

การลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในกระบวนการรักษาเนื้อไม้
ของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูปด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน
Turbidity and Color Reduction of Reused Boron-Based Solution from Wood
Preservation Process of Rubber wood Processing Industry by Coagulation
and Flocculation

อุสรรัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์^{1*}, พิชญา ธนาผยนันต์¹, ศิริวัฒนา รินทราณี¹, อธิวิวัฒน์ บุญสร้างสม¹
Usarat Thawornchaisit^{1*}, Pichaya Thanartyanan¹, Siriwatthana Rintharamee¹,
Ittiwat Boonsangsom¹

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

*Corresponding author Tel: 08 6310 3831, E-mail: usarat.th@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้น้ำยาโบรอนซ้ำในกระบวนการรักษาเนื้อไม้โดยวิธีการอัดน้ำยาด้วยแรงดันของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูป ทำให้สีของน้ำยาโบรอนเปลี่ยนจากใสเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นจนถึงสีดำซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการนำกลับไปใช้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยา งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้เป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้ด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ และค่าพีเอชของน้ำยาโบรอน ผลการศึกษาพบว่า การลดความขุ่นและสีเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเท่ากับ 8 เมื่อใช้ปริมาณสารส้ม (Alum) เพอร์ริคคลอไรด์ (FeCl_3) และโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ที่ 4.7, 1.7 และ 3.3 กรัมต่อลิตร ตามลำดับที่ภาวะดังกล่าว ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้คือ PAC (95.6%) > FeCl_3 (92.1%) > Alum (87.4%) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าเป็นดังนี้คือ FeCl_3 (97.8%) > PAC (96.7%) > Alum (96.1%) ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกโคแอกกูแลนต์เพื่อใช้ในการกำจัดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการรักษาเนื้อไม้

คำสำคัญ: การกำจัดสารสี การกำจัดความขุ่น โคแอกกูแลนต์ กรดบอริก อุตสาหกรรมไม้ยางพารา

ABSTRACT

The reusability of boron solution in wood preservation process using pressurizing impregnation process of the rubber wood industry causes the color in the solution

Received 17-11-2018

Revised 04-01-2019

Accepted 07-01-2019

changed from colorless to dark brown and even black as the increase number of its reused cycles. Applying those solutions to the process affects the natural color of the treated wood. This research was conducted to investigate the efficiency of coagulation and flocculation to reduce the turbidity and color of boron solution that was used as wood preservative. Types of coagulants, coagulant dosage and initial pH of boron solution were studied. Results showed that the maximum reduction of turbidity and color occurred when alum, ferric chloride (FeCl_3), and polyaluminium chloride (PAC) at the amount of 4.7, 1.7, and 3.3 g/L, respectively, were added to boron solution with initial pH of 8.0. At the stated conditions, removal efficiency for turbidity were in order of PAC (95.6%) > FeCl_3 (92.1%) > Alum (87.4%). Color removal efficiency were in order of FeCl_3 (97.8%) > PAC (96.7%) > Alum (96.1%). The results of the current study can be used as preliminary information for the selection of coagulants for the removal of turbidity and color of boron solution for recycling purpose in the wood preservation process.

Keywords: Decolorization, Turbidity removal, Coagulant, Boric acid, Rubber wood industry

1. บทนำ

ในอดีตไม้ยางพาราถือเป็นผลพลอยได้จากการผลิตยางของเกษตรกร ซึ่งชาวสวนยางมักโค่นต้นยางและเผาทิ้งเมื่อต้นยางมีอายุมากและให้ผลผลิตน้อยไม่คุ้มค่ากับต้นทุนการผลิต ในยุคแห่งการตื่นตัวของประเทศทั่วโลกเกี่ยวกับการอนุรักษ์และรักษาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้และต้นน้ำ ทำให้แต่ละประเทศรวมทั้งประเทศไทย ดำเนินนโยบายผลักดันให้หยุดการตัดหรือการเลื่อยแปรรูปไม้จากป่าไม้ธรรมชาติ ส่งผลให้ไม้ยางพาราเข้ามามีบทบาทต่อการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนการนำมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศมากขึ้น อีกทั้งไม้ยางพาราเป็นเพียงไม้ชนิดเดียวของไทยที่ได้รับอนุญาตให้ส่งออกได้ไม่จำกัดปริมาณและเป็นไม้เศรษฐกิจหลักที่สร้างรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศ [1] กลุ่มธุรกิจไม้ยางพาราแปรรูปจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศ ดังจะเห็นได้จากปริมาณส่งออกไม้ยางพารา

แปรรูปที่ขยายตัวมากขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2555 ถึง 1.5 เท่า [1] ซึ่งเป็นสิ่งจูงใจให้มีผู้ประกอบการแปรรูปไม้ยางพารารายใหม่มากขึ้น ประกอบกับผู้ประกอบการรายเดิมขยายกำลังการผลิต ส่งผลให้อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราจัดเป็นกลุ่มธุรกิจที่มีการแข่งขันกันสูง การควบคุมหรือลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นแนวทางปฏิบัติสำคัญเพื่อให้ได้กำไรต่อหน่วยอยู่ในระดับที่ผู้ประกอบการพึงพอใจ

กระบวนการแปรรูปไม้ยางพาราประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเลื่อยแปรรูปไม้ยางพารา 2) การอัดน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ และ 3) การอบแห้ง เนื่องจากในเนื้อไม้ยางพารามีแป้งสะสมอยู่มากกว่าเนื้อไม้ทั่วไปถึง 5 เท่า [2] ทำให้ไม้ยางพาราที่ผ่านการตัดโค่นหรือผ่านการเลื่อยแปรรูปใหม่ ๆ เป็นไม้ที่ถูกศัตรูทำลายเนื้อไม้ เช่น เชื้อรา แมลงจำพวกมอดหรือปลวก เข้าทำลายได้ง่ายและรวดเร็ว การรักษาเนื้อไม้ด้วยการอบ/อัดน้ำยาจึงเป็นขั้นตอนที่ต้องรีบดำเนินการทันทีภายหลังจาก

การเลื่อยแปรรูปไม้ เพื่อยับยั้งหรือป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเนื้อไม้จากการเจริญเติบโตของศัตรูทำลายไม้ ถึงแม้ว่าไมยางพาราเป็นไม้ที่อาบน้ำยาได้ง่าย แต่เนื่องจากวิธีการอาบน้ำยา เช่น การจุ่ม/แช่ไม้ในน้ำยา ทำให้ตัวน้ำยาเคลือบอยู่ที่ผิวไม้หรืออาจซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ปริมาณที่อยู่บนเนื้อไม้อาจไม่เพียงพอที่จะป้องกันศัตรูทำลายไม้ [3] ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการที่มีกำลังหรือเงินทุนในการสร้างเครื่องอัดน้ำยา มักเลือกใช้วิธีการอัดน้ำยาแบบใช้แรงอัดหรือแรงดัน หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “การอัดน้ำยาไม้” เป็นขั้นตอนการรักษาเนื้อไม้ วิธีการดังกล่าวมักจะใช้ร่วมกันกับยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายน้ำ เช่น สารประกอบโบรอนหรือน้ำยาโบรอน [2, 4] โดยน้ำยาจะถูกอัดภายใต้แรงดันเข้าไปในเซลล์เนื้อไม้ในถังทรงกระบอก (Cylinder) ที่มีฝาปิดเปิดได้และสามารถต้านทานต่อกำลังอัด (Pressure) ได้สูง จึงเรียกถังนี้ว่า ถังอัดน้ำยา (Impregnating cylinder) ถังอัดน้ำยาทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1.8-2.7 เมตร ยาวตั้งแต่ 4.5 เมตรขึ้นไป [5] หากคำนวณปริมาตรน้ำยาที่บรรจุเต็มความจุของถังทรงกระบอก พบว่าในแต่ละรอบของการอัดน้ำยา ผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้ปริมาตรน้ำยาสูงระหว่าง 25-38 ลูกบาศก์เมตร หรืออาจมากกว่าตามความยาวของถังที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องนำน้ำยารักษาเนื้อไม้กลับมาใช้ซ้ำ ๆ ในกระบวนการอัดน้ำยา การดำเนินการด้วยวิธีดังกล่าวจะช่วยควบคุมต้นทุนในการแปรรูปไมยางพาราที่เกิดจากการเปลี่ยนน้ำยารักษาเนื้อไม้ใหม่ และค่ากักเก็บน้ำยารักษาเนื้อไม้ที่เสื่อมสภาพ ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำยาเสื่อมสภาพก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

“น้ำยาโบรอน” หรือ “สารประกอบโบรอน” เป็นของผสมระหว่างกรดบอริก (H_3BO_3) กับบอแรกซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) ซึ่งนิยมนำมาใช้ในกระบวนการรักษาเนื้อไม้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไมยางพาราของไทยและอีกหลายประเทศในทวีปเอเชีย เนื่องจากตัวน้ำยาไม่มีสี และแพร่กระจายแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี รวมถึงมีฤทธิ์ยับยั้งศัตรูทำลายไม้ได้หลายชนิด [2, 6-9] ประกอบกับวิธีการเตรียมน้ำยาเพื่อนำไปใช้งานทำได้ไม่ยุ่งยาก [10] เพื่อเป็นการควบคุมต้นทุนการผลิตไมยางแปรรูปดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น น้ำยาโบรอนจะถูกนำมาใช้ซ้ำ ๆ พร้อมกับมีการเติมตัวยาลงในน้ำยาดังกล่าวเป็นประจำเพื่อรักษาปริมาณสารประกอบโบรอนให้เพียงพอที่จะปรากฏในเนื้อไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยา ผลจากการใช้น้ำยาโบรอนติดต่อกันหลายครั้ง จะทำให้น้ำยาโบรอนมีความข้นและสีเข้มขึ้นจนถึงสีดำคล้ำตามจำนวนรอบการนำกลับมาใช้ ความเข้มของสีเกิดจากการชะละลายของอินทรีย์วัตถุทางธรรมชาติ (Natural organic matters, NOMs) ออกมาจากเนื้อไม้ ซึ่งสารปนเปื้อนที่สำคัญได้แก่ สารอินทรีย์พวกโพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และลิกนิน [11] การนำน้ำยาโบรอนที่มีสีคล้ำดังกล่าวมาใช้ซ้ำจะส่งผลต่อคุณภาพของสีไม้ที่จะอัดน้ำยาในครั้งต่อไป ด้วยเหตุนี้การลดหรือกำจัดความข้นและสีในน้ำยาโบรอนเพื่อคืนสภาพความใสให้กับน้ำยาโบรอนจึงเป็นแนวทางหนึ่งของการนำน้ำยาโบรอนกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของไมยางพาราแปรรูปที่ผ่านการอัดน้ำยารวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการกักเก็บน้ำยาโบรอนที่เสื่อมสภาพ ตลอดจนลดปริมาณการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation-flocculation) เป็นวิธีการ

หนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดความขุ่นจากอนุภาคสารแขวนลอย [12-13] ตลอดจนสารสีในน้ำที่เกิดจากอินทรีย์วัตถุทางธรรมชาติ [11, 14-15] หรือสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช [16] วิธีการดังกล่าวเริ่มจากการเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอน หรือที่เรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เพื่อทำให้อนุภาคสารแขวนลอยรวมทั้งสารสีที่ไม่เสถียรเริ่มรวมตัวกัน โดยอาศัยการปั่นกวอย่างรวดเร็ว (Rapid mixing) จากนั้นอนุภาคที่ไม่เสถียรนี้สามารถเคลื่อนมาสัมผัสกันแล้วเกิดการเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ หรือที่เรียกว่า ฟล็อก (Floc) ด้วยวิธีการปั่นกวอย่างช้า (Slow mixing) เรียกกระบวนการนี้ว่าการสร้างตะกอนหรือฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) งานวิจัยที่ผ่านมาของจรรยาและคณะ [11] ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PAC) เข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารช่วยสร้างตะกอนจำพวกพอลิเมอร์แบบแอนไอออน (Anionic polymer) และพอลิเมอร์แบบแคทไอออน (Cationic polymer) ในปริมาณ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีในน้ำยาโบรอนที่มีพีเอชเท่ากับ 8 ได้เป็นอย่างดี โดยกระบวนการดังกล่าวสามารถกำจัดสีของน้ำยาโบรอนได้สูงถึง 96 % งานวิจัยของปวีณาและคณะ [17] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สารส้ม (Alum) ในการลดสีของน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา พบว่าสารส้มสามารถกำจัดสีของน้ำยาโบรอน ซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 ได้ถึง 95 % เมื่อใช้ในปริมาณ 3.5 กรัมต่อลิตร ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ PAC มีราคาต่อหน่วยน้ำหนักสูงกว่าเมื่อเทียบกับ Alum และ $FeCl_3$ ซึ่งเป็นโคแอกกูแลนต์อีกชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสียด้วยเช่นกัน ประกอบกับยังไม่พบการศึกษาใด ๆ ที่ทำการศึกษาค้นคว้าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ

โคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดนี้ในการบำบัดน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำ ๆ ของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูปงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในกระบวนการอัดน้ำด้วยวิธีการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชัน โดยใช้โคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม (Alum) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PAC) และเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride, $FeCl_3$) ซึ่งจะทำให้ได้แนวทางในการคืนสภาพน้ำยาโบรอนเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสีกับเนื้อไม้ยางพาราแปรรูปที่ผ่านการอัดน้ำยา

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 น้ำยาโบรอนและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

น้ำยาโบรอนที่ใช้ในการศึกษาได้รับมาจากโรงงานไม้ยางพาราแปรรูปแห่งหนึ่งของอำเภอแกลง จังหวัดระยอง เป็นตัวอย่างน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการรักษาเนื้อไม้ด้วยวิธีใช้แรงอัดแบบเต็มเซลล์ (Full cell process) โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย Alum $FeCl_3$ และ PAC ซึ่งสารเคมีทั้งสามชนิดเป็นสารเคมีเกรดทางการค้าจำหน่ายโดยบริษัทเอเพกซ์ เคมีคัล จำกัด

2.2 การบำบัดน้ำยาโบรอนด้วยวิธีการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี

การลดความขุ่นและสารสีของน้ำยาโบรอนด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน หรือที่เรียกว่า โคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน (Coagulation-Flocculation) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องจาร์เทสต์ (Jar test) รุ่น JLT6 บริษัท VELP ประเทศอิตาลี ปัจจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ชนิดของโคแอกกูแลนต์ ปริมาณของโคแอกกูแลนต์ และ

ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษ โดยใช้ตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ที่มีพีเอชเริ่มต้นตามที่จะศึกษา มาปั่นจนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติม โคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดในปริมาณที่ต่างกัน ตามที่กำหนดเดินใบพัดเพื่อปั่นจนเร็วที่ความเร็ว รอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และกวนช้า ที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ถ้าย ตัวอย่างทั้งหมดลงในกรวยอิมมอฟ ขนาด 1000 มิลลิลิตร เพื่อวางให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เพื่อนำ ส่วนใสมาวัดความขุ่นและสี เพื่อประเมิน ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสีของ กระบวนการ พร้อมกับวัดปริมาณกรดบอริก เพื่อ ประเมินความสามารถของกระบวนการในการคืน สภาพของน้ำยาโบรอน

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยาโบรอน

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำยา โบรอนทั้งก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดที่ทำการ วิเคราะห์ ได้แก่ พีเอชด้วยเครื่องมือวัดค่าพีเอช (pH meter, Metrohm 827) ความขุ่นด้วยเครื่องมือวัด ความขุ่น (Turbidity meter, HACH 2100A) ค่าสีใน หน่วย ADMI ด้วยวิธี 2120E-ADMI Tristimulus filter method [18] ปริมาณกรดบอริกด้วยวิธีการไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ [19]

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น และปริมาณกรดบอริกที่ได้จากการวัดตัวอย่างใน แต่ละระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษ มาคำนวณ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลที่วัดได้ในแต่ละ ระดับของปัจจัยที่ศึกษา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วย

สถิติการผันแปรทางเดียว (One way analysis of variance: ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 17.0 กรณีที่ผลทดสอบทางสถิติพบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % จะใช้การเปรียบเทียบความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple comparison test) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะและสมบัติของน้ำยาโบรอน

ลักษณะของน้ำยาโบรอนที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังภาพที่ 1 ผลจากการใช้งานซ้ำหลายรอบใน การอัดน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ ทำให้น้ำยาโบรอนมีสี น้ำตาลเข้มจนถึงเกือบดำ สีที่เข้มขึ้นของน้ำยาโบรอน สันนิษฐานว่าเกิดจากการละลายของสารสีจำพวก โพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และลิกนิน ซึ่งจะละลาย ออกมาจากเซลล์ของเนื้อไม้ระหว่างการอัดน้ำยาแบบ ใช้แรงดัน [11] ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำยา โบรอน พบว่าตัวอย่างที่ได้รับมาจากโรงงานแปรรูปไม้ ยางพารามีค่าพีเอชเป็นด่าง (8.14 ± 0.01) ความขุ่น มีค่าเท่ากับ 70.5 ± 0.26 NTU สีของตัวอย่างมีค่า เท่ากับ 813 ± 11 ADMI และมีปริมาณกรดบอริก เท่ากับ 9.78 ± 0.16 กรัมต่อลิตร

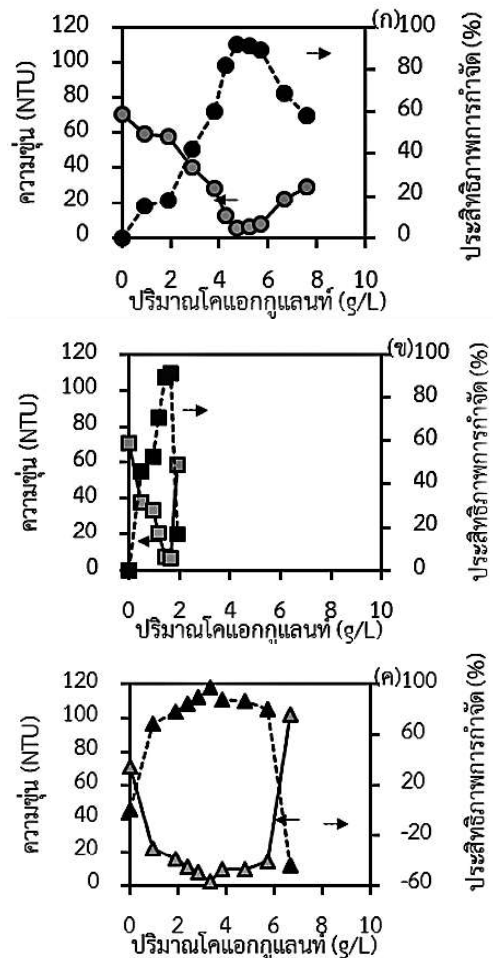


ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำยาโบรอน ที่ใช้ในการศึกษา

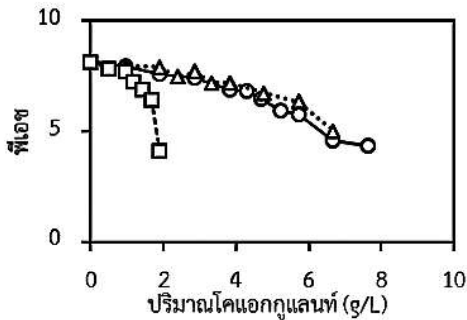
3.2 ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นและการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัด

เมื่อนำตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกกูเลชัน โดยแปรผันปริมาณของโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ Alum FeCl_3 และ PAC พบว่าความสามารถในการกำจัดความขุ่นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการสร้างตะกอนดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นของโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือความขุ่นของน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของโคแอกกูแลนต์จนถึงระดับหนึ่ง และเมื่อเพิ่มปริมาณโคแอกกูแลนต์จากจุดดังกล่าว ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้ Alum ปริมาณ 1.0 กรัมต่อลิตร ทำให้ความขุ่นของน้ำยาโบรอนลดลงจาก 70.5 NTU (ก่อนบำบัด) เหลือ 59.7 NTU การเพิ่มปริมาณ Alum จาก 1.0 ถึง 4.7 กรัมต่อลิตร ทำให้ความขุ่นของน้ำยาโบรอนลดลงจาก 59.7 เป็น 5.47 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 92.2 % (ภาพที่ 2ก) และเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum เป็น 5.2 ถึง 7.6 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ Alum มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ความสามารถในการกำจัดความขุ่นที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณ Alum มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) ที่มีมากขึ้นในระบบ ซึ่งไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมนี้สามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคสารแขวนลอยที่มีประจุตรงข้าม ส่งผลให้เกิดการกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น

นอกจากนี้การเติม Alum นี้ยังทำให้พีเอชของน้ำมีค่าลดลง โดยพีเอชของน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงจาก 8.1 (ก่อนบำบัด) เหลือ 6.5 เมื่อใช้ปริมาณ Alum ที่ 4.7 กรัมต่อลิตร และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้ Alum ในปริมาณมากขึ้น (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 ความสามารถในการกำจัดความขุ่นของน้ำยาโบรอนเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อ (ก) Alum (ข) FeCl_3 และ (ค) PAC



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคแอกกูแลนต์กับฟิเอซของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัด เมื่อ $\circ$ คือ Alum, $\square$ คือ FeCl_3 , $\triangle$ คือ PAC

การเปลี่ยนแปลงฟิเอซของสารละลายมีผลต่อปริมาณสารคอมเพล็กซ์ระหว่างอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) กับไฮดรอกไซด์ (OH^-) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งจะพบเกิดขึ้นเป็นหลักเมื่อฟิเอซของน้ำมีค่าในช่วงระหว่าง 6-7 และจะมีปริมาณสูงสุดเมื่อฟิเอซมีค่าเท่ากับ 6.5 [20-21] ด้วยเหตุนี้การเติม Alum ในปริมาณมากขึ้นจะทำให้เกิดผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสให้สารแขวนลอยรวมทั้งสารสีเกาะเกิดเป็นตะกอนแยกออกจากน้ำได้ในปริมาณมากขึ้น [22-23] เส้นกราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดจึงมีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 2ก) สำหรับการลดลงของร้อยละการกำจัดความขุ่นเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum เป็น 5.2 กรัมต่อลิตรเป็นต้นไปนั้น สะท้อนถึงผลของการเติม Alum ในปริมาณมากเกินไป (ภาพที่ 2ก) การเติม Alum ในช่วงดังกล่าวไม่เพียงลดความสามารถในการกำจัดความขุ่น ยังทำให้ฟิเอซของน้ำตัวอย่างมีค่าเป็นกรดมากขึ้น (ภาพที่ 3) ซึ่งจะก่อให้เกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกของ Al^{3+} กับ OH^- เช่น $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})^{+}_2$ ไปล้อมรอบที่ผิวอนุภาคของสารแขวนลอยในจำนวนมากขึ้น จนทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคสารแขวนลอยแทนที่

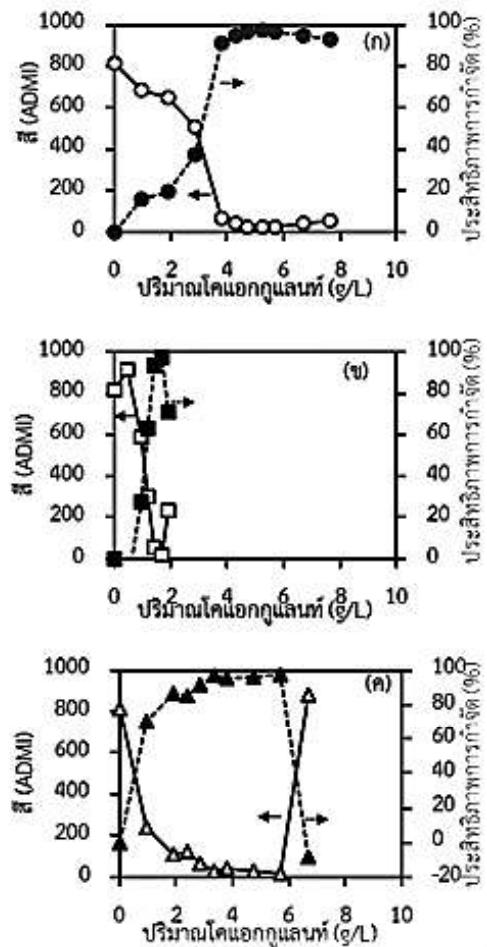
การจับตัวกัน ส่งผลให้อนุภาคสารแขวนลอยในน้ำกลับมาอยู่ในสภาวะเสถียร (Restabilization) [12-13] สำหรับความสามารถในการกำจัดความขุ่นของ FeCl_3 พบว่ามีรูปแบบของผลการทดลองคล้ายกับการใช้ Alum ต่างกันที่ FeCl_3 สามารถกำจัดความขุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า (ภาพที่ 2ข) ดังจะเห็นได้จากปริมาณ FeCl_3 ที่ 1.7 กรัมต่อลิตร ทำให้น้ำยาโบรอนมีความขุ่นเท่ากับ 6.37 NTU คิดเป็นร้อยละของการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 91 % ซึ่งถือว่าใช้ปริมาณน้อยกว่า Alum 2-3 เท่า แต่ได้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะความขุ่นของน้ำยาโบรอนเกิดจากสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ถูกชะจากเนื้อไม้ยางพาราในระหว่างกระบวนการอัดน้ำยาโดยใช้แรงดัน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Mesdaghinia et al. [24] ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ Alum กับ FeCl_3 ในการกำจัด NOMs ด้วยการทดสอบจาร์เทสต์ และพบว่า FeCl_3 มีประสิทธิภาพในการกำจัด NOMs ได้ดีกว่า Alum ซึ่งอาจเกี่ยวเนื่องกับการที่ FeCl_3 มีจำนวนประจุบวกแอคทีฟ (Active positive charges) มากกว่า Alum เมื่อเทียบต่อหน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน ทำให้ FeCl_3 มีอำนาจหรือความสามารถในการเพิ่ม/ให้ประจุบวกกับอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำได้ดีกว่า ส่งผลให้เกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ได้มากกว่า Alum [24]

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ PAC ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นของน้ำยาโบรอน พบว่ามีแนวโน้มในทำนองเดียวกับการใช้ Alum และ FeCl_3 ยกเว้น PAC สามารถการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่า ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้ PAC ที่ 3.3 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นของน้ำยาโบรอนลงเหลือ 2.2 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้

สูงถึง 96.9 % (ภาพที่ 2ค) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ PAC จัดเป็นพอลิเมอร์อนินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (มวลโมเลกุลเท่ากับ 440,000 ดาลตัน [16] เมื่อใส่ลงในน้ำยาโบรอนซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลาย จะให้ละอุนิยมไอออนเป็นจำนวนมากเกาะกับอนุภาคสารแขวนลอย ซึ่งจะสามารถรวมตัวกับอนุภาคสารแขวนลอยได้ดีและเกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็ว ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ดีกว่าของ PAC เมื่อเทียบกับ Alum และ FeCl_3 ได้ถูกรายงานไว้เช่นกันในงานวิจัยของ Aktas et al. [16] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดนี้ในการกำจัดฟิโคไฟโตแพลงก์ตอน (Picophytoplankton) ที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ

3.3 ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อความสามารถในการกำจัดสี

เมื่อนำตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน โดยแปรผันปริมาณของโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ Alum FeCl_3 และ PAC พบว่าเส้นกราฟการกำจัดสีมีรูปแบบของผลการทดลองคล้ายกับลักษณะที่พบในเส้นกราฟการกำจัดความขุ่น กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณโคแอกกูแลนต์ ทำให้ความสามารถในการกำจัดสีของโคแอกกูแลนต์มีค่าเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมโคแอกกูแลนต์ในปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ Alum มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ปริมาณ Alum ระหว่าง 4.7-5.7 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะดังกล่าว Alum มีความสามารถในการกำจัดสีอยู่ระหว่าง 96.7-97.4 % (ภาพที่ 4ก)



ภาพที่ 4 ความสามารถในการกำจัดสีของน้ำยาโบรอนเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อ (ก) Alum (ข) FeCl_3 และ (ค) PAC

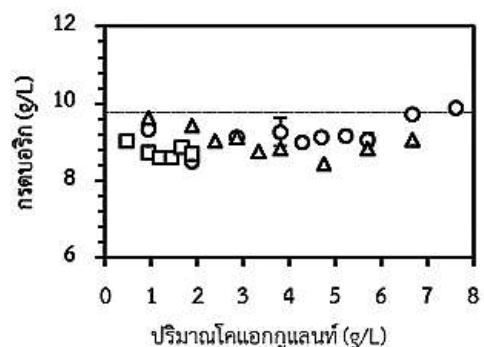
ส่วนความสามารถในการกำจัดสีของ PAC จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 96.2-97.7 % เมื่อใช้ PAC ในปริมาณระหว่าง 3.3-5.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ค) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ FeCl_3 เกิดขึ้นได้ดีสุดที่ 97.6 % เมื่อใช้ FeCl_3 ปริมาณ 1.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ข) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีของโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด พบว่า

FeCl_3 ซึ่งใช้ปริมาณน้อยกว่าสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อควรระวังในเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโคแอกกูแลนต์ เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดสีของ FeCl_3 มีความอ่อนไหวอย่างมากต่อปริมาณของ FeCl_3 ที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบ ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มปริมาณ FeCl_3 จาก 1.7 เป็น 1.9 g/L ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมีค่าลดลงจาก 97.6 เป็น 71.3 % การใช้ Alum และ PAC เป็นโคแอกกูแลนต์ จึงมีข้อได้เปรียบกว่า ในเรื่องข้อควรระวังเกี่ยวกับปริมาณของโคแอกกูแลนต์ เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดสีของ Alum และ PAC มีความอ่อนไหวน้อยกว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโคแอกกูแลนต์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีตั้งแต่ 90 % ขึ้นไป จึงพบได้ในช่วงปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่กว้างกว่าเมื่อเทียบกับ FeCl_3 โดยในกรณีของ Alum จะพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีตั้งแต่ 90 % เมื่อใช้ในปริมาณระหว่าง 3.8-7.2 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ก) เช่นเดียวกับ PAC ที่พบว่าให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีตั้งแต่ 90 % ขึ้นไป เมื่อใช้ในปริมาณ PAC ระหว่าง 2.9-5.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ค) สีของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดในช่วงปริมาณดังกล่าวมีค่าระหว่าง 18.2-69.9 ADMI ในขณะที่ปริมาณการใช้ FeCl_3 เพื่อกำจัดสีให้ได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ Alum หรือ PAC นั้นจะมีช่วงที่แคบกว่า คือ 1.4-1.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ข)

3.4 ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน

ปริมาณกรดบอริกมีความจำเป็นต่อการรักษาเนื้อไม้ ด้วยเหตุนี้ระดับความเข้มข้นของกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดจึงเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่ยกถึงความสามารถของโคแอกกูแลนต์ในการคืนระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้นการเติม Alum ใน

ปริมาณ 6.7 กรัมต่อลิตรและ 7.6 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามผลการศึกษามิพบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคแอกกูแลนต์กับปริมาณกรดบอริกที่เปลี่ยนแปลงไป สะท้อนให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณโคแอกกูแลนต์ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน จากผลการศึกษาข้างต้นร่วมกับผลการศึกษาในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 จึงเลือกปริมาณ Alum, PAC และ FeCl_3 ที่ 4.7 , 3.3 และ 1.7 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพื่อใช้ในการศึกษาผลของพีเอชต่อไป

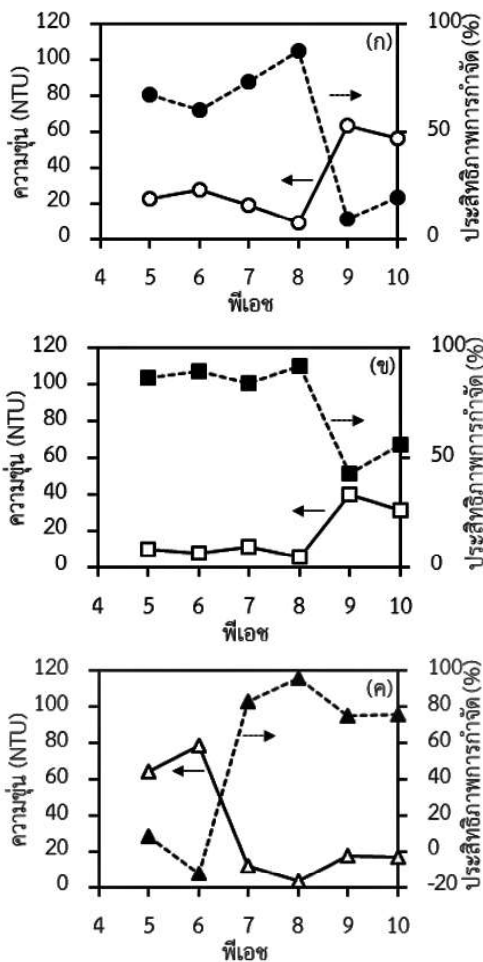


ภาพที่ 5 ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ในปริมาณต่างกันเมื่อเส้นประ (-----) แสดงปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนก่อนการบำบัด, ○ คือ Alum, □ คือ FeCl_3 , และ △ คือ PAC

3.5 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่น

เมื่อนำตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งปรับพีเอชเริ่มต้นให้เป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 มาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนโดยใช้ปริมาณ Alum FeCl_3 และ PAC ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 3.4 พบว่าการเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนจาก 5 เป็น 8 ทำให้ประสิทธิภาพ

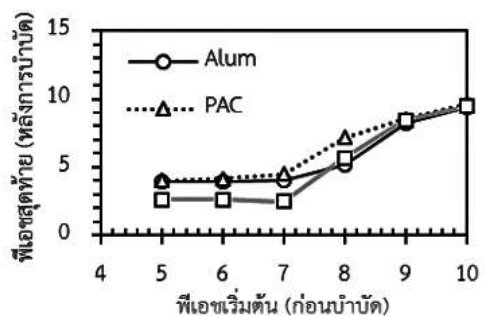
การกำจัดความขุ่นโดยใช้ Alum และ PAC มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยน้ำยาโบรอนมีความขุ่นต่ำสุดเท่ากับ 8.9 และ 3.3 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 87.4 และ 95.6 %ตามลำดับ (ภาพที่ 6 และ 6ค)



ภาพที่ 6 ความสามารถของ (ก) Alum (ข) FeCl₃ และ (ค) PAC ในการกำจัดความขุ่นของน้ำยาโบรอนที่พีเอชต่างกัน

เมื่อเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเป็น 9.0 และ 10.0 ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่า

ลดลง โดยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ Alum และ PAC เกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่าเท่ากับ 8.0 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติม Alum และ PAC ทำให้พีเอชของน้ำยาโบรอนลดต่ำลงไปถึงสภาวะที่เอื้อต่อการเกิดตะกอนเบาของ $Al(OH)_3$ ซึ่งตะกอนดังกล่าวเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าระหว่าง 6-7 [20-21] ผลที่ตามมาคือระบบจะมี $Al(OH)_3(s)$ ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสในการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอย รวมทั้งสารสีในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น สอดรับกับผลการวิเคราะห์พีเอชหลังการบำบัดในการศึกษาครั้งนี้ ที่พบว่า การเติม Alum และ PAC ลงในน้ำยาโบรอนที่มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 จะทำให้พีเอชของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดมีค่าลดลงเป็น 5.2 และ 7.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 7)



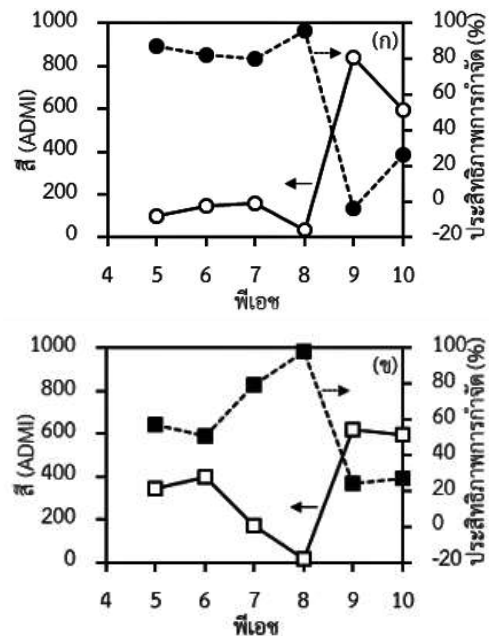
ภาพที่ 7 พีเอชของน้ำยาโบรอนหลังจากการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ที่พีเอชเริ่มต้นต่างกัน

การลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่ามากกว่า 8.0 อาจเกิดจากการเปลี่ยนรูปของสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารคอมเพล็กซ์ระหว่าง Al^{3+} กับ OH^- จากรูปฟอร์มตะกอนเบาของ $Al(OH)_3$

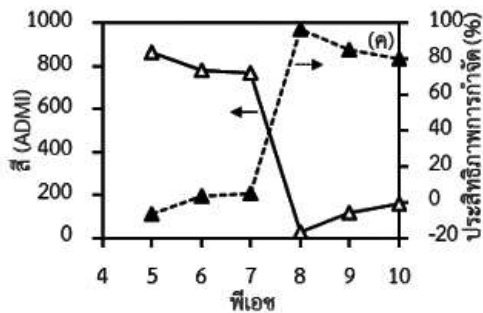
เป็นสารคอมเพล็กซ์ประจุลบที่สำคัญคือ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ [25] ซึ่งอาจเป็นประจุเดียวกันกับอนุภาคของสารแขวนลอยในน้ำ อย่างเช่นคอลลอยด์ รวมไปถึงสารสีในน้ำยาโบรอน อย่างเช่น NOMs ซึ่งอาจมีประจุที่เป็นลบ ดังระบุไว้ในงานวิจัยของ Saeid et al. [14] ส่งผลให้ Alum และ PAC มีความสามารถในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจึงลดลงตามไปด้วย ในกรณีของ FeCl_3 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงพีเอชเริ่มต้นระหว่าง 5 ถึง 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน แต่ไม่ชัดเจนดังในกรณีของ Alum และ PAC ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของ FeCl_3 ที่พีเอชเริ่มต้นระหว่าง มีค่าระหว่าง 7-5 % 89.5-84.3 การกำจัดความขุ่นของ FeCl_3 เกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่าเท่ากับ คิดเป็น 8 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้เท่ากับ 92.1 % โดยการเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเป็น 10 และ 9 ทำให้น้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดมีความขุ่นเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้อาจเกี่ยวข้องกับ การละลายน้ำและการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ FeCl_3 ในช่วงพีเอชน้อยกว่า ซึ่งจะได้เฟอร์ริกไอออน 8 (Fe^{3+}) และสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ที่ทำหน้าที่สะเทินประจุลบของสารแขวนลอยหรือสารสีที่มีในน้ำ รวมถึงการเกิดตะกอนของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ที่ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคสารแขวนลอยหรือสารสีมาเกาะยึดและเกิดการตกตะกอนแยกออกจากน้ำ [14, 26] การเพิ่มพีเอชเป็น 9 และ 10 ทำให้เกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบได้แก่ $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ [26] ส่งผลให้ความสามารถในการสร้างและรวมตะกอนของ FeCl_3 นั้นลดลงเช่นเดียวกับที่ปรากฏใน Alum และ PAC

3.6 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดสี

ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนต่อความสามารถในการกำจัดสีของ Alum FeCl_3 และ PAC ให้ผลการทดลองในรูปแบบที่คล้ายกับลักษณะการกำจัดความขุ่น กล่าวคือความสามารถในการกำจัดสารสีในน้ำยาโบรอนโดยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด เกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อน้ำยาโบรอนมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 96.1, 96.7 และ 97.8 % เมื่อใช้ Alum PAC และ FeCl_3 ที่ 4.7, 3.3 และ 1.7 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 8ก-8ค) นอกจากนี้พบว่า น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส (ภาพที่ 9) ทั้งนี้สีที่เกิดขึ้นในน้ำยาโบรอนที่ถูกนำไปใช้ซ้ำในกระบวนการอัดน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ เกิดมาจากการละลายของสารประกอบอินทรีย์ทางธรรมชาติจำพวกโพลีฟีนอลแทนนิน เพคติน และลิกนิน ออกมาจากเนื้อไม้ [11]



ภาพที่ 8 ความสามารถของ (ก) Alum (ข) FeCl_3 และ (ค) PAC ในการกำจัดสีของน้ำยาโบรอนที่พีเอชต่างกัน



ภาพที่ 8 (ต่อ) ความสามารถของ (ก) Alum (ข) FeCl₃ และ (ค) PAC ในการกำจัดสีของน้ำยาโบรอนที่พีเอชต่างกัน



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

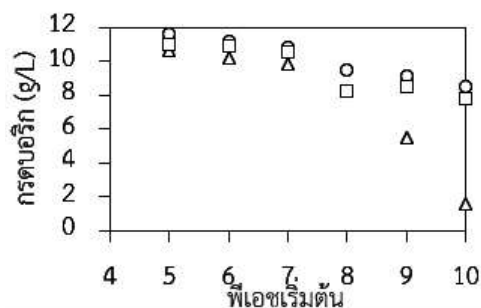
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบลักษณะน้ำยาโบรอน เมื่อ (ก) ตัวอย่างที่ได้รับจากโรงงานเทียบกับตัวอย่างหลังบำบัดที่พีเอชเริ่มต้น 8 โดยใช้โคแอกกูแลนต์ (ข) Alum 4.7 กรัมต่อลิตร (ค) FeCl₃ 1.7 กรัมต่อลิตร และ (ง) PAC 3.3 กรัมต่อลิตร

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า กระบวนการโคแอกกูแลชันและฟล็อกคูเลชันด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดสามารถกำจัดสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยาโบรอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนได้สารละลายใส

ที่สามารถหมุนเวียนนำกลับไปใช้ใหม่ในถังพักน้ำยาของกระบวนการอัดน้ำยาโดยใช้แรงดันได้

3.7 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน ภายหลังจากการบำบัดโดยใช้ Alum 4.7 กรัมต่อลิตร FeCl₃ 1.7 กรัมต่อลิตร และ PAC 3.3 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชเริ่มต้นต่างกัน พบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชที่ใช้ในการบำบัดมีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนหลังการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนที่แตกต่างกัน O คือ Alum, □ คือ FeCl₃, และ Δ คือ PAC

แสดงให้เห็นว่าโคแอกกูแลนต์ที่ใช้มีความสามารถในการกำจัดโบรอนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karaka et al [27] ที่แสดงให้เห็นว่า PAC สามารถกำจัดโบรอนในน้ำตัวอย่างที่มีพีเอชระหว่าง 7-9 ได้ เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ผลการเปรียบเทียบปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน ซึ่งบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 โดยใช้โคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดในปริมาณตามที่ระบุข้างต้น กับปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ได้รับจากทางโรงงาน ซึ่งมี

เพื่อชดเชยตามสภาพที่ได้รับเป็น 8.14 พบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณกรดบอริกที่มีในน้ำยาโบรอนก่อนการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สะท้อนให้เห็นว่าการตรวจสอบปริมาณกรดบอริกในน้ำยาที่ผ่านการบำบัดก่อนหมุนเวียนนำกลับไปใช้ในกระบวนการอัดน้ำยาเป็นขั้นตอนที่ควรปฏิบัติ การดำเนินงานดังกล่าวไม่จัดเป็นการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการทำงานให้กับผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากปริมาณกรดบอริกในน้ำยารักษาเนื้อไม้มีค่าลดลงอยู่แล้วหลังจากกระบวนการอัดน้ำยา เป็นผลมาจากน้ำยาโบรอนที่ถูกแรงดันผลักเข้าไปในเซลล์ของเนื้อไม้ ประกอบกับการสอบถามข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานของโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราแห่งนี้พบว่าจะมีการเติมของผสมระหว่างกรดบอริกและสารบอแรกซ์อยู่เป็นประจำเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนให้คงที่ ด้วยเหตุนี้การเติมสารประกอบโบรอนในน้ำยาที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน จึงไม่ถือว่าเป็นการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการปฏิบัติงานของกระบวนการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราแต่อย่างใด

4. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารสร้างตะกอนหรือโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ Alum FeCl_3 และ PAC สามารถลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้งานซ้ำ ๆ ในกระบวนการอัดน้ำยาด้วยแรงดันของอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส จนสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้เตรียมเป็นน้ำยาโบรอนที่มี

ปริมาณกรดบอริกและบอแรกซ์ตามต้องการได้ใหม่โดยไม่ต้องทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ผลจากการดำเนินงานวิจัยนี้ ไม่เพียงได้วิธีการลดสีและความขุ่นเพื่อคืนสภาพให้กับน้ำยาโบรอน ยังได้แนวทางในการลดปริมาณการระบายทิ้งของน้ำยาโบรอนเสื่อมสภาพสู่สิ่งแวดล้อมและแนวทางในลดค่าใช้จ่ายในการกักเก็บหรือบำบัดน้ำยาโบรอนที่เสื่อมสภาพให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับเงินสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณอุดหนุนการทำโครงการงานพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบพระคุณบริษัทรีแล็กซ์ อินดัสตรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาโบรอน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนาสุส บุญทอง, นิลวรรณ พู่เฟื่องสิน. เจาะลึกอุตสาหกรรมไม้ยางแปรรูป: ภายนอกที่สดใส ความท้าทายซ่อนอยู่. กรุงเทพธุรกิจ [อินเทอร์เน็ต]. 27 มี.ค. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ย. 2561]; คอลัมน์นิสต์: แจงสี่เบี้ย. จาก: <http://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/644254>.
- [2] ชีระ วิณิน. การคำนวณปริมาณรับน้ำยาในการอัดน้ำยาไม้ยางพารา. ใน: พสุธา สุนทรห้าว, บรรณาธิการ. 8 ทศวรรษ วนศาสตร์ศาสตร์แห่งชีวิต [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559 [เข้าถึงเมื่อ 17 พ.ย. 2561]. น. 52-3. จ า ก : <https://kukr.lib.ku.ac.th/db/index>.

- php?/BKN_FOR/search_detail/result/352428
- [3] ชีระ วิณิน. การอาบน้ำยาไม้ยางพาราตามกรรมวิธีจุ่มแล้วหมักด้วยสารประกอบโบรอนเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของมอด. วารสารวนศาสตร์. 2535; 11:60-5.
- [4] น้ำยารักษาเนื้อไม้. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. [อินเทอร์เน็ต]. 2530 [เข้าถึงเมื่อ พ.ย. 2561]; 114:13-7. จาก : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2530_114_p1317.pdf
- [5] บริษัท เฟล็กซ์แพลน ดีไซน์. การอัดน้ำยาไม้บ้านเนทúra [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ; 2550. [เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ย. 2561]. จาก : <http://www.baannatura.com/th/mat/content/detail/109.html>
- [6] Freeman MH, McIntyre CR, Jackson D. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. 105th Annual Meeting of the American Wood Protection Association. [Internet]. American Wood Protection Association; 2009 April 19-21; Texas, USA. Alabama; 2009 [cited 2018 Nov 12]. p. 279-94. Available from: <http://niscorp.com/images/uploads/documents-other/AWPA-Freeman-Boron-Paper-08.pdf>
- [7] Obanda DN, Shupe TF, Barnes HM. Reducing leaching of boron-based wood preservatives- a review of research. Bioresource Technol. 2008; 99:7312-22.
- [8] Salamah S, Mohd Dahlan J. Vacuum-pressure treatment of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) using boron-based preservative. J Trop For Sci. 2008; 20:1-7.
- [9] Temiza A, Alfredsenb G, Eikenesb M, et al. Decay resistance of wood treated with boric acid and tall oil derivatives. Bioresource Technol. 2008; 99:2102-6.
- [10] Yongdong Z, Mingliang J, Ruiqing G, et al. Rubber wood processing manual: Demonstration of rubber wood processing technology and promotion of sustainable development in China and other Asian countries [Internet]. Beijing: Chinese Academy of Forestry; 2007 [cited 2018 Nov 13]. Available from: [http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2392/Technical/Rubberwood%20Processing%20Manual\(English\).pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2392/Technical/Rubberwood%20Processing%20Manual(English).pdf).
- [11] จรรยา อินทมณี, จันทิมา ชั่งสิริพร, จริญญา บุญกาญจน์. การนำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำยาโบรอนในกระบวนการอัดเนื้อไม้ยางพารา. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21; 10-11 พ.ย. 2554; หอประชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา; 2554.
- [12] Baghavan A, Zand AD, Mehrdadi N, et al. Optimizing coagulation process for low to high turbidity waters using aluminum and iron salts. American J Environ Sci. 2010; 6:442-8.

- [13] อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล, แสงนวล ศรีรัตนชัยวาลย์, และคณะ. ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของแข็งโดยใช้เครื่องลอยตะกอนชนิดอากาศละลายแบบกะ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2544; 11:40-8.
- [14] Saeid F, Bahador N, Abdalmajid F, et al. Removal of natural organic matter (NOM), turbidity and color of surface water by integration of enhanced coagulation process and direct filtration. J Adv Environ Health Res. 2017; 5:108-113.
- [15] Sillanpaa M, Matilainen A. Chapter 3- NOM Removal by Coagulation, In: Sillanpaa M, Natural organic matter in water: Characterization and treatment methods. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann; 2015. p.55-80.
- [16] Aktas TS, Takeda F, Maruo C. et al. Comparison of four kinds of coagulants for the removal of picophytoplankton. Desalination Water Treat. 2013; 51:3547-57.
- [17] ปวีณา วังซัง, ปิยดา จินศิริ, มุนาดา สลามเต๊ะ. การบำบัดน้ำยาโบรอนที่เสื่อมสภาพด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน [โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2556.
- [18] American Public Health Association, Water Environment Federation, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 2005.
- [19] พันธกานต์ ยันต์ฉิมพลี. การบำบัดสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกระบวนการโอโซนชั้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2558.
- [20] Carrier X, Marceau E, Lambert J-F, et al. Transformations of gamma-alumina in aqueous suspensions: 1. Alumina chemical weathering studied as a function of pH. J Colloid Interface Sci. 2007; 308:429-37.
- [21] Khemis M, Leclerc J-P, Tanguy G, et al. Treatment of industrial liquid wastes by electrocoagulation: Experimental investigations and an overall interpretation model. Chem Eng Sci. 2006; 61:3602-9.
- [22] สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า. วารสารเทคนิค เครื่องกลไฟฟ้า อุตสาหกรรม. 2551; 283:138-44.
- [23] วณิดา ชูอักษร. เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2555; 17:181-91.
- [24] Mesdaghinia A, Rafiee M, Vaezi F, et al. Control of disinfection by products formation potential by enhanced coagulation. Int J Environ Sci Technol. 2006; 2:335-42.

- [25] Tezcan UU, Koparal AS, Bakir Ogutveren U, Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes. J Environ Manage. 2009; 90: 428-33.
- [26] Reynolds TD. Unit operations and processes in environmental engineering. 2nd ed. Massachusetts: PWS publishers; 1982.
- [27] Karakas ZK, Yilmaz MT, Boncukcuglu R, et al. The effect of the pH of the solution in the boron removal using polyaluminium chloride (PAC) coagulant with chemical coagulation method. In: Ozdemir C, Şahinkaya S, Kalıpcı E, et al., editors. ICOEST'2013 – Cappadocia. [Digital Proceeding]. The International Conference on Environmental Science and Technology; 2013 June 18-21; Nevsehir, Turkey; 2013. p.340-6.