

DYE REMOVAL IN DYE WASTEWATER BY CARBON BLACK FROM WASTE TIRES AND RICE HUSK

Sudaporn Booranasan M.P.H. (Environmental Health)

Warangkana Sungsitthisawad

Faculty of Public Health, Khon Kaen University

Abstract

The aim of this laboratory investigation was to determine the most optimal conditions to remove dye from two types of wastewater namely direct synthetic wastewater and wastewater from silk factories. The dye concentration tested had been 0.1, 0.2, and 0.3 g/L dissolved in the wastewater together with the adsorbate in a ratio (v/v) of 5 levels being 1:8, 1:4, 3:8, 1:2 and 5:8. The Jar Test method had been applied. During the test procedures a sample of the wastewater was taken for every hour and the dye concentration in the sample was determined by using a spectrophotometer at a wavelength of 555 nm. The test procedure was interrupted after the dye concentration leveled off to a plateau indicating that an optimum of the removal of the dye had been achieved. The efficiency of dye adsorption had been measured in percent of the decrease of the dye absorption at the start of the experiment and at the optimal point of dye removal considering also the dye/adsorbents ratio used for each test run. The same procedure had been used for testing dye removal from wastewater derived from a silk factory at Tambon Banchieng Amphoe Nonnghan, Udonthani province. From the factory wastewater also the indicators COD, SS and TDS had been determined. Analysis statistic were percentage, mean, One way ANOVA and Bonferroni

The optimal condition for dye removal had been achieved with a dye concentration in wastewater of 0.1 g/L with an adsorbate ratio of 5:8 and allowing an absorption time of 13 hours by using carbon black. The dye absorption using carbon black as adsorbent was 80.66% and using rice husk was 80.15%. A dye concentration of 0.2 g/L with an adsorbate ratio of 5:8 resulted in a dye concentration reduction after a 9 hour's test run of 70.25% for carbon black and 70.56% for rice husk. The results for 0.3g/L with an adsorbate ratio of 5:8 for an 8 hour's test run had been 60.48% for carbon black and 55.25% for rice husk. The efficiency of rice husk in removing dye from the wastewater of the silk factory with an adsorbate ratio of 5:8 and a 9 hour's test run had been. The indices COD, SS and TDS from the factory wastewater proofed to be according to standards after the dye removal. The result of the experiment suggests that carbon black and rice husk are appropriate means to remove dye from wastewater originated from coloring silk under conditions tested in this experiment before discharge wastewater to environment.

Keywords : Dye removal, Carbon Black from Waste Tires, Rice Husk

การกำจัดสีย้อมผ้าจากน้ำเสียย้อมผ้า ด้วยถ่านยางรถยนต์และเกลบดำ

สุดาภรณ์ บุรณสรณ์, สม. (อนามัยสิ่งแวดล้อม)

สถานีนอนามัยบ้านด้อง จังหวัดอุดรธานี

รายงาน สังสทิธิสวส์

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำเสียย้อมผ้า ในน้ำเสีย 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียย้อมผ้า การทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เรียกค่าความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.1, 0.2 และ 0.3 กรัม/ลิตร ใช้สัดส่วนสารดูดซับ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) 5 ระดับ คือ 1:8, 1:4, 3:8, 1:2 และ 5:8 ทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) และวัดค่าการดูดกลืนแสงทุกๆ 1 ชั่วโมง ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร ยุติการทดลองเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นหลังการทดลองต่ำที่สุด หาประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปร้อยละของการลดลงของค่าการดูดกลืนแสง หลังจากนั้นนำสัดส่วนสารดูดซับ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) ที่เหมาะสมไปใช้กับน้ำเสียย้อมผ้าจากโรงย้อมผ้าใหม่แห่งหนึ่งในตำบลบ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี ทดสอบหาประสิทธิภาพการกำจัดสี พีเอช ซีไอดี สารแขวนลอย และปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติร้อยละ, ค่าเฉลี่ย, One way ANOVA และ Bonferroni

ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยถ่านยางรถยนต์ และเกลบดำในน้ำเสียสังเคราะห์ใกล้เคียงกัน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร ใช้สัดส่วนสารดูดซับ : น้ำเสียสังเคราะห์ 5:8 ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 13 ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 80.66 และ 80.15 ตามลำดับ รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0.2 กรัม/ลิตร ใช้สัดส่วนสารดูดซับ : น้ำเสียสังเคราะห์ 5:8 ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 9 ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 74.25 และ 70.56 ตามลำดับ และความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร ใช้สัดส่วนสารดูดซับ : น้ำเสียสังเคราะห์ 5:8 ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 8 ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 60.48 และ 55.25 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นหลังการบำบัดไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียย้อมผ้า ใช้สัดส่วนสารดูดซับ : น้ำเสียย้อมผ้า (v/v) 5:8 ระยะเวลาแช่สารดูดซับ 9 ชม. ที่พีเอช 8.1 พบว่า เกลบดำมีประสิทธิภาพการกำจัดสีดีกว่าถ่านยางรถยนต์ ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 34.63 ส่วนค่าซีไอดี สารแขวนลอย และปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นเกลบดำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมของสถานประกอบการที่มีปริมาณน้ำเสียไม่มาก โดยแช่เกลบดำตามระยะเวลาที่กำหนดก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : การกำจัดสีย้อมผ้า ถ่านยางรถยนต์ เกลบดำ

บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยได้รับการส่งเสริมอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จากสถิติจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มที่จดทะเบียนสะสมถึงปี 2550 มีจำนวนโรงงานสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มทั้งสิ้น 5,603 โรงงาน¹ และในภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่มีการส่งเสริมในรูปแบบโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ซึ่งจากรายงานการขึ้นทะเบียนสินค้า OTOP พบว่ามีกลุ่มอาชีพทอผ้าทั้งหมด 122 กลุ่ม² ซึ่งในกรรมวิธีการผลิตสิ่งทอ เช่น การขจัดสิ่งสกปรก การฟอกขาว และการย้อมสีที่มีการใช้น้ำ สีย้อม กรด ด่าง สารเคมี และสารตกแต่งจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมสำคัญคือ มลพิษทางน้ำ ทำให้เกิดความสกปรกออกมากับน้ำ นอกจากนี้สีย้อมที่ใช้ในปัจจุบันมีลักษณะที่ไม่ถูกย่อยสลายได้ง่าย ทำให้เกิดการตกค้าง และหากใช้สีที่มีโลหะหนักผสมอยู่ อาจหลงเหลือ ซึ่งหากมีอยู่ในน้ำทิ้งมากจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ หรือพืชน้ำและอาจเข้ามาในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรง ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีปริมาณสารอินทรีย์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สภาพด่าง (Alkalinity) อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TDS) และความเข้มข้นของสีสูง ส่วนปริมาณโลหะหนักค่อนข้างต่ำ² ดังนั้น เพื่อเป็นการรักษาสภาพแวดล้อม โรงงานต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน 2535

สีย้อมส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ อนุภาคของสีย้อมจะละลายเจือปนและแขวนลอยอยู่ในน้ำ ไม่สามารถถูกกำจัดออกไปด้วยวิธีตกตะกอนทางธรรมชาติ ซึ่งผลเสียที่เกิดจากสีย้อมนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้ว ยังลดอัตราการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศสู่ผิวน้ำ และบดบังความเข้มแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ เป็นผลให้พืชน้ำ สาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง สัตว์น้ำอาจตายได้และสัตว์น้ำและพืชน้ำอาจสะสมสารพิษได้ อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

โดยทั่วไปกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีสูง ใช้วิธีการทางกายภาพและเคมี เช่น การใช้โอโซน (Ozone Treatment) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) โดยใช้เรซิน การกรองด้วยแผ่นเยื่อ (Membrane Filtration) การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านแอนทราไซต์ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง จึงได้มีการพิจารณาหาวัสดุที่มีราคาถูก โดยเลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่น เรซินจากชานอ้อย เรซินจากผักตบชวา ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส และเลือกใช้วัสดุที่เป็นของเสียเหลือใช้ เช่น ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว จากการศึกษาดูแลเบื้องต้นในการคัดเลือกใช้สารดูดซับสีพบว่า แกลบดำมีประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 40.05 ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 31.89 ถ่านยางรถยนต์ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 24.49 และถ่านแอนทราไซต์ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 14.80 แต่เมื่อพิจารณาถึงสารดูดซับสีที่ชาวบ้านจะนำไปใช้ในทันทีได้ คือถ่านยางรถยนต์ และแกลบดำ เพราะมีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น

ถ่านยางรถยนต์ที่เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเผายางรถยนต์ที่อุณหภูมิสูง ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ โดยความร้อนจะสลายอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จนเหลืออะตอมของคาร์บอนที่มีรูปแบบและเกิดการสร้างวงแหวนอะโรมาติกเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรง โดยช่องว่างจะเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับส่วนแกลบดำเป็นวัสดุที่เหลือจากการเผาแกลบด้วยอุณหภูมิสูงจากโรงสีข้าว ซึ่งแกลบดำมีองค์ประกอบของซิลิกาและคาร์บอน ความร้อนที่ใช้เผาแกลบทำให้เกิดรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับการวิจัยครั้งนี้จึงนำถ่านยางรถยนต์และแกลบดำมาเป็นสารดูดซับเพื่อกำจัดสีในน้ำเสียจากการย้อมผ้าเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ และการเผาแกลบของโรงสีข้าว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำในการกำจัดสีในน้ำเสียย้อมผ้า
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำ ในการกำจัดสีย้อมผ้าชนิดละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำในการกำจัดสี ซีไอดี สารแขวนลอย สารละลายน้ำทั้งหมด ค่าพีเอชในน้ำเสียย้อมผ้า

คำจำกัดความ

น้ำเสียย้อมผ้า หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำความสะอาด การฟอกขาว การชุบมัน และการย้อมสีด้วยสีน้ำเงินของโรงงานผลิตผ้าไหมแห่งหนึ่งในตำบลบ้านเชียง อำเภอนองหาน จังหวัดอุดรธานี

น้ำเสียสังเคราะห์ หมายถึง น้ำประปาที่ผสมกับสีย้อมผ้าชนิดละลายน้ำ คือ สีไตรเร็กซ์ โทนสีน้ำเงิน มีสภาพพีเอชไม่ต่างกับน้ำเสียย้อมผ้า คือ 7.4-7.6

ถ่านยางรถยนต์ หมายถึง ถ่านที่เหลือจากกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ยางรถยนต์เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงของโรงงานแห่งหนึ่ง นำมาบดให้ได้ขนาด 0.1-0.5 เซนติเมตร นำไปล้างด้วยน้ำประปาจนน้ำที่ล้างมีความใส ไม่มีสีดำ

แกลบดำ หมายถึง แกลบที่เหลือจากการเผาแกลบข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ของโรงสีข้าวนำไปล้างด้วยน้ำประปาจนน้ำที่ล้างมีความใส ไม่มีสีดำ

ประสิทธิภาพการกำจัดสี หมายถึง ค่าร้อยละของการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเมื่อใช้ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งการวัดประสิทธิภาพในการวิจัยนี้วัดในรูปร้อยละ ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงก่อนการทดลอง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงหลังการทดลอง}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงก่อนการทดลอง}} \times 100$$

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบหาประสิทธิภาพของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์

1. นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสี 0.1, 0.2 และ 0.3 กรัม/ลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร
2. นำน้ำเสียสังเคราะห์จากขั้นตอนที่ 5.1 ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร
3. นำถ่านยางรถยนต์ สัดส่วนถ่านยางรถยนต์ : น้ำเสียสังเคราะห์ 5 ระดับใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสี 0.1, 0.2 และ 0.3 กรัม/ลิตร แล้วกวนเร็ว 100 รอบ/นาที่ เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ความเร็ว 30 รอบ/นาที่ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และวัดค่าการดูดกลืนแสงทุกๆ 1 ชม. ยุติการทดลองเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นสีหลังการทดลองต่ำที่สุดและหาประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปร้อยละ
4. นำแกลบดำสัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ 5 ระดับ ทดลองตามขั้นตอนที่ 1.2 และ 1.3

การหาประสิทธิภาพสารดูดซับในการกำจัดสี pH ซีไอดี สารแขวนลอย ปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดในน้ำเสียย้อมผ้า

1. นำน้ำเสียย้อมผ้า วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ใช้ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร และวัดค่า pH ก่อนการทดลอง
2. นำน้ำเสียย้อมผ้าปริมาตร 800 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร
3. นำถ่านยางรถยนต์ โดยใช้สัดส่วนปริมาตรสารดูดซับ:น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในขั้นตอนการทดลองที่ 1 ใส่ในน้ำเสียย้อมผ้า แล้วกวนเร็ว 100 รอบ/นาที่ เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ความเร็ว 30 รอบ/นาที่ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และวัดค่าการดูดกลืนแสงทุกๆ 1 ชม. ยุติการทดลองเมื่อน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสีหลังการทดลองต่ำที่สุด แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงพร้อมทั้งหาประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปร้อยละ และวัดค่า pH หลังการทดลองนำแกลบดำมาทดลองตามขั้นตอนที่ 2 และ 3

ผลการวิจัย

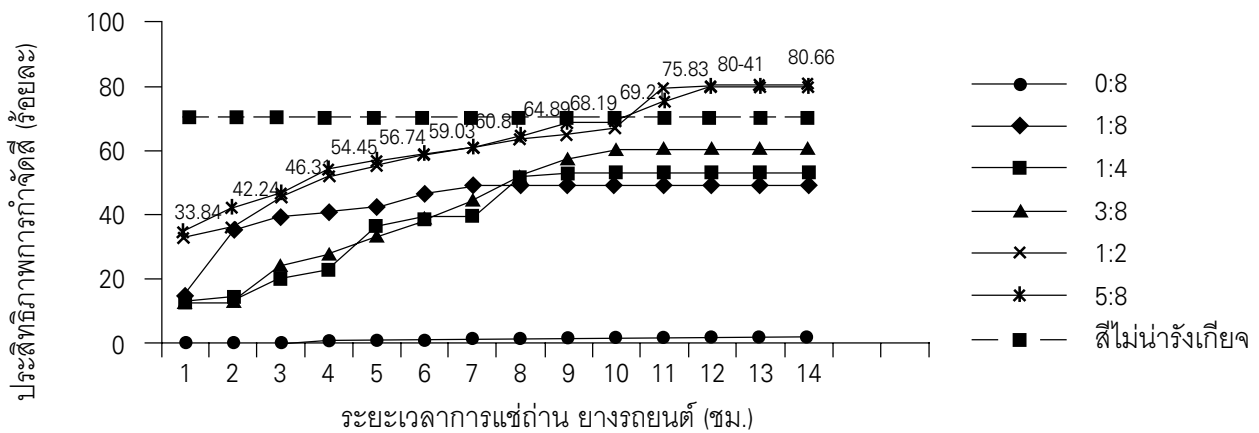
ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำ

ประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านยางรถยนต์ความเข้มข้นระดับต่างๆ

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสี 0.1 กรัม/ลิตร เมื่อใช้สัดส่วนถ่านยางรถยนต์ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) พบว่า 5 : 8 ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 13 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด ร้อยละ 80.66 ความเข้มข้นที่เหลือ

0.0187 กรัม/ลิตร รองลงมาคือ 5 : 8 ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 12 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 80.41 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0190 กรัม/ลิตร และ 1 : 8 ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 1 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด ร้อยละ 14.76 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0825 กรัม/ลิตร ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ยังมีความเข้มข้นสีเป็นที่น่าสนใจ และประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 70 ขึ้นไป คือ จุดที่ทำให้ น้ำเสียสังเคราะห์มีสีไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังภาพที่ 1

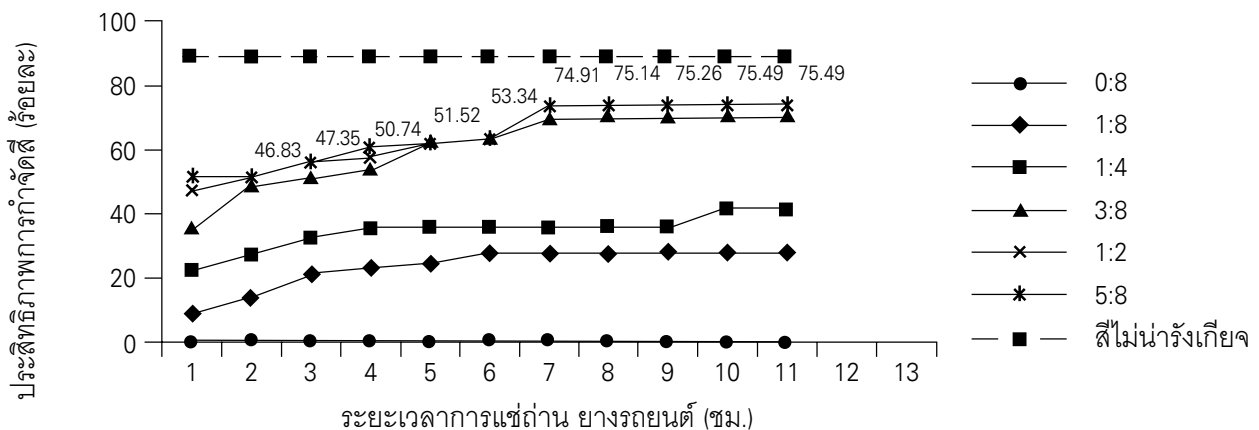
ภาพที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านยางรถยนต์ความเข้มข้นสี 0.1 กรัม/ลิตร



น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสี 0.2 กรัม/ลิตร เมื่อใช้สัดส่วนถ่านยางรถยนต์ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) พบว่า 5 : 8 ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 10 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด ร้อยละ 76.06 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0515 กรัม/ลิตร รองลงมาคือ 1 : 2 ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 10 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสี

ร้อยละ 75.49 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0532 กรัม/ลิตร และ 1 : 8 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด ร้อยละ 8.82 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.1961 กรัม/ลิตร ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ยังมีความเข้มข้นสีเป็นที่น่าสนใจและประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 90 ขึ้นไป คือจุดที่ทำให้ น้ำเสียสังเคราะห์มีสีไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังภาพที่ 2

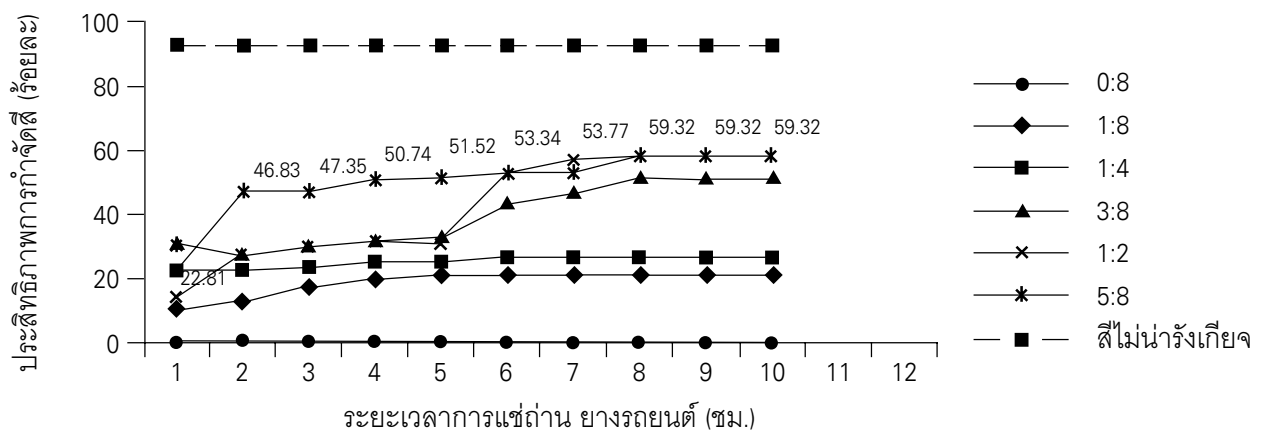
ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านยางรถยนต์ความเข้มข้นสี 0.2 กรัม/ลิตร



น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร เมื่อใช้ สัดส่วนถ่านยางรถยนต์ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) พบว่า 5 : 8 ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 8 ชม. มีประสิทธิภาพ การกำจัดสีสูงสุด ร้อยละ 59.32 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.1156 กรัม/ลิตร รองลงมา คือ 1 : 2 ระยะเวลาการแช่ถ่าน ยางรถยนต์ 8 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 58.72 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.1175 กรัม/ลิตร และ 1 : 8

ระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ 1 ชม. มีประสิทธิภาพ การกำจัดสีต่ำที่สุด ร้อยละ 10.23 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.2550 กรัม/ลิตร ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ยังมีความเข้มข้นที่ เป็นน่ารังเกียจ และประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 93 ขึ้นไป คือจุดที่ทำให้น้ำเสียสังเคราะห์มีสีไม่น่ารังเกียจ ซึ่งแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดสีจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาตรสารดูดซับ ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านยางรถยนต์ความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร



ประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านยางรถยนต์ ใน น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆ และระยะเวลา แช่ต่างกัน เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยสถิติ ANOVA พบว่า มีอย่างน้อยหนึ่งคู่ความเข้มข้น ที่ระยะเวลาแช่ต่างกัน มีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001) และการทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่ ด้วย Bonferroni พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะ ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 1 ชม. กับ 8 - 13 ชม. แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -71.12 to -8.45) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 2 ชม. กับ 10 - 13 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.006, 95% confidence interval -67.78 to -5.11)

น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 0.2 กรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาแช่ระหว่าง 1 ชม. กับ 6 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.008, 95% confidence interval -47.92 to -3.53) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 2 ชม. กับ 8 และ 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.045, 95% confidence interval -44.60 to -0.21)

น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาการแช่ ระหว่าง 1 ชม. กับ 6 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -43.46 to -13.46) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 2 ชม. กับ 6 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -36.16 to -6.16) ระยะ ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 3 ชม. กับ 7 - 10 ชม. แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.002, 95% confidence interval -33.74 to -3.75) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 4 ชม. กับ 8 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.014, 95% confidence interval -31.62 to -1.62) และระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 5 ชม. กับ 9 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.027, 95% confidence interval -30.83 to -0.84)

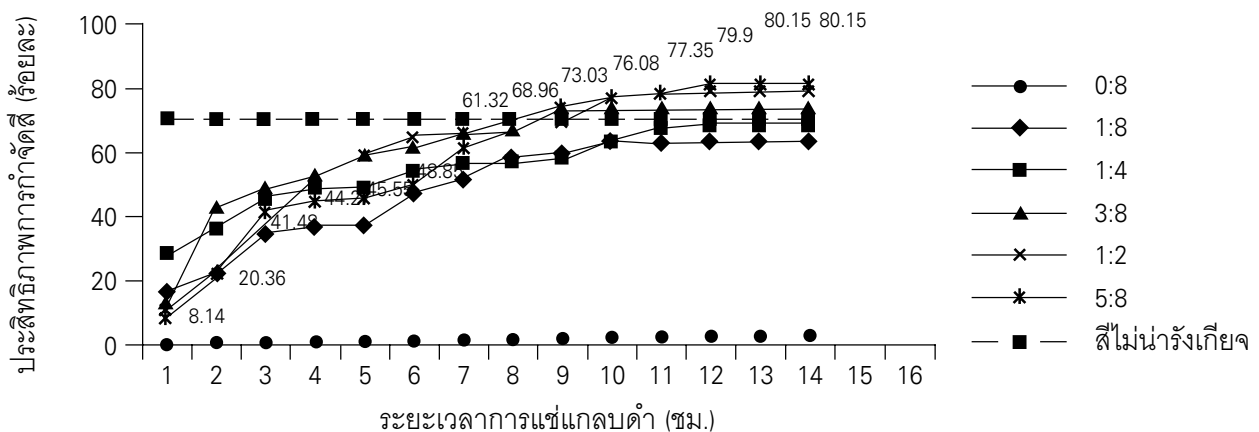
ประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านยางรถยนต์ ใน น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆ และสัดส่วนถ่าน ยางรถยนต์ : น้ำเสียสังเคราะห์ต่างกันเปรียบเทียบความ แตกต่างด้วย ANOVA พบว่า มีอย่างน้อยหนึ่งคู่ของความ เข้มข้นที่สัดส่วนถ่านยางรถยนต์ : น้ำเสียสังเคราะห์ต่างกัน

มีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.001) และการทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่ด้วย Bonferroni พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่สัดส่วนต่างๆ ส่วนใหญ่แตกต่างกัน ยกเว้น สัดส่วน 3:8 กับ 1:2 (p -value > 0.999, 95% Confidence Interval -11.84 to 4.43) ส่วนความเข้มข้น 0.2 กรัม/ลิตร พบว่า ส่วนใหญ่แตกต่างกัน ยกเว้น 1:8 กับ 1:4, 3:8 กับ 1:2, 1:2 กับ 5:8 (p -value > 0.999, 95% Confidence Interval -10.17 to 7.24) และความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร 1:4 กับ 3:8 และ 3:8 กับ 1:2 (p -value > 0.999, 95% Confidence Interval -11.84 to 4.43)

ประสิทธิภาพการกำจัดของแกลบดำ ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร เมื่อใช้สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) พบว่า 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 13 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงที่สุด ร้อยละ 80.15 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0192 กรัม/ลิตร รองลงมาคือ 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 12 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัด ร้อยละ 79.90 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0195 กรัม/ลิตร และ 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 1 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัด ร้อยละ 8.14 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0889 กรัม/ลิตร ดังภาพที่ 4

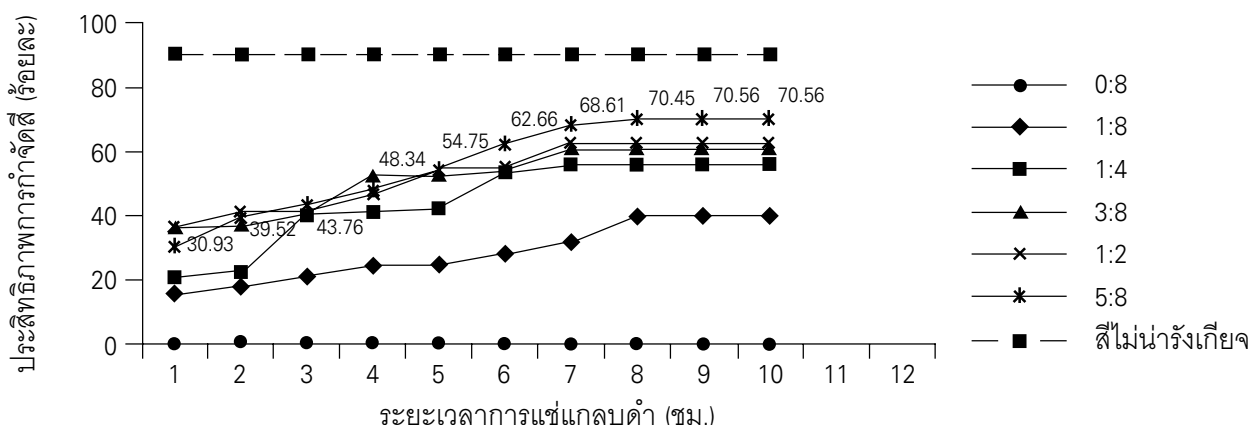
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ของแกลบดำความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร



น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.2 กรัม/ลิตร เมื่อใช้สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) พบว่า 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 9 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงที่สุด ร้อยละ 70.56 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0633 กรัม/ลิตร รองลงมาคือ 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ

8 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัด ร้อยละ 70.45 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.0636 กรัม/ลิตร และ 1:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 1 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำที่สุด ร้อยละ 15.92 ความเข้มข้นที่เหลือ 0.1809 กรัม/ลิตร ดังภาพที่ 5

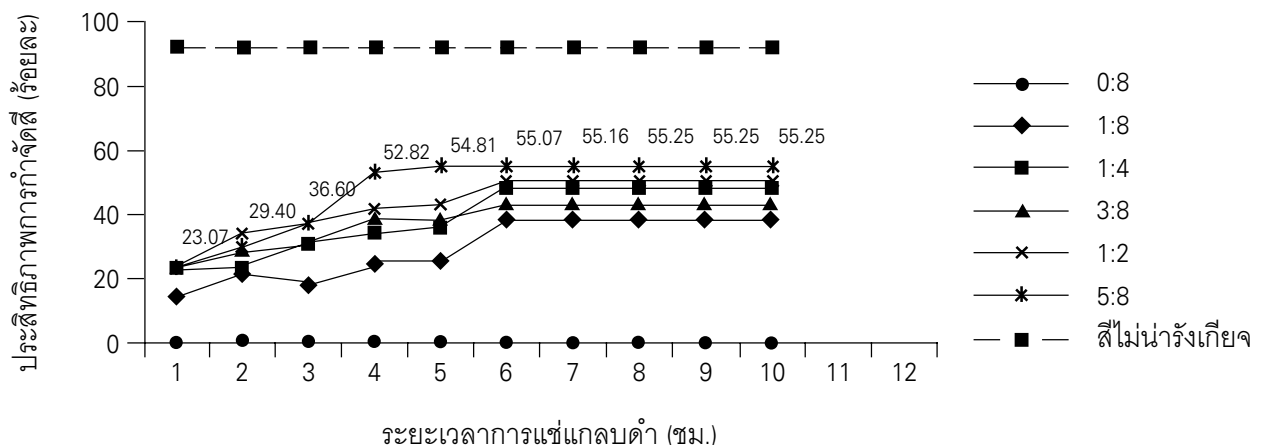
ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ของแกลบดำความเข้มข้น 0.2 กรัม/ลิตร



น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสี 0.3 กรัม/ลิตร พบว่า เมื่อใช้สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 8 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด ร้อยละ 55.25 ความเข้มข้นสีที่เหลือ คือ 0.1271 กรัม/ลิตร รองลงมาคือ 5:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 7 ชม. มี

ประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 55.16 ความเข้มข้นสีที่เหลือ 0.1274 กรัม/ลิตร และ 1:8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 1 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด ร้อยละ 13.70 ความเข้มข้นสีที่เหลือ 0.2452 กรัม/ลิตร ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ของแกลบดำความเข้มข้นสี 0.3 กรัม/ลิตร



ประสิทธิภาพการกำจัดสีของแกลบดำ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นสีระดับต่างๆ และระยะเวลาแช่ต่างกัน เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยสถิติ ANOVA พบว่า มีอย่างน้อยหนึ่งคู่ความเข้มข้นสี ที่ระยะเวลาแช่ต่างกัน มีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001) และการทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่ด้วย Bonferroni พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นสี 0.1 กรัม/ลิตร เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 1 ชม. กับ 2 - 13 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -67.73 to -47.18) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 2 ชม. กับ 3 - 13 ชม. แตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -53.73 to -33.19) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 3 ชม. กับ 6 - 13 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -41.11 to -20.57) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 4 ชม. กับ 5 - 6 และ 10 - 13 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -31.75 to -11.20) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 5 ชม. กับ 6 - 13 ชม.

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -38.21 to -17.66) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 6 ชม. กับ 9 - 13 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -27.88 to -7.33) และระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 7 ชม. กับ 11 - 13 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.003, 95% confidence interval -22.79 to -2.24)

ความเข้มข้นสี 0.2 กรัม/ลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 1 ชม. กับ 4 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -43.35 to -17.45) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 2 ชม. กับ 5 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -39.78 to -13.88) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 3 ชม. กับ 6 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -33.84 to -7.94) ระยะเวลาการแช่สารดูดซับ 4 ชม. กับ 7 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.004, 95% confidence interval -28.64 to -2.74)

ความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 1 ชม. กับ 3 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -37.67 to -20.44) ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 2 ชม. กับ 4 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -32.83 to -20.44) ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 3 ชม. กับ 5 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -28.51 to -11.28) ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 4 ชม. กับ 7 - 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001, 95% confidence interval -20.58 to -3.36) ระยะเวลาการแช่ระหว่าง 5 ชม. กับ 10 ชม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.003, 95% confidence interval -19.31 to -2.10)

ประสิทธิภาพการกำจัดสีของแกลบดำ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ และสัดส่วนถ่านยางแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ต่างกันเปรียบเทียบความแตกต่างด้วย ANOVA พบว่า มีอย่างน้อยหนึ่งคู่ของความเข้มข้นที่สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ต่างกันมีประสิทธิผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001) และการทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่ด้วย Bonferroni พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร พบว่า สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่าง 1:8 กับ 3:8, และ 1:2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p - value < 0.022, 95% Confidence Interval -25.04 to -1.11) ส่วนความเข้มข้น 0.2 กรัม/ลิตร พบว่า สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่าง 1:8 กับ 1:4, 3:8, 1:2 และ 5:8 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p - value < 0.001, 95% Confidence Interval -35.89 to -18.90) และความเข้มข้น 0.3 กรัม/ลิตร 1:4 กับ 5:8 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p - value < 0.008, 95% Confidence Interval -16.74

to -1.56) และ 3:8 กับ 5:8 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p - value < 0.001, 95% Confidence Interval -18.06 to -2.88)

ประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้าของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำ

คุณลักษณะน้ำเสียย้อมผ้าก่อนการบำบัด พีเอช เท่ากับ 7.6 ค่าการดูดกลืนแสง 0.387 ค่าซีไอดี 1,362 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 278 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด 2,955 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการบำบัดโดยใช้สัดส่วนถ่านยางรถยนต์ : น้ำเสียย้อมผ้า (v/v) 5:8 ระยะเวลาแช่ถ่านยางรถยนต์ 9 ชม. พบว่า พีเอช เท่ากับ 7.4 ค่าดูดกลืนแสง 0.827 ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 25.84 ค่าซีไอดี 364 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 73.27 ปริมาณสารแขวนลอย 136 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 51.07 และปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด 2,042 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัด 30.89 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

การทดลองใช้สัดส่วนแกลบดำ : น้ำเสียสังเคราะห์ (v/v) 5 : 8 ระยะเวลาการแช่แกลบดำ 9 ชั่วโมง พบว่า พีเอช เท่ากับ 8.1 ค่าดูดกลืนแสง 0.253 ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 34.63 ค่าซีไอดี 348 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 74.45 ปริมาณสารแขวนลอย 143 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 48.56 และปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด 2,065 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัด 30.11 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านยางรถยนต์และแกลบดำ

พารามิเตอร์	ก่อนการบำบัด	ถ่านยางรถยนต์		แกลบดำ		มาตรฐานน้ำทิ้ง
		หลังการบำบัด	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	หลังการบำบัด	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	
พีเอช 7.6 7.4	-	8.1	-	5.5 - 9		
ค่าการดูดกลืนแสง (AU)	0.387	0.287	25.84	0.253	34.63	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
ซีไอดี (มก./ล.)	1,362	364	73.27	348	74.45	ไม่เกิน 400 มก./ล.
ปริมาณสารแขวนลอย (มก./ล.)	278	136	51.07	143	48.56	ไม่เกิน 150 มก./ล.
ปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	2,955	2,042	30.89	2,065	30.11	ไม่เกิน 5,000 มก./ล.

อภิปรายผล

ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่ถ่านยางรถยนต์ และแกลบดำ สอดคล้องกับการศึกษาของจรรยา คงฤทธิ์³ ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า การเพิ่มปริมาณซีเถ้าแกลบดำและการเพิ่มขึ้นของเวลาสัมผัสพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าเพิ่มขึ้น

การเพิ่มปริมาณถ่านยางรถยนต์และแกลบดำทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้น แต่จุดยุติการดูดซับแตกต่างกัน 1 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการศึกษาของกิติโรจน์ หวันตาหลา⁴ ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น แต่จุดยุติการดูดซับสีย้อมได้ใกล้เคียงกัน

ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้มากกว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียย้อมผ้า เนื่องจากน้ำเสียย้อมผ้ามีสารละลายน้ำที่มาจากกระบวนการเติมสารช่วยย้อม เช่น เกลือ ทำให้มีค่าปริมาณสารละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ในน้ำเสียย้อมผ้ายังมีไขมันที่มาจากกระบวนการฟอกมัน ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านยางรถยนต์และแกลบดำถูกเคลือบด้วยไขมัน ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียย้อมผ้าต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์

ค่า พีเอช ของน้ำเสียย้อมผ้าหลังการบำบัดด้วยแกลบดำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากแกลบดำมีความเป็นด่าง

ข้อเสนอแนะ

ถ่านยางรถยนต์ และแกลบดำ เป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมของสถานประกอบการที่มีปริมาณน้ำเสียไม่มาก โดยแช่แกลบดำตามระยะเวลาที่กำหนด ก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ให้ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยและผู้ประกอบการโรงย้อมผ้าไหมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียย้อมผ้า

เอกสารอ้างอิง

1. กรมโรงงาน. จำนวนโรงงานที่จะทะเบียน [ออนไลน์] 2551. [อ้างเมื่อ 20 กันยายน 2552]. จาก http://www.thaitextile.org/th/textile_intel/document/thtidoc/article_tech.doc.
2. เครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. ปัญหามลพิษจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ [ออนไลน์] 2545 [อ้างเมื่อ 18 กันยายน 2552]. จาก <http://teenet.tei.or.th/knowledge/weave2.html>.
3. จรรยา คงฤทธิ์. การกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสียด้วยซีเมนต์เคลือบดำ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2546
4. กิติโรจน์ หวันตาหลา, ชยาภาส ทับทอง, สิ้นสุภา จัยจุลเจิม. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 10(2): 104-112. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2550.