บทคัดย่อ

โรงงานฟอกย้อมมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตปริมาณมาก น้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมมีสีตกค้างและสารเคมีปนเปื้อน ส่งผลให้เกิดความผิดปกติต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำหรืออาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนสำหรับการทำลายโครงสร้างสีย้อมในน้ำเสีย ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนที่สังเคราะห์ได้ด้วยชุดการทดลองแบบแบทช์ระบบและออกแบบชุดทดลองด้วยระบบการไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์บรรจุ (Packed column) ที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้น้ำเสียไหลผ่าน ออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค RSM เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมถึงทดสอบระบบกับน้ำเสียจากชุมชนผู้ผลิตผ้าบาติก และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีโซลเจล ด้วยการใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารเคมี คือ แมกนีเซียมไนเตรท : ออกซาลิก : เฟอริกคลอไรด์ เป็น 1.25:1.25:3.75 เคลือบด้วยวิธีจุ่ม (Dip coating method) บนตัวกลางเซรามิก 3 ชนิด คือ เซรามิก โฟมวงกลม เซรามิกโฟมสี่เหลี่ยม และเซรามิกวงแหวน จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 600°C เพื่อให้ได้สารไอรอนยึดเกาะบนตัวกลางเซรามิกที่มีความเสถียร ผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค SEM และ EDX พบว่า มีสารเหล็กเคลือบเกาะติดแน่นที่ผิวเซรามิก จากการนำตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนมาทำการทดสอบการกำจัดสีย้อมชนิด Reactive red, Reactive blue และ Malachite green ด้วยชุดการทดลองแบบแบทช์ขนาด 2 ลิตร โดยการแช่ตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำเสียสังเคราะห์และกวนผสมด้วยแม่เหล็กกวน ทำการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ พีเอช 5-8 ความเข้มข้นสีย้อม 10-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาบนเซรามิกโฟมสี่เหลี่ยม 40.5-162 มิลลิกรัม พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถบำบัดน้ำเสียได้ด้วยประสิทธิภาพสูงสุดเป็น 95, 98 และ 99% ตามลำดับ ด้วยเวลาในการบำบัด 2 ชั่วโมงโดยมีพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 6 ซึ่งประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction time) เพิ่มขึ้น การเติมอากาศและการเติมไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของชุดการทดลอง ซึ่งพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้สามารถฟื้นฟูสภาพได้ด้วยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำและระบบสามารถลดค่า COD ในน้ำเสียลงได้

การศึกษาการกำจัดสีย้อมสำหรับการนำตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนไปประยุกต์สู่การดำเนินการจริงในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ดำเนินการด้วยระบบแบบไหลต่อเนื่องในคอลัมน์บรรจุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร ด้วยการออกแบบให้มีการไหลของน้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมชนิด Reactive red และ Malachite green ผ่านพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอนที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ทรงกระบอกอย่างต่อเนื่องด้วยปั๊มของเหลว ทำการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM ที่มีตัวแปร คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 432.5-1,730 มิลลิกรัม อัตราการไหลของน้ำ 10-200 มิลลิลิตรต่อนาที และความ

เข้มข้นสีย้อมชนิด Reactive red และ Malachite green เป็น 20-80 และ 4-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (y) ของค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสีย อันทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสมการ Quadratic model สำหรับการทำนายประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมที่สภาวะต่างๆ พบว่า ระบบสามารถกำจัดสีย้อมชนิด Reactive red และ Malachite green ด้วยประสิทธิภาพ 84.45 และ 93.62% และมีผลการทดสอบจากการทดลองจริง 84.85 และ 93.62% ตามลำดับ ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกันกับผลจากการทำนาย โดยมีความคาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 5 เป็นตัวบ่งบอกถึงความแม่นยำของแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาโครงสร้างของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไอรอน พบว่า โครงสร้างสีย้อมในน้ำเสียได้ถูกทำลายไปกลายเป็น CO_2 และน้ำ อันทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากการใช้งานระบบแบบไหลต่อเนื่องในคอลัมน์บรรจุโดยใช้เซรามิกวงแหวนกับน้ำเสียจริงจากชุมชนผลิตผ้าบาติกที่มีสีม่วง สีเขียว และสีฟ้า พบว่า ได้ประสิทธิภาพการกำจัด 50, 60 และ 95 % ตามลำดับ และมีต้นทุนในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียชุมชน 11.87 บาทต่อปริมาตรน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งถูกกว่าการกำจัดสีย้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตันซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการบำบัด 125.32 บาทต่อปริมาตรน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ระบบการบำบัดแบบไหลต่อเนื่องในคอลัมน์บรรจุ จึงสามารถดำเนินการได้โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำด้วยประสิทธิภาพที่สูง สามารถกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากภาคชุมชนได้จริงและมีความเป็นไปได้สูงในการใช้งานระดับอุตสาหกรรม

// ABSTRACT

Dyeing industries have used large quantities of water in the production line. Wastewaters generating from the dyeing process with chemical residues and contaminant has leaded to the failure of ecosystem, harmful to human life, and visual pollution. Then the aim of this research was to eliminate or treat the dye molecule structure in wastewater from dyeing industries by synthesize and apply iron catalyst. Batch experimental was set and used to study for the effectiveness treatment of synthetic dyes in the synthesized wastewater. Continuous experimental unit was also designed using packed column by packing with the iron catalyst for continuously flows of wastewater through the system. The design of experimental by Response Surface Methodology (RSM) was used for optimum condition study and mathematical model formation. The real wastewater contaminated with dyeing from cloth processing in community was trialed and treated and economical analysis of the treatment system was performed.

The iron catalyst was effectively synthesized by sol-gel method with the optimum mole ratio of $Mg(NO_3)_{2\ (aq)}$:$C_2H_2O_{4\ (aq)}$:$FeCl_{3\ (aq)}$ at 1.25:1.25:3.75 for iron sol preparation. Dip coating method was applied to coat the iron sol on three types of ceramic media; circled-ceramic foam, squared-ceramic foam, and ringed-ceramic. The coating ceramic was calcined in furnace at 600ºC for stability of the catalyst. Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDX) techniques were used to characterize the prepared catalyst. Iron element was found completely fixed on the ceramic surface. The effectiveness of the catalyst was tested for the dye removal performing by soaking the catalysts in 2-liter batch reactor containing the synthetic wastewater with magnetic stirrer. Parameters of the batch were considered at pH 5-8, dye concentration 10-200 mg/l and amount of squared-ceramic foam catalysts 40.5-162 milligram. The removal efficiency at 2 hours reaction time and optimum pH 6 of reactive red, reactive blue, and malachite green dye was found at 95, 98, and 99%, respectively. Performance of the treatment was increased when increase the concentration of dye, amounts of iron catalysts, and reaction time. Air and nitrogen feeding had not effected to the dye removal, therefore the catalysts can be regenerated by dissolved oxygen in the wastewater. The iron catalytic system can reduced COD from contaminated dye in wastewater.

The study of dye treatment for solving the environment problems was performed in continuous flow packed column system. The column with diameter 11 cm, height 90 cm, and packed by iron catalyst was designed for continuously flow of wastewater through the catalysts surface. 2 kinds of synthetic dye; reactive red and malachite green dye were prepared and pumped to the system. Technique of RSM were

used to design the experiment with concentration of dyes, amounts of catalysts and wastewater flow rate process parameters of amount of catalysts 432.5-1,730 milligram, flow rate 10-200 ml/min, and concentration of reactive red at 20-80 mg/l and malachite green 4-20 mg/l. Response variable (y) of this study was the percentage of dye removal efficiency. Optimum condition and mathematical quadratic model was archived to predict for efficiency of the iron catalytic system. It was found that the predicting efficiency for the reactive red and malachite green were 84.45% and 93.62%, while experimental result were 84.85% and 93.62 %, respectively. The results coincided with the prediction with $P < 5$ %, which indicate the accuracy of mathematic model.

From the study, it can be concluded that the synthetic dye structure can be treated and changed to CO_2 and water by the iron catalysts. Therefore the treated wastewater will not has any toxic to environment. In addition, the continuous flow by packed column system were also tested with real wastewater from Batik Community. The removal results from purple, green, and blue dyeing wastewater treatment were found at 50, 60, and 95 %, respectively. The cost for Batik wastewater treatment by iron catalyst was 11.87 baht per 1 m^3 wastewater, which is lower than the Fenton method (125.32 baht per 1 m^3). The treatment systems of packed column with iron catalyst can effectively run with continuous flow mode at low cost and high performance. This removal technique can possibly be performed and leaded to develop for industry level.