Sulfate (mg/l)	-	95	23

4.6. ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินต้นทุนการบำบัดสีในน้ำทิ้ง โดยคิดจากราคาสารเคมี ซึ่งมีข้อมูลของราคา โดยประมาณของสารเคมีแต่ละชนิด คือ PACI ราคา 14 บาท/Kg และ PAM ราคา 235/Kg ดังนั้นที่ สภาวะที่เหมาะสมซึ่งใช้ PACI 0.8 g/l และ PAM 2 mg/l ค่าสารเคมีต่อการบำบัดน้ำเสียที่ให้

ประสิทธิภาพการบำบัด 86% ประมาณคิวบิกเมตรละ 11 บาท และที่ประสิทธิภาพการบำบัด 92% จะต้องใช้ PACI เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และมีค่าต่างในการปรับ pH ของน้ำหลังการบำบัด จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดเพิ่มเป็นประมาณคิวบิกเมตรละ 25 บาท

5. สรุปผลการทดลอง

ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายที่เกิดจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบโดยการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และรวมตะกอนด้วย PAM พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน คือ การใช้ PAC 0.8 g/l ร่วมกับ PAM 2 mg/l ที่ pH 8.7 ทำการกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 rpm 5 นาที และกวนช้าที่ 70 rpm 3 นาที วางให้ตกตะกอนภายในระยะเวลา 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีและ BOD ได้ 86% และ 70% ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของการเติม PACI ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่ม PAM ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่เป็นตัวช่วยในการรวมตะกอนให้ตะกอนตกจมได้ดีขึ้น การดำเนินการนี้มีความโดดเด่นกว่าการใช้วิธีการบำบัดด้วยวิธีการอื่น ได้แก่ การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน การใช้ CaO ร่วมกับสารโพลิเมอร์ คือ ไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าสารเคมีในการปรับ pH ของน้ำก่อนและหลังการบำบัด และจากผลการทดลองพบว่า สถานะที่เหมาะสมกับการใช้ PACI คือ สถานะที่เป็นค่า และใช้ต้นทุนค่าสาร PACI และ PAM ในการบำบัดน้ำทิ้งคิวบิกเมตรละประมาณ 11 บาท

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2553 สัญญาเลขที่ ENG530105S และหน่วยวิจัยการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด หาดใหญ่วอเตอร์เซ็นเตอร์ คุณสมใจ แก้วหนู และ คุณพนา เมฆตรง เจ้าหน้าที่กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ PACI และ โพลิเมอร์ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา ศรีสุวรรณ 2542. โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า1-4.

- [2] จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และจรัญ บุญกาญจน์ 2552. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มโดยการตกตะกอนด้วย CaO ร่วมกับซีเถ้าจากเส้นใยและทะลายปาล์ม การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ณ. เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี. หน้า 188-189.
- [3] จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และพรศิริ แก้วประดิษฐ์. 2552 การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มโดยการใช้สารดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. หน้า 78-81.
- [4] พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟลอคคูเลชัน (Flocculation) เอกสารประกอบการบรรยาย ส่วนวิเคราะห์จัดการสิ่งแวดล้อม กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ
- [5] G. Bogoeva, A. Bužarovska and B. Dimzoski. 2008. Decoloration of Synthetic Dyeing Wastewater Using Polyaluminium Chloride. G.U. Journal of Science 21(4). P123-128.
- [6] J. Lin, C. Huang, J.R. Pan, and D. Wang. 2008. Effect of Al(III) Speciation on Coagulation of Highly Turbid Water. Chemosphere 72. P189-196.
- [7] ทศนา เกื้อเส้ง ธีรวดี เตชะภัทรวรกุล สุขสาโรจน์ จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ และชัยศรี สุขสาโรจน์ 2552. ประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับแคทไอออนิกโพลีเมอร์และถ่านกัมมันต์แบบผงในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำประปาดิบ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. หน้า 619-626.
- [8] APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Method for The Examination of Water and Wastewater. 19th Ed.

ภาคผนวก 1

ผลการทดลองบทความที่ 1

การศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตันและการดูดซับ
ด้วยสารดูดซับ

ตารางที่ 1 ผลของปริมาณสารดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

น้ำหนัก ซีเมนต์ (g/l)	ความ เข้มข้นสี ก่อนบำบัด (Pt-Co Unit)	ความเข้มข้นสี สีหลังบำบัด ที่เวลา 5 นาที (Pt-Co Unit)	ความเข้มข้นสี สีหลังบำบัด ที่เวลา 20 นาที(Pt-Co Unit)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ที่เวลา 5 นาที (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ที่เวลา 20 นาที (%)
10	2947	1251	1277	58	49
20	2947	1186	925	60	63
60	2947	785	501	73	80
100	2947	602	502	80	80
120	2947	447	341	85	86
140	2947	498	213	83	91

ตารางที่ 2 ผลของเวลาในการดูดซับด้วยซีเมนต์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

เวลา(นาที)	ความเข้มข้นของสี(Pt-Co Unit)	% Removal
0	2947	-
5	498	83
10	478	84
20	471	84
30	401	86

ตารางที่ 3 ตารางการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารและ pH

ที่เหมาะสมในปฏิกิริยาเฟนตัน

Conditions	Initial color conc.(Pt-Co Unit)	FeSO ₄ (g/l)	H ₂ O ₂ (ml)	pH
F1	2947	0.1	0.4	7.6
F2	2947	0.1	0.4	3.0
F3	2947	0.2	0.4	3.0
F4	2947	0.1	0.6	3.0

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพปฏิกิริยาเฟนตันเมื่อใช้ปริมาณเหล็กต่างกัน

Filter passed ash (g/l)	Color at F2 condition (Pt-Co Unit)	Color at F3 condition (Pt-Co Unit)	%Color removal at F2 condition	%Color removal at F3 condition
10	607	461	79	84
20	609	440	79	85
30	697	436	80	85
60	365	310	87	89
80	275	209	91	93

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพปฏิกิริยาเฟนตันเมื่อใช้ปริมาณ H₂O₂ ต่างกัน

Filter passed ash (g/l)	Color at F2 condition (Pt-Co Unit)	Color at F4 condition (Pt-Co Unit)	%Color removal at F2 condition	%Color removal at F4 condition
10	607	601	79	80
20	609	542	79	82
30	697	624	80	79
60	365	441	87	85
80	275	339	91	88

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดด้วยซีดีเถ้ากับการใช้ปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้า

Filter passed ash (g/l)	Color at F2 condition (Pt-Co Unit)	Color at F3 condition (Pt-Co Unit)	%Color removal at F2 condition	%Color removal at F3 condition	%Color removal by ash
10	607	461	79	84	49
20	609	440	79	85	63
30	697	436	80	85	70
60	365	310	87	89	80
80	275	209	91	93	85

ภาคผนวก 2

ผลการทดลองบทความที่ 2

การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยขี้เถ้าจากเส้นใย และละลายปาล์ม

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาผลของ pH ต่อการรวมตะกอนด้วย CaO

Sample	CaO (g/l)	pH	Color (Pt-Co Unit)	% Color removal
Raw water	-	8.0	819	-
No.1	4	2.7	405	50
No.2	4	5.0	460	44
No.3	4	6.0	290	65
No.4	4	7.0	632	23
No.5	4	8.1	551	33

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณการเติม CaO ต่อการรวมตะกอนร่วมกับพอลิเมอร์

Sample	CaO (g/l)	PAM (g/l)	pH	Color (Pt-Co Unit)	% Color removal
Raw water	-		8.0	819	-
No.1	1	0.12	8.1	572	30
No.2	1.6	0.12	8.3	539	34
No.3	2	0.12	8.5	271	67
No.4	4	0.12	9.8	106	87
No.5	5	0.12	10.5	200	76
No.5	6	0.12	11.5	200	76
No.5	8	0.12	11.8	37	96

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการกำจัดสีด้วย CaO+PAM ผ่านAsh กับใช้ Ash อย่างเดียว

Sample	CaO (g/l)	Volumn (liter)	Color (Pt-Co Unit)	% Color removal
Raw water			818	-
Max.Condition	4	0	303	-
CaO+PAM Filter No.1	4	0.5	76	90
CaO+PAM Filter No.2	4	1	106	87
CaO+PAM Filter No.3	4	1.5	143	82
CaO+PAM Filter No4	4	2.0	158	80
	-	0		
Ash Filter No.1	-	0.5	113	86
Ash Filter No.2	-	1.0	115	85
Ash Filter No.3	-	1.5	183	77
Ash Filter No.4	-	2.0	230	71

ภาคผนวก 3

ผลการทดลองบทความที่ 3

การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบโดยการ โคลแอกกูเลชันด้วย
Polyaluminium Chloride ร่วมกับ Polyacrylamide

ตารางที่ 1 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วย PACl

PACl (g/l)	Color (Pt-Co Unit)	% Color removal	pH before coagulation	pH after coagulation
	Initial = 2945			
0.5		92	6.0	5.4
0.5		89	6.5	6.0
0.5		85	7.0	6.4
0.5		65	7.5	6.5
0.5		63	8.0	6.7

ตารางที่ 2 ผลของการเติมและไม่เติม PAM ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วย PACl

ในช่วง 0.2-2 g/l

PACl (g/l)	Color (Not add PAM) (Pt-Co Unit)	Color (Add PAM) (Pt-Co Unit)	%Color removal Not add PAM	%Color removal Add PAM
	Initial 2945			
0.2	1316	2356	55	20
0.5	1024	988	68	66
1.0	183	395	94	87
1.5	97	194	97	93
2.0	276	182	91	96

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบ pH ของระบบหลังการใช้ PACl และ PAM

PACl (g/l)	pH after PACl	pH after PAM
0.2	7.6	7.6
0.5	6.70	6.7
1.0	6.20	6.2
1.5	5.60	5.6
2.0	5.66	5.7

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ PAM ต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของน้ำทิ้ง

PACl (g/l)	%By volume of clear water (No add PAM)	%By volume of clear water (Add PAM)
0.2	80	85
0.4	60	80
0.5	60	75
0.6	50	80
1.0	15	20
1.5	5	10
2.0	5	5

ภาคผนวก 4

วิธีการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

การวิเคราะห์ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)

การวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย การย่อยวิธีนี้จะแตกต่างจากการย่อยทาง บีโอดี คือในการวิเคราะห์ บีโอดี ตัวที่จะเป็นตัวย่อยของเสียหรือสารอินทรีย์ในน้ำคือแบคทีเรีย แต่ในการวิเคราะห์ ซีโอดี ตัวที่จะทำการย่อย คือสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา ที่นี้คือ โปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์(oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง การเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น เพื่อให้สารละลายมีสภาพเป็นกรด และช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ นำไปย่อยด้วยความร้อนซึ่งเรียกว่า รีฟลักซ์ (reflux) ไอของสารที่ระเหยออกมาจะถูกทำให้ควบแน่นตกกลับลงไปในภาชนะที่บรรจุ ไม่ระเหยออกไปภายนอก

อุปกรณ์

- 1) ชุดเครื่องมือการกลั่นแบบไหลกลับคืน
- 2) เตาให้ความร้อน (heaters)

สารเคมี

- a) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ความเข้มข้น 0.0417 โมลต่อลิตร เตรียมโดยอบแห้งโปตัสเซียมไดโครเมตที่อุณหภูมิ $103^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาวางให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งสาร 12.259 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร
- b) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) เติม ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) ลงไป 22 กรัม/2.65 ลิตร (ปกติกรดซัลฟูริกขนาดบรรจุขวด 9 ปอนด์ (= 2.65 ลิตร) การเติม ซิลเวอร์ซัลเฟต เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)
- c) สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) เตรียมโดยชั่งผลึกแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 100 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มล. คนให้สารละลายรอให้เย็น เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องหาค่ามาตรฐานทุกครั้งที่ใช้ ดังนี้

นำสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 0.0417 โมล/ลิตร ปริมาตร 10.0 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 90 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มล. ทิ้งไว้ให้เย็นในที่มืด 5 นาที หยดสารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำไปไตเตรตจนกระทั่งสารละลาย เปลี่ยนจากสีเขียวแกมฟ้า เป็นสีน้ำตาลแดง เป็นจุดยุติ กำหนดหาค่าความเข้มข้น ของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟต ได้ดังนี้

ความเข้มข้น (โมล/ลิตร)

$$= \frac{\text{มล. ของโปตัสเซียมไดโครเมต} \times 0.0417 \times 6}{\text{มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟต}}$$

ตัวอย่าง

ปริมาตรของโปตัสเซียมไดโครเมตที่ใช้ = 10 มล.

ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตที่ใช้ในการ

ไตเตรต = 25 มล.

ความเข้มข้นของแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟต

$$= \frac{10 \times 0.0417 \times 6}{25} = 0.1 \text{ โมล}$$

d) สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution) ละลาย 1,10 ฟีนแอนโทรลีนโมโนไฮเดรต [1,10-phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)] 1.485 กรัม และไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มล.

วิธีวิเคราะห์

- ใช้ขวดกลั่นขนาด 250 มล.
- ซังเมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) ประมาณ 0.4 กรัม ใส่ลงในขวดกลั่น
- ปิเปตตัวอย่างน้ำใส่ลงไป 20 มล. (หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางเป็น 20 มล.)
- ปิเปตสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 ปริมาตร 10 มล. ใส่ลูกแก้ว 4-5 เม็ด เพื่อช่วยให้การเคือคสมบูรณ์
- นำขวดสารที่เตรียมในข้อ 5 ไปต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ของอุปกรณ์ รีฟลักซ์ เปิดน้ำหล่อเย็น ป้องกันไม่ให้สารที่ต้มระเหยออกไปได้

- F) ค่อย ๆ เติมกรด ซัลฟูริกเข้มข้น ซึ่งมีซิลเวอร์ซัลเฟตอยู่แล้วลงไป 30 มล. โดยเติมผ่านคอนเดนเซอร์ ขณะเติมค่อย ๆ เทลงไปที่ตะกอนน้อย ๆ เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนจัด ในขณะเทกรด
- G) เปิดเตาให้ความร้อน ต้มสารจนเดือดติดต่อกันเป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดเตาปล่อยให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างคอนเดนเซอร์เพื่อให้สารที่ค้างอยู่ในคอนเดนเซอร์ลงไปในช่วงกลั่น
- H) เจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ปริมาตรประมาณ 140 ซีซี หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดนำไปติเตรดด้วยสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟต จนกระทั่งจุดยุติเปลี่ยนจากสีเขียวแกมฟ้า เป็นสีน้ำตาลแดง
- I) การทำแบลนค์ (blank) ทำไปพร้อม ๆ กับน้ำตัวอย่างโดยใช้สารเคมีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แตกต่างกันตรงที่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (mg/l)} = \frac{(a-b) \times C \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

a = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตที่ใช้กับ Blank

b = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง

C = ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟต 0.1 โมล/ ลิตร

ตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ ซีไอดี ของน้ำเสียจากโรงงาน โดยใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำในการทดลอง 10 มล. ผลการทดลองเป็นดังนี้

a = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตที่ใช้กับแบลนค์ = 25 มล.

b = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง = 14.2 มล.

C = ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟต 0.1 โมล/ ลิตร

$$\begin{aligned} \text{ซีไอดี (mg/l)} &= \frac{(a-b) \times C \times 8000}{\text{มล. น้ำตัวอย่าง}} \\ &= \frac{(25 - 14.2) \times 0.1 \times 8000}{10} \end{aligned}$$

10

$$\text{ค่าซีไอดี} = 864 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

การวัดพีเอช (pH)

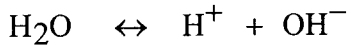
พีเอช หมายถึงความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย โดยบอกหน่วยความเข้มข้นเป็น โมลาร์ของไฮโดรเจนไอออน (H^+) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ จะต้องมีการควบคุมพีเอช ให้อยู่ในช่วงที่จุลชีพเติบโตได้ดี นอกจากนี้การตกตะกอนในการทำน้ำประปาจะต้องควบคุม พีเอช ด้วยเช่นกัน

pH ย่อมาจาก positive potential of the hydrogen ion

$$pH = -\log[H^+]$$

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

การวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$



$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

$$\begin{aligned} [H^+][OH^-] &= K [H_2O] \\ &= KW \end{aligned}$$

จากการวัด $[H^+]$ ของน้ำบริสุทธิ์พบว่า มีค่า 10^{-7} โมล/ลิตร ที่ $25^\circ C$

$$\begin{aligned} [H^+] &= [OH^-] = 10^{-7} \\ [H^+][OH^-] &= 10^{-7} \times 10^{-7} \\ &= 10^{-14} \end{aligned}$$

คั่งนั้นช่วง พีเอช	อยู่ในช่วง 0-14
ความเป็นกรด	อยู่ในช่วง 0-7
ความเป็นด่าง	อยู่ในช่วง 7-14

อุปกรณ์

การวัด pH วัดได้หลายวิธี เช่น

- 1) ใช้กระดาษพีเอช จุ่มลงในตัวอย่างน้ำที่ต้องการวัด สีของกระดาษจะเปลี่ยนแปลงตามพีเอช นำไปเทียบกับแถบสีมาตรฐาน แต่เป็นการวัดค่าพีเอชได้โดยประมาณเท่านั้น
- 2) เทียบสีกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าพีเอช โดยการเติมอินดิเคเตอร์ในปริมาณเท่ากัน นำไปเทียบกับสีของพีเอชมาตรฐาน
- 3) ใช้เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)



รูป พีเอชมิเตอร์

สารเคมี

- a) สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4 และ 7

วิธีการวัด

วิธีการวัดโดยเครื่องวัด พีเอช มีหลักการวัดโดยทั่ว ๆ ไปคือ

- A) ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรด ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไป ในปัจจุบันจะเป็นอิเล็กโทรดแบบคอมบายด์อิเล็กโทรด (combination electrode)
- B) ปรับเครื่องให้พร้อมที่จะใช้งานตามคู่มือของเครื่องแต่ละยี่ห้อ
- C) ซักแห้งอิเล็กโทรดด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง
- D) วัดค่าพีเอชของตัวอย่าง
- E) เมื่อวัดพีเอชของตัวอย่างเสร็จแล้ว ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น ซักให้แห้งวัดตัวอย่างอื่น ๆ ต่อไป
- F) เมื่อใช้งานเสร็จแล้วให้แช่อิเล็กโทรดในน้ำกลั่น หรือ บัฟเฟอร์ พีเอช 7

การวิเคราะห์สี (Color)

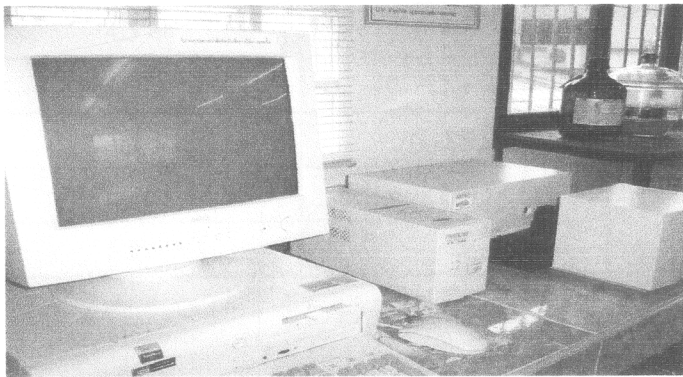
สีของตัวอย่างน้ำเสียจะมีลักษณะที่บ่งบอกถึงลักษณะประจำตัวได้ดี ถ้าตัวอย่างน้ำที่เก็บมามีสีเข้ม ผู้วิเคราะห์จะต้องระวังมากในเรื่องการวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่น ๆ ส่วนมากน้ำจากโรงงานที่มีสีคล้ำจะมีความสกปรกมากหรือมีอินทรีย์สารมากด้วย แต่หากตัวอย่างที่เก็บมาเป็นน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งไม่มีการปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมและมีสี สีของน้ำนั้นเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในซากพืช ซากสัตว์ในดิน หรือเกิดจากแร่ธาตุในดิน เช่น สีเกิดจากเหล็ก จะมีสีเหลือง บางครั้งสีอาจเกิดจากสารแขวนลอยก็ได้ ดังนั้นการวัดสีจึงแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

สีจริง (true color) เกิดจากการย่อยสลายของพืชและสารอินทรีย์ในดิน

สีปรากฏ (apparent color) เกิดจากสารแขวนลอย

อุปกรณ์

- 1) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร (nm.)



สารเคมี

- a) สารละลายมาตรฐานคลอโรแพลตตินัท เตรียมโดยละลายโปตัสเซียม-คลอโรแพลตตินัท (potassium chloroplatinate, K_2PtCl_6) 1.246 กรัม และโคบอลต์คลอไรด์ (cobaltous chloride, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1 กรัม ในน้ำกลั่นซึ่งเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) 100 มล. คนให้สารละลายจนหมด ค่อย ๆ เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ล้างสารละลายที่ติดค้างอยู่เทใส่ลงไปหลายๆ ครั้ง แล้วเจือจางจนปริมาตรครบ 1 ลิตร สารละลายที่เตรียมได้นี้ จะมี

ความเข้มข้นของสีเท่ากับ 500 หน่วยสี (color unit) นำสารละลายที่เตรียมได้นี้ ไปเตรียมสารละลายความเข้มข้นของหน่วยสีต่างๆดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเตรียมความเข้มข้นของสี

ลบ.ซม.ของสารละลายมาตรฐาน อจางเป็น 50 ลบ.ซม. ด้วยน้ำกลั่น	ค่าของสีในหน่วยของ Co-Pt-Unit
0.0	0
0.5	5
1.0	10
1.5	15
2.0	20
2.5	25
3.0	30
3.5	35
4.0	40
4.5	45
5.0	50
5.5	55
6.0	60
6.5	65

วิธีการทดลอง

- A) นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ตามตารางมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) แล้วนำค่าที่วัดได้ไปพลอตกราฟระหว่างค่าของหน่วยสี และค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้
- B) นำตัวอย่างน้ำที่จะทำการวัดค่าสีมาทำการแยกโดยใช้แรงเหวี่ยง เพื่อให้ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ตกตะกอน นำไปวัดค่าสีอ่านค่าเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะเป็นสิ่งจริงมิใช่สีปรากฏ
- C) นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัด ไปพลอตกราฟ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสีและค่าการดูดกลืนแสงถ้าตัวอย่างที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง มี

ค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่เตรียมไว้ให้ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำให้อยู่ในช่วงที่เตรียมไว้ก่อน แล้วนำผลที่วัดได้คูณด้วยเท่าของการเจือจาง หรืออาจจะใช้สูตร

$$\text{หน่วยสี Color Units} = \frac{A \times 50}{V}$$

A = ค่าดูดกลืนแสงที่อ่านได้

V = ปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่นำมาเจือจาง

ภาคผนวก 5
รวมบทความที่เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการ

การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม โดยการใช้สารดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน

Color and COD Removal from Palm Oil Industry Wastewater by Adsorption Combined with Fenton Reaction

จรรยา อินทมนณี^{1*} จันทิมา ชั่งสิริพร¹ และจรรย์ บุญญาญจน์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: janya.i@psu.ac.th

Janya Intamane^{1*} Juntima Chungsiriporn¹ and Charun Bunyakan¹

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: janya.i@psu.ac.th

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มโดยทั่วไปพบว่าสีและค่า COD สูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายโดยใช้การดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน สารดูดซับที่ใช้ในการดูดซับคือซีเถ้าและผงถ่านจากเส้นใยและทะลายปาล์มซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงของบอยเลอร์ ในงานวิจัยได้ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้เมื่อใช้การดูดซับด้วยซีเถ้าร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตันกับการดูดซับด้วยซีเถ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการทดลองพบว่าแม้ว่าการกำจัดสีและ COD ด้วยการดูดซับด้วยซีเถ้าเพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพสูง แต่หากต้องใช้ปริมาณซีเถ้าเป็นจำนวนมากซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ อีกทั้งเมื่อใช้การดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD อีกทั้งปริมาณของซีเถ้าที่ต้องการมีปริมาณลดลงถึง 7 เท่า

คำหลัก การกำจัดสี อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม สารดูดซับปฏิกิริยาเฟนตัน

Abstract

Generally the effluent from palm oil industries has higher values of color and COD than Industrial Effluent Standards. Then, this work studies the color and COD removal of the effluent using adsorption combined with fenton reaction. Palm fiber ash, which is the solid waste of boiler unit, has been used as an adsorbent material. In this work, the optimal condition is provided, and the removal efficiencies are compared with ones obtained by using adsorption with palm

ash solely. The experimental results have shown that even the efficiencies of using adsorption is high, however a large amount of fiber ash is impractically required. The use of the adsorption combined with fenton reaction significantly improves the color and COD removal efficiencies. In addition, the required amount of palm fiber ash is reduced 7 times compared with one required by using the adsorption solely.

Keywords: color removal, palm oil industry, adsorbent material, fenton reaction.

1. บทนำ

ปัญหาสีของน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม นับว่าเป็นปัญหาสำคัญทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ต้องใช้วิธีการกักเก็บซึ่งต้องใช้พื้นที่ในการสร้างบ่อเป็นจำนวนมาก ซึ่งสีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวเกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน เป็นต้น [1] จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท พืชภัณฑ์ปาล์มมอยล์ จำกัด พบว่าการย่อยสลายทางชีววิทยาไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำและมีค่า COD ค่อนข้างสูง

ปฏิกิริยาเฟนตัน (fenton reaction) เป็นปฏิกิริยาที่สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จึงมีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีองค์ประกอบของฟีนอล ฟอรัลดีไฮด์ อะโรมาติกและสารเคมีที่มาจกสีย้อม [2] การบำบัดน้ำเสียทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน นับว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งน่าจะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด

สารประกอบอินทรีย์และสีในน้ำเสีย โดยมีผลกระทบจากสารเคมีตกค้างในน้ำที่น้อยกว่าวิธีการบำบัดอื่นๆ เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะสามารถสลายตัวและไม่ตกค้างในน้ำ โดยการเกิดปฏิกิริยาฟentonจะทำให้สารประกอบอินทรีย์และสีในน้ำเสียถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่เป็นกรด (pH 3-5) สำหรับการแยกเอาตะกอนของเหล็กที่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาและละลายอยู่ในน้ำ จะสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนในสภาวะเป็นเบส หรือใช้สารรวมตะกอน การกรองผ่านสารดูดซับ เป็นต้น ซึ่งถ้าและผงถ่านจากการเผาละลายและเส้นใยปาล์มเพื่อให้ความร้อนแก่มอเตอร์น้ำ (Boiler) เป็นของเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จากการศึกษาวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าผงถ่านจากการเผาละลายปาล์มดังกล่าวพบว่า มีพื้นที่ผิวทั้งหมด (BET surface area) ประมาณ 100 m²/g และมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโคร (micropore surface area) ประมาณ 90 m²/g จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นสารดูดซับได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีและสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาฟentonร่วมกับการใช้ซีดีและผงถ่านจากเส้นใยและละลายปาล์มเป็นสารดูดซับ โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ (batch reactor) ที่มีการกวนผสม เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาค้นคว้าขั้นตอนการดำเนินการและหาสภาวะดำเนินการที่เหมาะสม ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์และสีจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ในการออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย เครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer), ถังปฏิกรณ์ใช้บีกเกอร์ขนาด 500 มล. พีเอชมิเตอร์ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AG สำหรับวัดพีเอชของระบบ วิเคราะห์สีโดยวิธีแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co Unit) โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร และสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาฟentonประกอบด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate, FeSO₄ · 7H₂O) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H₂O₂) และกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ส่วนสารดูดซับจะใช้ซีดีและผงถ่านจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์ม จากโรงงานบริษัท พัททกษปาล์ม ออยล์ จำกัด จ. ตราชู

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสี

โดยการใช้ซีดีและผงถ่านจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์มในปริมาณ 10, 20, 60, 100, 120, และ 140 กรัมต่อตัวอย่างน้ำสี 1

ลิตร กวนด้วยความเร็วรอบ 120 rpm เป็นเวลา 5 และ 20 นาที หลังจากนั้นกรองแยกผงถ่านออกจากกระดาษกรอง Whatman No.1 (11 ไมครอน) และวัดค่าสีด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

2.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการกวนสารดูดซับ

โดยใช้ตัวอย่างน้ำสี 1 ลิตร ใส่ซีดี 140 กรัม กวนด้วยความเร็วรอบคงที่ 120 rpm เก็บตัวอย่างครั้งละ 10 มล. ที่เวลา 5, 10, 20 และ 30 นาที กรองแยกซีดีด้วยกระดาษกรองและวัดค่าสี

2.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีด้วยปฏิกิริยาฟenton ร่วมกับการดูดซับด้วยซีดีและผงถ่านจากทะเลสาบและเส้นใยปาล์ม ในชุดปฏิกรณ์ขนาดห้องปฏิบัติการแบบแบทช์ (batch) โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 500 มล. ใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม 200 มล. กวนด้วยเครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็ก

จากการค้นคว้าและการศึกษาเบื้องต้นโดยการเปรียบเทียบผลการทดลอง F1 และ F2 (ตารางที่ 1) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 3 และสัดส่วนการใช้ FeSO₄ และ H₂O₂ ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของสารที่จะออกซิไดซ์ การศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติม FeSO₄ และ H₂O₂ ต่ำสุดเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมี ของน้ำเสียจากน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาการเติม FeSO₄ ในช่วง 0.1 – 0.3 กรัม/ลิตร และ เติม H₂O₂ (30%) ช่วง 0.2 – 0.4 มล/ลิตร

ตารางที่ 1 การทดลองที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	FeSO ₄ (g/l)	H ₂ O ₂ (ml)	pH
F1	0.1	0.4	7.6
F2	0.1	0.4	3.0
F3	0.2	0.4	3.0
F4	0.1	0.6	3.0

นำตัวอย่างหลังจากเกิดปฏิกิริยาฟenton มาศึกษาปริมาณการใช้สารดูดซับที่เหมาะสม โดยใช้ผงถ่าน 10, 20, 30, 60 และ 80 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร กวนเป็นเวลา 20 นาที กรองแยกผงถ่านด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำน้ำที่กรองได้วัดค่าสีด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

2.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัด COD

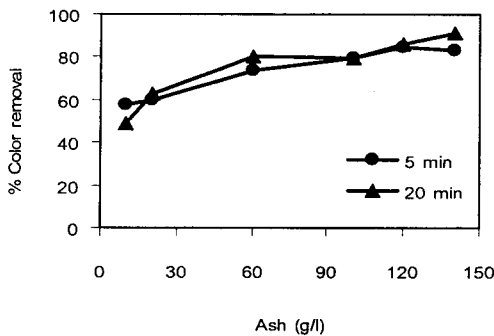
นำตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ ซึ่งผ่านการดูดซับด้วยซีดีและผงถ่าน 20 g/l กรองด้วยกระดาษกรองและวิเคราะห์หาค่า COD

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของการบำบัดน้ำทิ้งด้วยสารดูดซับชนิดซีเถ้า

3.1.1 ผลของปริมาณสารดูดซับ

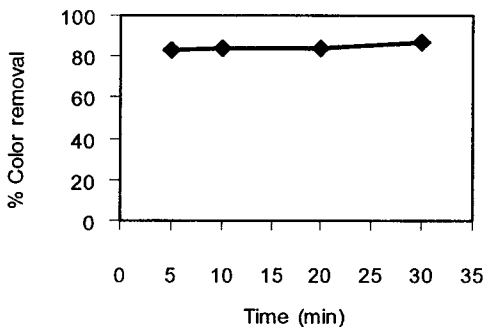
จากการศึกษาปริมาณการใช้สารดูดซับเพียงอย่างเดียวในการดูดซับสีในน้ำทิ้ง พบว่าปริมาณสารดูดซับมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีดังแสดงในกราฟรูปที่ 1 ซึ่งจากผลการทดลองการดูดซับด้วยสารดูดซับชนิดซีเถ้าสามารถดูดซับสีได้มากถึง 90 % แต่หาปริมาณสารดูดซับที่ใช้ต้องใช้สูงถึง 140 กรัมต่อน้ำสี 1 ลิตร ซึ่งเวลาที่ใช้ในการดูดซับมีผลไม่มากนักในกรณีนี้



รูปที่ 1 ผลของปริมาณซีเถ้าต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี

3.1.2 ผลของเวลาในการดูดซับ

ผลการศึกษาเวลาในการดูดซับสีแสดงในกราฟรูปที่ 2 โดยในการศึกษาใช้ซีเถ้าปริมาณคงที่ที่ 140 g/l กวณที่เวลาต่างๆ พบว่าเวลาในการดูดซับที่ 5, 10 และ 20 นาทีมีผลต่อการดูดซับสีน้อยมากซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีเกือบคงที่ ในขณะที่เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็น 30 นาทีก็พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

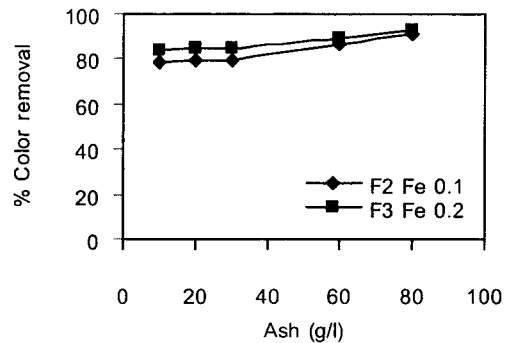


รูปที่ 2 ผลของเวลาในการดูดซับด้วยซีเถ้าต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีในน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม

3.2 ผลของการบำบัดน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาเฟนต์นร่วมกับการใช้สารดูดซับ

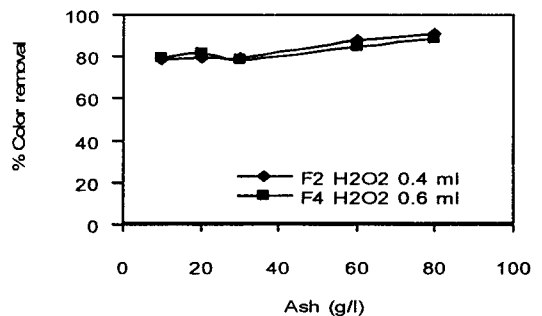
3.2.1 ผลของปริมาณการใช้ FeSO₄

เปรียบเทียบการใช้ FeSO₄ ที่ 0.1 และ 0.2 g/l ในการทำปฏิกิริยาเฟนต์น นำไปผ่านการดูดซับด้วยซีเถ้าปริมาณที่เท่ากัน พบว่าการใช้ Fe²⁺ 0.2 g/l ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีกว่าการใช้ Fe²⁺ 0.1 g/l เล็กน้อยดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 โดยเฉพาะเมื่อใช้ปริมาณสารดูดซับหรือซีเถ้ามาก พบว่าทั้งสองสภาวะ F2 และ F3 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นหากพิจารณาเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว เมื่อปริมาณสารดูดซับมีค่ามากการใช้ปริมาณ FeSO₄ 0.1 g/l น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ปริมาณการใช้ FeSO₄ ที่ 0.1 และ 0.2 กรัมต่อน้ำสี 1 ลิตร

3.2.2 ผลของปริมาณการใช้ H₂O₂



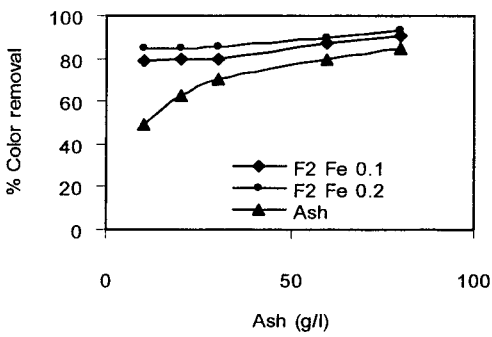
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ปริมาณการใช้ H₂O₂ ที่ 0.4 และ 0.6 มล.ต่อลิตรน้ำเสีย

ผลการศึกษาปริมาณการใช้ H₂O₂ (30%) ที่เหมาะสมแสดงในกราฟรูปที่ 4 โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง F2 และ F4 ซึ่ง

ปริมาณของ H_2O_2 มีผลต่อประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อย และพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีอยู่ในช่วง 80 – 85% เมื่อพิจารณาใน กรณีที่ปริมาณสารดูดซับมาก ปริมาณที่ของ H_2O_2 ที่เหมาะสมคือ 0.4 มล.

3.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยใช้ ปฏิกริยาเฟนต์นร่วมกับการดูดซับ

ผลการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้ง ด้วยสารดูดซับกับการใช้ปฏิกริยาเฟนต์นร่วมกับการใช้สารดูดซับ พบว่า การใช้ปฏิกริยาเฟนต์นที่สภาวะที่เหมาะสมกำจัดสีก่อนแล้ว จึงใช้สารดูดซับจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีดังแสดงใน กราฟรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งด้วยสารดูดซับกับการใช้ปฏิกริยาเฟนต์นร่วมกับการใช้สารดูดซับ

3.2.4 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งหลังการกำจัดสีด้วยปฏิกริยาเฟนต์นร่วมกับการใช้ซีเถ้าดูดซับ กับการใช้ซีเถ้าดูดซับเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการกำจัดสีและหลังการและหลังการกำจัดสีที่สภาวะต่างๆ

Fenton Condition	Ash (g/l)	COD (mg/l)	pH น้ำทิ้งหลังกำจัดสี
น้ำเสียก่อนกำจัดสี	-	1186	7.6
F1	20	601	8.3
F2	20	397	7.5
F3	20	383	7.4
Ash	20	529	8.3
Ash	120	334	8.5

ผลการวิเคราะห์ค่า COD และ pH ของน้ำทิ้งก่อนการกำจัดสี ซึ่งมีค่า COD 1186 mg/l ค่า pH 7.6 เมื่อผ่านการกำจัดสีด้วยปฏิกริยาเฟนต์นที่สภาวะการใช้ $FeSO_4$ 0.1 และ 0.2 g/l และใช้

H_2O_2 (30%) 0.4 ml/l นำมาผ่านการดูดซับด้วยซีเถ้าและผงถ่าน 20 g/l พบว่าสภาวะที่ศึกษาสามารถลดค่า COD ได้ประมาณ 68 % เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ซีเถ้าอย่างเดียว 120 g/l ซึ่งสามารถลดค่า COD ได้ใกล้เคียงกัน ส่วนค่า pH ประมาณ 8.5 ค่อนข้างสูงเล็กน้อยหากจะนำไปใช้ประโยชน์จะต้องปรับพีเอชก่อน ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2

4. สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยการกรองผ่านซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาทะลายปาล์มของบอยล์เลอร์ ปริมาณ 140 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มได้ประมาณ 90 % เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กชนิด micropore ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสีได้ดี แต่ทว่าในการกำจัดสีด้วยการดูดซับเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ทั้งนี้เนื่องจากต้องใช้ซีเถ้าเป็นจำนวนมาก

และเมื่อนำปฏิกริยาเฟนต์นซึ่งเป็นวิธีการกำจัดสีด้วยวิธีทางเคมีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งมาใช้ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาทะลายและเส้นใยปาล์ม พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี อีกทั้งปริมาณของซีเถ้าที่ต้องการมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการกำจัดสีด้วยการดูดซับเพียงอย่างเดียว และจากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกริยาเฟนต์นเมื่อปริมาณซีเถ้าที่ศึกษา 20 g/l คือใช้ $FeSO_4$ 0.1 g/l, H_2O_2 (30%) 0.4 ml/l ได้ประสิทธิภาพการกำจัดสีประมาณ 80 – 85 % ลดค่า COD ได้ประมาณ 68 %

5. แผนงานที่จะศึกษาเพิ่มเติม

แผนงานที่จะศึกษาเพิ่มเติม คือการนำสภาวะที่เหมาะสมไปใช้ในการศึกษาการกำจัดสีโดยการทดลองแบบต่อเนื่อง (continuous process) ในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการทดลองแบบต่อเนื่องต้องใช้น้ำสีปริมาณมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาเบื้องต้น จากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (PTRU) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโครงการ ITAP คณะวิศวกรรมศาสตร์ ร่วมกับบริษัท พิกซ์ปาล์มออยล์ จำกัด ขอขอบคุณ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาตรวจสอบบทความ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา ศรีสุวรรณ โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม รายงานการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดินปีงบประมาณ 2542 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 1-4.

- [2] Bigda R.J. 1995. Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment. *Chemical Engineering Progress*. 91(12), 62-66.
- [3] C. Bogatu, D. Botau, M. Gheju and D. Coheci. 2002. Study of Azodyes Oxidation with Fenton Reagent by UV-Vis Spectroscopy. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 3, No.1, 210-214
- [4] Nguyen The Dong, Pham thi Thanh Ha, and Phan Do Hung. Color and COD removal of dyeing wastewater by combination treatment of coagulation and fenton oxidation. Institute of Environmental Technology, NCST.
- [5] Kallel, M., Belaid, C., Boussahel, R., Ksibi, M., Montiel, A., and Elleuch, B. 2008. Olive mill wastewater degradation by Fenton oxidation with Zero-Valent iron and hydrogen peroxide. *Journal of Hazardous Materials*. (ScienceDirect, Article in Press, Corrected Proof)
- [6] Tunlawit Satapanajaru, Jukkrit Mahujchariyawong and Pattna Anurakpongsatorn. Reusing Wastewater from Bleaching Process of Textile Industry for Decolorization by Fenton's Oxidation. *Thai Environmental Engineering Journal* Vol.19 No.1 : 67-80

การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้าจากเส้นใยและทะเลายปาล์ม

จรรยา อินทมณี¹ จันทิมา ชั่งสิริพร¹ และ จริญญา บุญญาญจน์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: janya.i@psu.ac.th

บทคัดย่อ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) มีสีน้ำตาลเข้มและมีค่า COD สูง โดยมีค่าสีประมาณ 2950 หน่วยสี (Pt-Co Unit) และค่า COD ประมาณ 1200 mg/l ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการรวมตะกอนด้วย CaO และพอลิเมอร์ชนิด PAA ร่วมกับการใช้ซีเถ้าจากเส้นใยและทะเลายปาล์มในการดูดซับสี โดยทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมในการบำบัดสี จากการศึกษาพบว่าลักษณะที่เหมาะสมในการรวมตะกอน คือ pH 6 และ ใช้ CaO 4 g/l PAA 0.12 g/l ทำให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดสีสูงถึง 87% เมื่อนำน้ำที่ผ่านการรวมตะกอนมาผ่านการกรองด้วยซีเถ้าในแพคคอลัมน์จำนวน 2 คอลัมน์ที่ต่อกันแบบอนุกรมด้วยซีเถ้ารวม 200 g สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ประสิทธิภาพในช่วงเริ่มต้นการกรอง 500 ml สูงสุดถึง 93% ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อปริมาตรการกรองเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาตรการกรอง 2 ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดสีเฉลี่ยประมาณ 85% และสามารถลดค่า COD ได้ 75% ซึ่งวิธีการใช้ CaO ร่วมกับการใช้ PAA และซีเถ้าเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนการดำเนินการต่ำ และเป็นการนำซีเถ้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

คำหลัก การกำจัดสี น้ำมันปาล์มดิบ CaO การรวมตะกอน สารดูดซับ

1. บทนำ

น้ำมันปาล์มนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ของประเทศไทย กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) ที่นิยมใช้กันมากโดยทั่วไป คือ การบีบและการแยกโดยใช้ไอน้ำ จึงเป็นที่มาของการเกิดน้ำเสียปริมาณมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ การบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่นิยมใช้แบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) [1] ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด หากปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะทำให้พืชน้ำอันเป็นแหล่งผลิตออกซิเจนไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ส่งผลแหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้ เหตุผลดังกล่าวทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างบ่อกักเก็บ สีของน้ำทิ้งนี้เกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน เป็นต้น [2] การย่อยสลายทางชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำเสียบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ วิธีการในการกำจัดสีในน้ำทิ้งทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางชีววิทยาโดยใช้เอ็นไซม์และจุลินทรีย์ วิธีทางเคมี ได้แก่ การใช้โพลีเพอร์ริคพร้อมกับต่าง การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน การใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มเพอร์ริคคลอไรด์ เพอร์ริคซัลเฟต และวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

เป็นต้น [2] การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน [3] เป็นวิธีการกำจัดสีที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงแต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้สารเคมีในปริมาณมากส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง การตกตะกอนด้วยสารส้ม เพอร์ริคคลอไรด์ เพอร์ริคซัลเฟตและ CaO เป็นวิธีการทางเคมีที่สามารถนำมาใช้ในการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำได้ การศึกษาในครั้งนี้เพื่อหาแนวทางในการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำและมีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็น การตกตะกอนในสภาวะเป็นเบสหรือใช้สารรวมตะกอน นับว่าเป็นวิธีการที่มีการใช้สารเคมีน้อย ราคาไม่แพงและหาซื้อได้ง่าย สารดูดซับชนิดซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาทะเลายและเส้นใยปาล์มเพื่อให้ความร้อนแก่มอเตอร์ต้มน้ำ (boiler) เป็นของเหลือทิ้งจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จากการศึกษาวิเคราะห์ซีเถ้าและผงถ่านจากการเผาทะเลายปาล์มดังกล่าวพบว่า มีพื้นที่ผิวทั้งหมด (BET surface area) ประมาณ 100 m²/g และมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโคร (micropore surface area) ประมาณ 90 m²/g จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นสารดูดซับได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการรวมตะกอนด้วย CaO และพอลิเมอร์ ร่วมกับการใช้ซีเถ้าจากเส้นใยและทะเลายปาล์มในการดูดซับสี โดยทำการทดลองแบบแบทช์ (batch) ที่มีการกวนผสมแบบกวนเร็วในตอนแรกและตามด้วยการกวนช้า เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาลักษณะการดำเนินการและหาสภาวะดำเนินการที่เหมาะสมในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์และสีจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้า เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

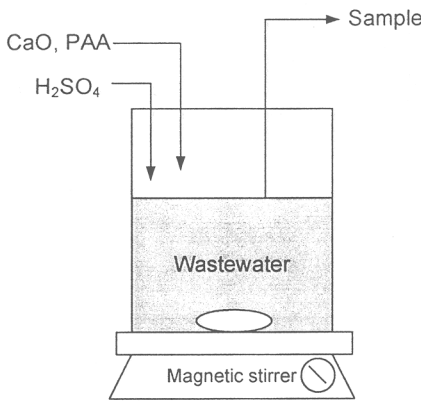
2.1 สารเคมี

สารเคมีสำหรับศึกษาการรวมตะกอนในน้ำเสียเพื่อการบำบัดสีมี 3 ชนิด คือ CaO กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) 1 N. และพอลิเมอร์ชนิด Polyacrylamide (PAA) สารดูดซับสำหรับการดูดซับสีซีเถ้าจากทะเลายและเส้นใยปาล์ม จากโรงงานบริษัทพิทักษ์ปาล์ม จำกัด จ. กระบี่ ตัวอย่างน้ำเสียบ่อสุดท้าย จากโรงงานบริษัทพิทักษ์ปาล์ม จำกัด จ. กระบี่

2.2 ชุดทดลองแบบแบทช์

ชุดทดลองปฏิกรณ์แบบแบทช์สำหรับการบำบัดสีในน้ำเสียประกอบด้วย อุปกรณ์ในการกวน เป็นเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ยี่ห้อ Eutech สามารถปรับความเร็วรอบในการกวนได้ในช่วง 30 – 100 rpm บีกเกอร์ขนาด 100 ml สำหรับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารรวมตะกอน ตั้ง

แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับใช้ศึกษาการรวมตะกอนในการกำจัดสีในน้ำเสีย

2.2.1 การศึกษาการใช้ CaO ในการรวมตะกอน

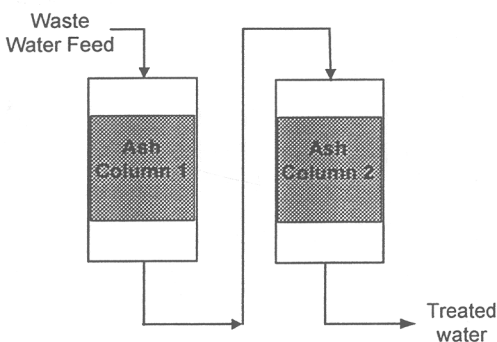
ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนเพื่อการกำจัดสีในน้ำเสียด้วย CaO โดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำเสีย 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml. และสภาวะที่ทำการศึกษาคือ pH ช่วง 2-8 ใช้ CaO ช่วง 1-8 g/l ทำการกวนน้ำเสียในบีกเกอร์ด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) โดยกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 rpm 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 rpm 10 นาที วางให้ตกตะกอน 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำส่วนบน 10 ml เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าสีของน้ำเสียเปรียบเทียบกับน้ำเสียตั้งต้น

2.2.2 การศึกษาผลของการใช้ CaO ร่วมกับพอลิเมอร์ในการรวมตะกอน

ใช้สภาวะ pH ที่เหมาะสมในข้อ 2.2.1 ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ชนิด PAA ร่วมในการรวมตะกอน โดยศึกษาปริมาณการเติม CaO ช่วง 1-5 g/l และใช้ PAA คงที่ 0.12 g/l หลังจากกวนผสม 30 นาที เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าสีของน้ำเสีย

2.3 ชุดทดลองคอลัมน์ดูดซับสี

คอลัมน์ดูดซับสีในน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิดแพคคอลัมน์ (packed column) เพื่อใช้ในการศึกษาการดูดซับสีด้วยซีเฝ้าจากเส้นใยและทะเลสาปาล์มที่สภาวะที่เหมาะสม โดยคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม. บรรจุซีเฝ้าชุดละ 100 g. ต่อกันเป็นแบบอนุกรมจำนวน 2 คอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แพคคอลัมน์สำหรับศึกษาการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยซีเฝ้าจากเส้นใยและทะเลสาปาล์ม

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยซีเฝ้า โดยการนำน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยสภาวะที่เหมาะสม กรองผ่านคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง โดยใช้น้ำเสียปริมาตร 2 ลิตร ป้อนผ่านชุดกรอง อย่างต่อเนื่องผ่านคอลัมน์ 1 ทางส่วนบนของคอลัมน์ และนำน้ำที่ได้จากส่วนล่างของคอลัมน์ 1 ไปป้อนต่อยังคอลัมน์ 2 เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองจากคอลัมน์ที่ 2 ครั้งละ 50 ml โดยเก็บตามช่วงปริมาตรที่ป้อนคือ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ลิตร ตามลำดับ วิเคราะห์ค่าสีของน้ำเสีย

2.4 การวัดและวิเคราะห์

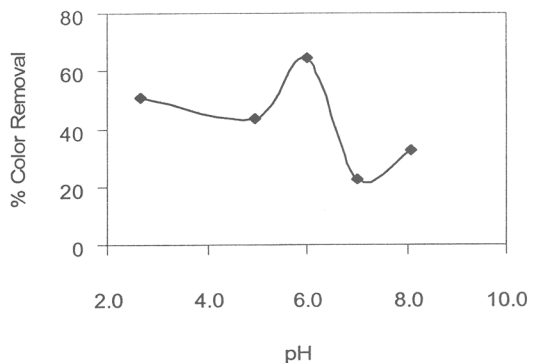
การวิเคราะห์หาความเข้มข้นสีของตัวอย่างน้ำเสียเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยใช้วิธีแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co Unit) โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร วัดค่า pH ของน้ำเสียโดยใช้เครื่อง pH มิเตอร์ ยี่ห้อ Mettler รุ่น AG วิเคราะห์ค่า COD และ pH ของน้ำเสียที่ได้จากการดำเนินการกำจัดสี จำนวนประสิทธิภาพการบำบัด ดังสมการที่ 1

$$\text{Color removal eff. (\%)} = \frac{\text{Color}_{in} - \text{Color}_{out}}{\text{Color}_{in}} \times 100 \quad (1)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่า pH การรวมตะกอนด้วย CaO

เนื่องจากค่า pH ของน้ำเสียมีผลโดยตรงต่อการรวมตะกอนงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการรวมตะกอนโดยการปรับค่า pH ของน้ำทิ้งในช่วง pH 2-8 และเติม CaO คงที่ 4 g/l พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ pH 6 ซึ่งให้ประสิทธิภาพกำจัดสี 64% ดังแสดงในกราฟรูปที่ 1

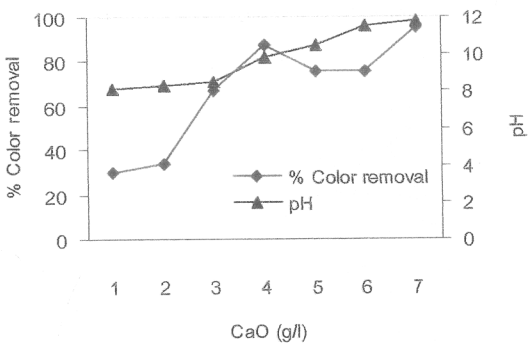


รูปที่ 1 ผลของค่า pH ของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการรวมตะกอนด้วย CaO

3.2 ผลการศึกษาปริมาณการเติม CaO ต่อการรวมตะกอนร่วมกับพอลิเมอร์

จากการศึกษาการใช้พอลิเมอร์ชนิด PAA ร่วมในการรวมตะกอน โดยสภาวะที่ใช้คือ pH 6 เติม CaO ในช่วง 1-5 g/l และใช้ PAA 0.12 g/l พบว่าเมื่อ CaO เพิ่มขึ้นในช่วง 1-5 g/l ทำให้การกำจัดสีมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะที่สภาวะที่เหมาะสม ประสิทธิภาพเพิ่มจาก 64% เป็น 87% แต่เมื่อใช้ CaO เพิ่มขึ้นช่วง 5-6 g/l พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง แสดงว่าการเพิ่ม

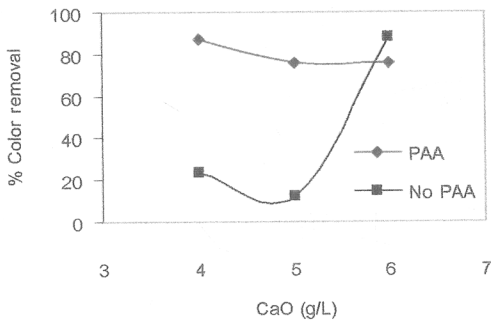
CaO มากขึ้นทำให้ค่า pH สูงขึ้น สถานะการรวมตะกอนไม่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งด้วย CaO ร่วมกับ PAA และผลของปริมาณการเติม CaO ต่อค่า pH ของน้ำทิ้ง

3.3 ผลการใช้พอลิเมอร์ PAA ร่วมกับ CaO ในการรวมตะกอน

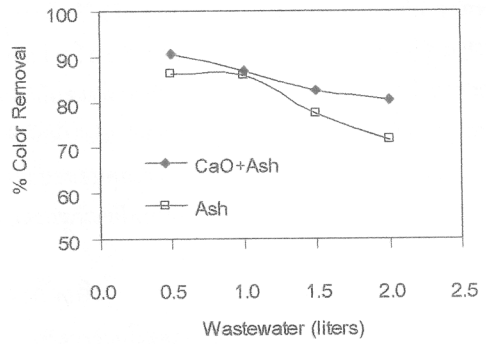
ผลการศึกษาเปรียบเทียบการไม่เติมพอลิเมอร์ ร่วมกับ CaO ในการรวมตะกอน โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของ CaO 4-6 g/l พบว่าที่ใช้ CaO 4-5 g/l และเติม PAA จะช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีกว่า การไม่ใช้ PAA และพบว่าการใช้สารรวมตะกอน CaO 6 g/l โดยไม่ใช้ PAA ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงถึง 90% ดังกราฟในรูปที่ 4 แต่ pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้จริง



รูปที่ 4 ผลการศึกษาการไม่ใช้ PAA ร่วมในการรวมตะกอนของน้ำทิ้งด้วยสารรวมตะกอน CaO

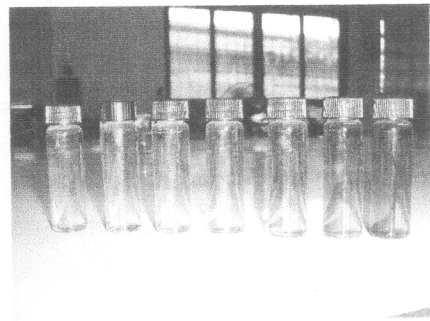
3.4 ผลการศึกษาการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยซีเถ้าในแพคคอลัมน์

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีในน้ำเสียด้วยการดูดซับด้วยซีเถ้า ดำเนินการโดยการนำน้ำเสียตัวอย่างและน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วย CaO และ PAA ที่สถานะที่เหมาะสม กรองผ่านแพคคอลัมน์ เก็บตัวอย่างน้ำเสียซึ่งผ่านการกรองคอลัมน์ที่ 2 ทุกๆ ปริมาตรการกรอง 0.5 ลิตร ประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสีจากความเข้มข้นสีของน้ำเสียก่อนการบำบัด และหลังจากการกรองผ่านแพคคอลัมน์ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีประมาณ 90% ที่ปริมาตรการกรอง 0.5 ลิตร เมื่อปริมาตรการกรองเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพลดลง และประสิทธิภาพที่ได้ดีกว่าการกรองด้วยซีเถ้าเพียงอย่างเดียวประมาณ 10 % ผลดังกราฟรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่ปริมาณการใช้ CaO 4 g/l เปรียบเทียบกับการดูดซับด้วยซีเถ้า

จากการทดลองดังกล่าว พบว่า ซีเถ้าจากเส้นใยและละลายปาล์ม 200 กรัม สามารถดูดซับสีในน้ำเสียได้ประมาณ 2 ลิตร หลังจากนั้นน้ำที่ผ่านการกรองจะเริ่มมีสีเข้มขึ้น ดังรูปที่ 6 และเมื่อคิดประสิทธิภาพรวมของระบบสำหรับการกรองน้ำปริมาตร 2 ลิตร ด้วยซีเถ้า 200 กรัม กำจัดสีโดยเฉลี่ย 85% ดังนั้น ซีเถ้า 1 กิโลกรัมสามารถกรองน้ำที่ผ่านการรวมตะกอนที่สถานะที่เหมาะสมได้ประมาณ 10 ลิตร



รูปที่ 6 น้ำเสียที่ผ่านการกรองอย่างต่อเนื่องด้วยซีเถ้าจากทะเลสาบปาล์ม

3.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบด้วยการรวมตะกอนด้วย CaO 4 g/l และผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยซีเถ้า 200 g พบว่าให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ประมาณ 75% เปรียบเทียบกับการใช้ซีเถ้าอย่างเดียวประสิทธิภาพประมาณ 70% ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการกำจัดสีด้วยการรวมตะกอนร่วมกับการดูดซับด้วยซีเถ้า

Parameter	Before Treatment	CaO 4 g/l + Ash 200 g	Ash 200 g
COD (mg/l)	1177	294	356
pH	8.1	8.7	8.7

4. เปรียบเทียบการกำจัดสีด้วยวิธี Fenton และการรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเมนต์

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการกำจัดสีด้วยวิธี Fenton และการรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการดูดซับด้วยซีเมนต์

Fenton + Ash	CaO + Ash
1. สารเคมี - FeSO ₄ 0.1 g/l - H ₂ O ₂ (30%) 0.4 ml/l - H ₂ SO ₄ ปรับ pH เป็น 3	1. สารเคมี - H ₂ SO ₄ ปรับ pH เป็น 6 - CaO 0.4 g/l - PAA 0.12 g/l
2. Ash 20 g/l	2. Ash 100 g/l
3. Color removal 80-85 %	3. Color removal 85 %
4. COD removal 68 %	4. COD removal 75 %
5. pH หลังการบำบัด 8.5	5. pH หลังการบำบัด 8.7

จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบความต้องการสารเคมีและประสิทธิภาพการกำจัดสีแล้ว จะสังเกตว่า การรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการใช้ซีเมนต์เป็นตัวดูดซับ ใช้ต้นทุนสารเคมีต่ำกว่าการใช้ Fenton + Ash มาก ถึงแม้ว่าการใช้ซีเมนต์ในการดูดซับจะใช้มากกว่าถึง 5 เท่า จึงเป็นการใช้ของเสียเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ และประสิทธิภาพหลังการกำจัดสีมีความใกล้เคียงกัน

5. สรุปผลการทดลอง

สภาวะเหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง คือ การรวมตะกอนที่ pH 6 ใช้ CaO 4 g/l และ PAA 0.12 g/l ร่วมกับการกรองผ่านซีเมนต์ในแพคคอลัมน์จำนวน 2 คอลัมน์ที่ต่อกันแบบอนุกรมด้วยปริมาณซีเมนต์รวม 200 g ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 85% และระบบสามารถลดค่า COD ในน้ำทิ้งได้ 75% น้ำเสียหลังการบำบัด pH = 8.7 การใช้ CaO ร่วมกับ PAA และใช้ซีเมนต์เป็นสารดูดซับนี้เป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนการดำเนินการต่ำ โดยสามารถลดปริมาณการใช้ CaO และ PAA ได้ด้วยการนำน้ำมาผ่านการกรองด้วยซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ด้วยปริมาณการใช้ซีเมนต์ที่ไม่มากนัก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาเบื้องต้น จากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (PTRU) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณบริษัท พัทธ์ษปาล์ม จำกัด ที่อนุเคราะห์น้ำเสียและซีเมนต์จากหลายปาล์ม และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา ศรีสุวรรณ โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม รายงานการวิจัย งบประมาณแผ่นดินปีงบประมาณ 2542 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 1-4.
- [2] พูนสุข ประเสริฐสรรพ อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และโสภา จันทภาโส เปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพทางเคมี และทางกายภาพ ว.สงขลานครินทร์ วทท. ปีที่ 23 (ฉบับพิเศษ) 2544 หน้า 808-819.
- [3] จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และพรศิริ แก้วประดิษฐ์ การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มโดยใช้สารดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. 8-9 พฤษภาคม 2552. หน้า 78-81
- [4] Rajesh, K.S., Sankaralingam, P., Subramanian. S., Subrahmanyam, S.V. Color removal from Pulp and Paper Mill effluent-methods and industrial application-a review. IPPTA J. Vol.21. No.1. 2009. P143-148.
- [5] Nguyen The Dong, Pham thi Thanh Ha, and Phan Do Hung. Color and COD removal of dyeing wastewater by combination treatment of coagulation and fenton oxidation. Institute of Environmental Technology, NCST.

เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และมีค่าต่างในการปรับ pH ของน้ำหลังการบำบัด จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดเพิ่มเป็นประมาณคิวบิกเมตรละ 25 บาท

5. สรุปผลการทดลอง

ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งปอสุดท้ายที่เกิดจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบโดยการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และรวมตะกอนด้วย PAM พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน คือ การใช้ PAC 0.8 g/l ร่วมกับ PAM 2 mg/l ที่ pH 8.7 ทำการกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 rpm 5 นาที และกวนช้าที่ 70 rpm 3 นาที วางให้ตกตะกอนภายในระยะเวลา 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีและ BOD ได้ 86% และ 70% ตามลำดับ การดำเนินการนี้ใช้ต้นทุนค่าสารเคมีในการบำบัดน้ำทิ้งคิวบิกเมตรละประมาณ 11 บาท การเพิ่มความเข้มข้นของการเติม PACI ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่ม PAM ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่เป็นตัวช่วยในการรวมตะกอนให้ตะกอนตกจมได้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2553 สัญญาเลขที่ ENG530105S และหน่วยวิจัยการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด หาดใหญ่วอเตอร์เซ็นเตอร์ คุณสมใจ แก้วหนู และ คุณพนา เมฆตรง เจ้าหน้าที่กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ PACI และโพลีเมอร์ และขอขอบคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา ศรีสุวรรณ 2542. โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า1-4.
- [2] จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และจรัญ บุญกาญจน์ 2552. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มโดยการตกตะกอนด้วย CaO ร่วมกับซีเฝ้าจากสันไยและทะเลลายปาล์ม การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ณ.เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี. หน้า 188-189.

- [3] จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และพรศิริ แก้วประดิษฐ์. 2552. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มโดยการใช้สารดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเฟนตัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. หน้า 78-81.
- [4] พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟลอคคูเลชัน (Flocculation) เอกสารประกอบการบรรยาย ส่วนวิเคราะห์จัดการสิ่งแวดล้อม กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ
- [5] G. Bogoeva, A. Bužarovska and B. Dimzowski. 2008. Decoloration of Synthetic Dyeing Wastewater Using Polyaluminium Chloride. G.U. Journal of Science 21(4). P123-128.
- [6] J. Lin, C. Huang, J.R. Pan, and D. Wang. 2008. Effect of Al(III) Speciation on Coagulation of Highly Turbid Water. Chemosphere 72. P189-196.
- [7] ทศนา เกื้อแสง ธนวัตี เตชะภัทรวรรกุล สุขสาโรจน์ จรงค์พันธ์ มุสิกวงค์ และชัยศรี สุขสาโรจน์ 2552. ประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับแคทไอออนิกโพลีเมอร์และต้านกัมมันต์แบบผงในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำประปาดิบ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. หน้า 619-626.
- [8] APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Method for The Examination of Water and Wastewater. 19th Ed.

การกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ โดยการโคแอกกูเลชันด้วย Polyaluminium Chloride ร่วมกับ Polyacrylamide

จรรยา อินทมณี^{1*} จันทิมา ชั่งสิริพร¹ และจรรณู บุญกัญญา¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: janya.i@psu.ac.th

บทคัดย่อ ปัญหาสีและค่า BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ ทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ สืบเนื่องจากเกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคลโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และ เพคติน การย่อยสลายทางชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำทิ้งไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ ที่มีค่าสี 2945 Pt-Co Unit ค่า BOD 261 mg/l และ COD 1943 mg/l งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการบำบัดสีและสารอินทรีย์ ในรูปของค่า BOD ในน้ำทิ้งด้วยวิธีการโคแอกกูเลชันด้วย Polyaluminium Chloride (PACI หรือ PAC) ร่วมกับการรวมตะกอนด้วย Polyacrylamide (PAM) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน คือ การใช้ PAC 0.8 g/l ร่วมกับ PAM 2 mg/l ที่ pH 8.7 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 rpm 5 นาที และกวนช้าที่ 70 rpm 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีและ BOD ได้ 86% และ 70% ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของ PACI จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่ม PAM ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่เป็นตัวช่วยในการรวมตะกอนให้ตะกอนตกจมได้ดีขึ้น การดำเนินการนี้ใช้ต้นทุนค่าสารเคมีในการบำบัดน้ำทิ้งคิวบิกเมตรละประมาณ 11บาท

คำหลัก น้ำทิ้ง น้ำมันปาล์มดิบ โคแอกกูเลชัน การรวมตะกอน

1. บทนำ

ปัญหาเรื่องสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) นับว่าเป็นปัญหาสำคัญทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างบ่อกักเก็บน้ำทิ้ง การปนเปื้อนของสีในน้ำทิ้งนี้เกิดจากสารพวกแอนโทไซยานิน แคลโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน เป็นต้น [1] การย่อยสลายทางชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำเสียบ่อสุดท้ายยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ วิธีการกำจัดสีในน้ำมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้สารดูดซับ การรวมตะกอนด้วย CaO ร่วมกับการใช้ซีเถ้าจากเส้นใยและทะเลสาปาล์ม [2] และ การใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน [3] เป็นต้น วิธีการเหล่านี้ให้ประสิทธิภาพที่สูงแต่มีข้อเสีย เช่น ต้องใช้ซีเถ้า สารรวมตะกอน และสารเคมีในปริมาณมาก การใช้ปฏิกิริยาเฟนตันจะต้องปรับสภาพของน้ำทิ้งให้เป็นกรดก่อนการบำบัด ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง การใช้สารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) ชนิด Polyaluminium Chloride (PACI หรือ PAC) และ Polyacrylamide (PAM) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ สารโพลีเมอร์ชนิด PACI เป็นสารรวมตะกอนที่นำมาใช้แทนสารส้ม มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก (cationic) เมื่อละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์เป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย [4] นิยมใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เช่น

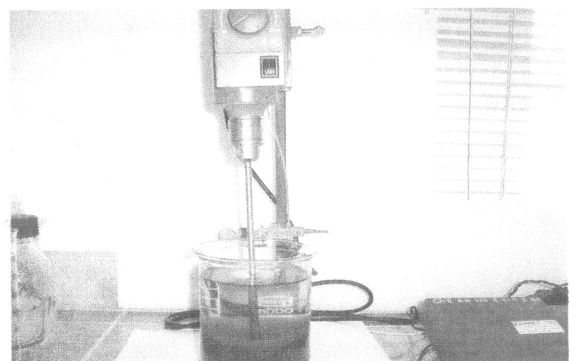
น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในการรวมตะกอนและตกตะกอน เช่น ใช้ในการกำจัดสี Reactive dye และ Direct dye ในน้ำเสียสังเคราะห์ [5] การตกตะกอนน้ำที่มีความขุ่นสูง [6] และใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบของการผลิตน้ำประปา พบว่าสามารถลดค่า UV-254 และลดค่า DOC ได้ดี และพบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์กลุ่ม Humic acid like substances ได้ดี [7] ซึ่งสารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวทำให้น้ำใต้ดินมีสีเหลืองอ่อนๆ กำจัดออกจากน้ำได้ยาก

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่ปนเปื้อนสารจำพวกสารพวกแอนโทไซยานิน แคลโรทีน โพลีฟีนอล แทนนิน และเพคติน ด้วยวิธีการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ รวมตะกอนด้วย PAM ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยระบบการกวนแบบแบทช์ โดยการศึกษาผลของค่า pH ปริมาณการใช้ PACI ร่วมกับ PAM และความเร็วยกในการกวน ต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการของระบบ ทำการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริง

2. อุปกรณ์การทดลอง

2.1 อุปกรณ์การศึกษาการรวมตะกอน

การศึกษาการรวมตะกอนของสารสีในน้ำทิ้ง ดำเนินการทดลองด้วยชุดอุปกรณ์การกวนระดับห้องปฏิบัติการที่ประกอบด้วย เครื่องกวน (overhead stirrer) ใบกวนชนิด High-Shear Radiol Flow Impeller ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ในช่วง 50-2000 rpm ยี่ห้อ IKA[®] รุ่น EUROSTAR digital และใช้บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เป็นถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้อุปกรณ์ควบคุม pH ในการรวมตะกอนด้วย pH meter ยี่ห้อ SCHOTT รุ่น CG842



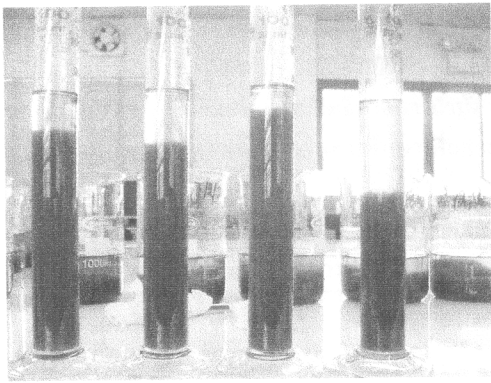
รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์ศึกษาการกวนระดับห้องปฏิบัติการ

2.2 อุปกรณ์ศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอน

การศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสารสีในน้ำที่ดำเนินการโดยใช้กระบอกตวงขนาด 100 มล. ใช้ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการเติมสารรวมตะกอนแล้วปริมาตร 100 มล. ใช้เวลาการตกตะกอน 20 นาที และทำการประเมินประสิทธิภาพในการตกตะกอนที่เวลา 20 นาที โดยวัดปริมาตรของตะกอนซึ่งตกสู่ส่วนล่าง ดังแสดงภาพตัวอย่างในรูปที่ 2 ทำการคำนวณประสิทธิภาพในการตกตะกอนในรูปของ % By vol. of clear water โดยสมการที่ (1)

$$\% \text{By vol. of clear water} = \frac{X - Y}{X} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ X = ปริมาตรน้ำทั้งหมด และ Y = ปริมาตรตะกอนที่ตก



รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์การศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอนของน้ำที่เติมสารรวมตะกอน

2.3 สารเคมีและตัวอย่างน้ำทิ้ง

สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้เป็นสารละลาย Polyaluminium Chloride (PACl) 10% ผลิตในประเทศไทย จำหน่ายโดยบริษัท จีเค ไฟน์เคม จำกัด องค์ประกอบหลักทางเคมีคำนวณในรูปของ Al_2O_3 ประมาณ 10-11% สารพอลิเมอร์ที่ใช้ คือ Polyacrylamide (PAM) ชนิดผง ยี่ห้อ ACCOFLOC A-120 เป็นโพลิเมอร์ชนิด Anionic มีประจุเป็นลบ ก่อนใช้งานทำการเตรียมเป็นสารละลายที่ความเข้มข้น 0.1% w/w สารเคมีสำหรับปรับ pH ใช้ H_2SO_4 1 M และ NaOH 1 M น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำจากบ่อสุดท้ายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของบริษัท ตรีงอุตสาหกรรม น้ำมันปาล์ม จำกัด

3. วิธีทดลอง

3.1 การศึกษาผลของค่า pH ต่อการกำจัดสีในน้ำทิ้งด้วย PACl

การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการโคแอกกูแลชันและรวมตะกอนของน้ำเสียด้วย PACl โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ปรับ pH ในช่วง 6.0 - 8.0 เติม PACl 0.5 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 5 นาที ขณะกวนทำการวัดค่า pH ของระบบ หลังจากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที เก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีและประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบ

3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูแลชันด้วย PACl

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูแลชันและรวมตะกอนของน้ำเสียด้วย PACl โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร วัด pH ก่อนการทดลอง เติม PACl 0.2-2.0 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm 5 นาที ขณะกวนวัด pH ของระบบหลังการเติม PACl และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที เก็บตัวอย่างแบ่งน้ำตัวอย่างที่ได้ใส่กระบอกตวง 100 มล. วางให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที วัดปริมาตรตะกอน ประเมินผลประสิทธิภาพในการตกตะกอน และเก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. มาทำการวิเคราะห์ค่าสีและประเมินผลประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูแลชันด้วย PACl ร่วมกับ PAM

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูแลชันด้วย PACl ร่วมกับ PAM โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร วัด pH น้ำเสียก่อนการบำบัด เติม PACl 0.2-2.0 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm 5 นาที ขณะกวนวัด pH ของระบบหลังการเติม PACl หลังจากนั้นเติม PAM 2 mg/l และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วัดค่า pH ของระบบหลังเติม PAM ทุกการทดลองแบ่งน้ำตัวอย่างที่ได้ใส่กระบอกตวง 100 มล. วางให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที วัดปริมาตรตะกอน ประเมินประสิทธิภาพในการตกตะกอน และเก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. มาทำการวิเคราะห์ค่าสีและประเมินผลประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วย PAM

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอน ทำการศึกษาโดยใช้ค่า pH ของน้ำทิ้งคือ pH 8.6 โดยตวงตัวอย่างน้ำ 500 มล. ใช้ PACl 0.6 และ 0.8 g/l กวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm 5 นาที ขณะกวนวัด pH ของระบบหลังการเติม PACl หลังจากนั้นเติม PAM ช่วง 1.5-4.0 mg/l และกวนช้าที่ 70 rpm 3 นาที วัด pH ของระบบหลังเติม PAM แบ่งน้ำตัวอย่างใส่กระบอกตวง 100 มล. วางให้ตกตะกอน 20 นาที วัดปริมาตรตะกอน ประเมินประสิทธิภาพในการตกตะกอนและเก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบน 15 มล. วิเคราะห์ค่าสี ประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.5 การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกวน

การศึกษาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกวน โดยนำน้ำทิ้งปริมาตร 1 ลิตร เติม PACl 0.8 g/l กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100-300 rpm เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติม PAM 2 mg/l กวนช้าที่ความเร็วรอบ 50-70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที นำน้ำใสส่วนบนไปวัดค่าสี และวัดปริมาตรน้ำใสหลังการตกตะกอน

3.6 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

วิเคราะห์ BOD โดยวิธี Iodometric Method วิเคราะห์ COD โดยวิธี Open Reflux Method และวิเคราะห์สีโดยวิธีแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co Unit) [8] ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร คำนวณประสิทธิภาพในการกำจัด BOD COD และ Color ได้ตั้ง

สมการที่ (2)

$$\% \text{ Removal} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A = BOD, COD และ Color ก่อนการบำบัด และ B = BOD, COD และ Color หลังการบำบัด

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีด้วย PACI

ผลการศึกษาการกำจัดสีด้วย PACI 0.5 g/l ที่ pH ช่วง 6.0-8.0 พบว่าหลังจากการรวมตะกอน ค่า pH ของระบบจะลดลง ที่สภาวะ pH 6.0 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงถึง 92% ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ที่ค่า pH ดังกล่าวไม่เหมาะสม เนื่องจากค่า pH ของน้ำทิ้งก่อนบำบัดมีค่าประมาณ 8.7 จะต้องสิ้นเปลืองกรดในการปรับ pH และหลังการบำบัดค่า pH ต่อกันข้างต่ำ จะต้องสิ้นเปลืองด่างในการปรับ pH เช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาที่สภาวะ pH 8 ซึ่งเป็นค่า pH ที่ใกล้เคียงกับ pH ของน้ำเสียก่อนการบำบัด ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัด 63% จึงสนใจที่จะใช้ค่า pH ของน้ำเสียก่อนบำบัดในการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันต่อไป

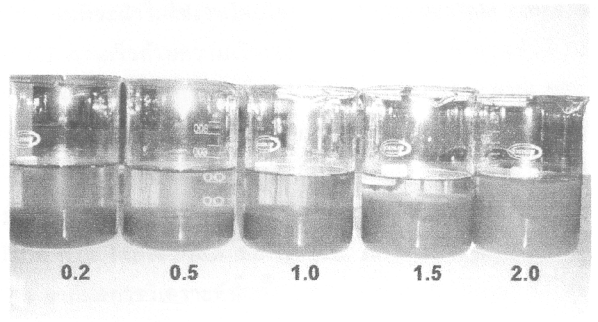
ตารางที่ 1 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

% Color removal	pH before coagulation	pH after coagulation
92	6.0	5.4
89	6.5	6.0
85	7.0	6.4
65	7.5	6.5
63	8.0	6.7

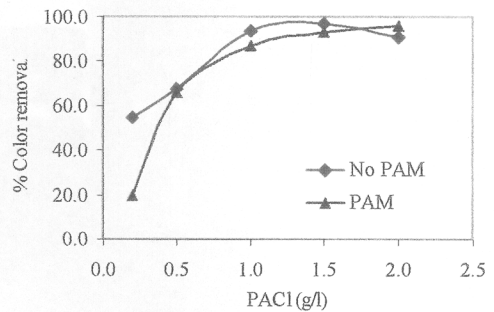
4.2 ผลการศึกษาปริมาณการใช้ PACI ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ การใช้ PACI ร่วมกับ PAM

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันและรวมตะกอนด้วย PACI โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เติม PACI ในช่วง 0.2-2.0 g/l พบว่าประสิทธิภาพกำจัดสีขึ้นอยู่กับปริมาณการเติม PACI โดยที่ปริมาณการใช้ PACI ที่ 1.5 g/l และไม่เติม PAM ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงถึง 97% แต่ตะกอนที่ได้มีขนาดเล็กส่งผลให้เกิดการตกตะกอนได้ช้าและต้องวางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนถึง 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อสังเกตลักษณะการตกตะกอนพบว่า ที่ปริมาณการใช้ PACI 1.5-2.0 g/l ตะกอนตกช้า และเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ PACI ในช่วง 0.2-2.0 g/l ร่วมกับการใช้ PAM 2 mg/l พบว่าเกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้น แสดงผลดังกราฟในรูปที่ 5 แต่ pH ของน้ำหลังกำจัดสีประมาณ 5.5 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6 การใช้สารรวมตะกอน PAM ไม่ได้ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 ดังนั้นปริมาณการใช้ PACI ที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 0.6-0.8 g/l เนื่องจาก pH ของน้ำทิ้งหลังการบำบัดอยู่ในช่วง 6.5-7.0 ทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำหลังการบำบัด และพบว่าการ

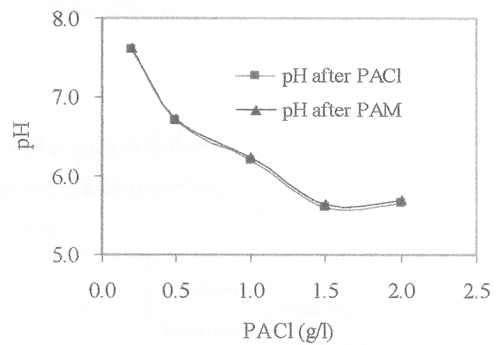
เติม PAM ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่ช่วยในการรวมตะกอนให้ตกเร็วขึ้น



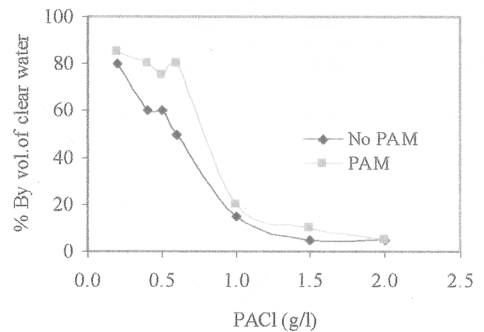
รูปที่ 3 ลักษณะการตกตะกอนโดยใช้ PACI 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 g/l ที่ pH 8.7



รูปที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ปริมาณการใช้ PACI 0.2-2.0 g/l ร่วมกับ PAM และไม่ใช้ PAM



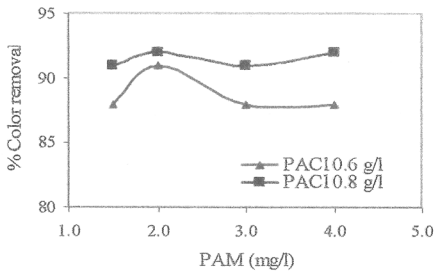
รูปที่ 5 เปรียบเทียบ pH ของระบบหลังการใช้ PACI และ PAM



รูปที่ 6 ผลของการใช้ PAM ต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของ PACI ต่าง ๆ

4.3 ผลการศึกษาผลของการใช้ PAM

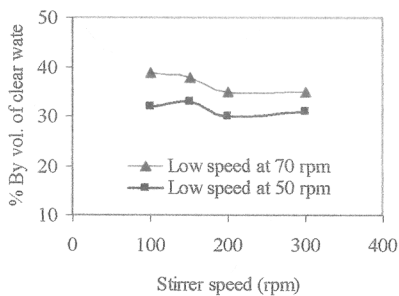
การศึกษาปริมาณการใช้ PAM ที่เหมาะสม โดยเลือกศึกษาปริมาณการใช้ PACI 0.6 และ 0.8 g/l ใช้ PAM ช่วง 1.5-4.0 mg/l พบว่าเมื่อใช้ PACI 0.8 mg/l และใช้ PAM 2 mg/l ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ 92% ดังแสดงกราฟในรูปที่ 8



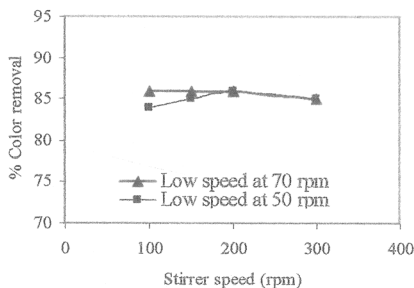
รูปที่ 7 ผลของปริมาณการใช้สารรวมตะกอน PAM ช่วง 1.5-4.0 mg/l ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้ง

4.4 ผลการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม

การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วย PACI ร่วมกับ PAM โดยนำน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร เติม PACI 0.8 g/l กวนเร็วที่ 100-300 rpm เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติม PAM 2 mg/l กวนช้าที่ 50-70 rpm เป็นเวลา 3 นาที วางให้ตกตะกอน 20 นาที พบว่าความเร็วรอบในการกวนเร็วที่เหมาะสมคือ 100 rpm ส่วนความเร็วรอบในการกวนช้าคือ 70 rpm ซึ่งความเร็วรอบในการกวนช้ามีผลต่อการรวมตะกอน แต่ไม่มีผลต่อการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ ดังกราฟในรูปที่ 9 และ รูปที่ 10 ดังนั้นความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานคือ กวนเร็วที่ 100 rpm 5 นาที และกวนช้า ที่ 70 rpm 3 นาที ที่เวลาในการตกตะกอน 20 นาที จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบประมาณ 86% ได้น้ำใสส่วนใสมากประมาณ 39%



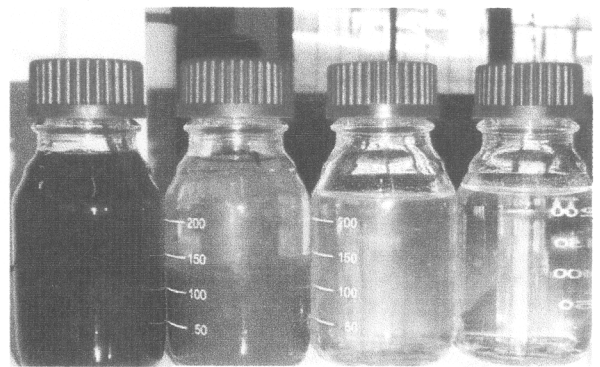
รูปที่ 8 ผลของความเร็วรอบในการกวนช้าต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสารสีน้ำทิ้ง



รูปที่ 9 ผลของความเร็วรอบในการกวนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้ง

4.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดสีที่สภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานโดยใช้ PACI 0.8 g/l ใช้ PAM 2 mg/l ที่ pH 8.7 กวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 rpm 5 นาที กวนช้าที่ 70 rpm 3 นาที ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี และ BOD ประมาณ 86% และ 70% ตามลำดับ ดังแสดงภาพการเปรียบเทียบลักษณะของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดในรูปที่ 11 แต่พบว่าค่า COD เพิ่มขึ้น 42% เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัด 92% โดยใช้ PACI 1.5 g/l พบว่าสามารถลดค่า COD ได้ 47% จากผลการวิเคราะห์น้ำทิ้ง 2 สภาวะพบว่ายังมีอนุภาคฟlocs คลอไรด์ ของสารละลาย PACI เหลืออยู่ จึงเป็นสาเหตุให้ค่า COD เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1



ก) น้ำทิ้งก่อนบำบัด ข) ตกตะกอน ค) Eff.86% ง) Eff.92%

รูปที่ 10 เปรียบเทียบสีของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดด้วย PACI ร่วมกับ PAM

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการกำจัดสีด้วยการโคแอกกูเลชันและรวมตะกอนด้วย PACI และ PAM

Parameter	Before treatment	After treatment at Eff. 86%	After treatment at Eff. 92%
BOD (mg/l)	261	79	52
COD (mg/l)	1943	3364	1024
pH	8.7	6.6	5.4
Chloride (mg/l)	-	2943	4750
Sulfate (mg/l)	-	95	23

4.6 ผลการประเมินต้นทุนการบำบัด

การประเมินต้นทุนการบำบัดสีในน้ำทิ้งโดยคิดจากราคาสารเคมี ซึ่งมีข้อมูลของราคาโดยประมาณของสารเคมีแต่ละชนิด คือ PACI ราคา 14 บาท/Kg และ PAM ราคา 235/Kg ดังนั้นที่สภาวะที่เหมาะสมซึ่งใช้ PACI 0.8 g/l และ PAM 2 mg/l ค่าสารเคมีต่อการบำบัดน้ำเสียที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัด 86% ประมาณคิวบิกเมตรละ 11 บาท และที่ประสิทธิภาพการบำบัด 92% จะต้องใช้ PACI