

การประเมินข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการฟอกย้อมอวน: พีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสม

Assessment of Cleaner Technology Options in Fishing Net Dyeing Process, Optimum pH and Temperature.

คัทลียา นิมสุวรรณ (Cattaleeya Nimsuvan)* พัทธี หอวิชิต (Patcharee Hovichitr)**

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และทางด้านสิ่งแวดล้อม ของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการฟอกย้อมอวน เพื่อลดการใช้ พลังงาน ทรัพยากรน้ำและสารเคมี โดยการศึกษาถึงผลของการติดสีของอวน อันเนื่องมาจากค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำย้อม ในการทดลองได้จำลองวิธีการฟอกย้อมอวนตามวิธีการมาตรฐาน การปฏิบัติงานของโรงงานกรณีศึกษา โดยใช้น้ำในการทดลอง 2 ชนิดที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน ได้แก่ น้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาลที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

การศึกษาพีเอชและอุณหภูมิน้ำย้อมที่เหมาะสมในการฟอกย้อมพบว่า พีเอช 5.5 อุณหภูมิ 95 °C เหมาะสมสำหรับการฟอกย้อมทั้งการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล เมื่อพีเอชน้ำย้อมอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมส่งผลให้สามารถลดเวลาและการใช้น้ำได้ คือ ลดเวลาในการฟอกย้อมที่อุณหภูมิ 95 °C จาก 20 นาทีเป็น 10 นาที ต่อการย้อม 1 ครั้ง และลดอัตราส่วนน้ำหนักอวน (กรัม) ต่อปริมาตรน้ำย้อม (มิลลิลิตร) โดยใช้น้ำรีไซเคิลในการฟอกย้อมจากเดิม 1:20 เป็น 1:10 สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลจะลดการใช้จากเดิมอัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาตรน้ำย้อม 1:20 เป็น 1:15

การใช้น้ำบาดาลในการฟอกย้อมต้องใช้อัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาตรน้ำย้อมต่ำกว่าการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลส่งผลให้ปริมาณกรดที่ใช้สูงกว่า คือ การฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลต้องใช้กรดปริมาตร 8.667 ลิตร/ตันอวนดิบ สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลจะใช้กรดปริมาตร 6.333 ลิตร/ตันอวน ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่สามารถประหยัดได้เมื่อการฟอกย้อมอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลเป็นเงิน 352.44 บาท/ตันอวนดิบ สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลเป็นเงิน 263.03 บาท/ตันอวนดิบ การฟอกย้อมในสภาวะที่เหมาะสมนอกจากสามารถลดค่าใช้จ่ายลงดังกล่าวได้แล้ว คุณสมบัติน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมไม่แตกต่างจากการฟอกย้อมที่สภาวะปัจจุบันมากนัก

ABSTRACT

The objective of this research was to study feasibility in terms of techniques, economy and environment of cleaner technology options in dyeing process to save energy consumption, water resource and chemicals. The study was mainly on shed sticking of fishing net resulting from pH and temperature of dyeing liquid. In the experiment, dyeing process as standard of factory was replicated by using two sources of water; recycled water and underground water treated.

From studying optimum pH and temperature of dyeing liquid, it showed that pH 5.5 and 95 °C were optimum for dyeing with both recycled and underground water. When pH of dyeing liquid was in the optimum condition, it resulted in reducing time consuming and liquid use. At 95 °C, time declined from 20 minutes to 10 minutes per dye, and ratio of weight of fishing net to volume of dyeing liquid (gram/milliliter) declined from 1:20 to 1:10 (with recycled water and from 1:20 to 1:15 with underground water, respectively).

Ratio of weight of fishing net to volume of dyeing liquid in the dyeing process using underground water was lower than using recycled water that resulted in using higher amount of acid. Acid used in dyeing process when dyeing with underground water and recycled water were 8.667 liter/ton of raw-fishing net and 6.333 liter/ton of raw-fishing net, respectively. Cost of dyeing in recycled water was 352.44 baht/ton of raw-fishing net and 263.03 baht/ton of raw-fishing net, respectively. Particularly, dyeing in optimum condition could cut down expenses while dyeing wastewater characteristics was not different from the current condition.

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสะอาด อวน ฟอกย้อม

Keywords: cleaner technology, fishing net, dyeing

*มหบัณฑิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

อุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษต่างๆ มากมาย ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว จากผลการศึกษาการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดของอุตสาหกรรมฟอกย้อมอวน โดยการศึกษากระบวนการผลิตอวนอย่างละเอียดได้มีการจัดทำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดไว้หลายประการ โดยปกติแล้วการย้อมอวนจะใช้สีย้อมที่เป็นกรดซึ่งต้องการน้ำย้อมที่อยู่ในสภาวะกรดคือ 4.5-5.5 (อภิชาติ, 2542) แต่เมื่อตรวจสอบค่าพีเอชของน้ำย้อมที่เตรียมได้ในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.3 ทำให้อวนไม่สามารถติดสีได้ตามเวลาที่กำหนด และต้องเพิ่มกรดเพื่อให้อวนติดสีได้มากที่สุด แต่ด้วยปริมาณกรดที่เพิ่มในแต่ละครั้งไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความชำนาญและดุลยพินิจของพนักงานจึงอาจทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเวลา พลังงาน และอาจส่งผลต่อคุณภาพและความสม่ำเสมอของอวนหลังการฟอกย้อม

จากปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วนั้นการวิจัยนี้ได้เลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเรื่อง “การหาสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกย้อม” โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดดังกล่าวทั้งทางด้านเทคนิคทางด้านเศรษฐศาสตร์ และทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้จริงในโรงงาน อีกทั้งในจังหวัดขอนแก่นก็มีโรงงานฟอกย้อมขนาดใหญ่ซึ่งเป็นโรงงานผลิตอวน จึงเป็นการดีที่จะใช้เป็นสถานที่ทำการศึกษาในครั้งนี้และนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมฟอกย้อมต่อไป

การดำเนินงานวิจัย

การศึกษาประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ การประเมินทางด้านเทคนิค ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทางด้านสิ่งแวดล้อม และการจัดทำดัชนีการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การประเมินทางด้านเทคนิค

การประเมินทางด้านเทคนิคแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาการฟอกย้อมที่สภาวะปัจจุบัน

กับการศึกษาเพื่อหาสภาวะการฟอกย้อมที่เหมาะสม โดยการจำลองวิธีการฟอกย้อมตามมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานของโรงงานกรณีศึกษา การศึกษานี้ใช้น้ำบาดาลและน้ำรีไซเคิลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เป็นน้ำในกระบวนการฟอกย้อม เพื่อศึกษาเปรียบเทียบถึงปริมาณการใช้สารเคมีเวลาในการฟอกย้อม และความเป็นไปได้ในการนำน้ำรีไซเคิลมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อม โดยมีขั้นตอนสำหรับน้ำแต่ละประเภทดังนี้

1) จำลองวิธีการตามมาตรฐานการฟอกย้อมของโรงงาน โดยใช้ อวนโนล่อนเบอร์โย 0.23 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นอวนที่ผลิตเป็นจำนวนมาก และน้ำย้อมสีมาตรฐานประกอบด้วย สีย้อมที่เป็นกรด (Acid Dye) (ได้แก่ สีเขียว สีเหลือง และ สีดำ) กรดอะซิติก (Acetic Acid) และ สารเคมีช่วยย้อม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.1) เตรียมอวนหนัก 15 กรัม

1.2) นำอวนไปฟอกล้างตามสูตรมาตรฐาน โดยการต้มล้างที่ 95 °C 20 นาที ล้างอวนด้วยน้ำให้สะอาด แล้วนำอวนผึ่งให้หมาด

1.3) เตรียมน้ำย้อมตามสูตรมาตรฐาน วัด พีเอช สี

1.4) นำอวนที่ผ่านการผึ่งให้หมาด ใส่กระบอกย้อมสี เติมน้ำย้อมที่เตรียมไว้ นำกระบอกย้อมเข้าเครื่องย้อม ทำการย้อมที่ 95 °C เป็นเวลา 20 นาที

1.5) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำอวนออก

1.6) นำน้ำตัวอย่างที่เก็บในขั้นตอน(1.2) และ (1.5) ไปวิเคราะห์ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติน้ำก่อนเข้ากระบวนการ และหลังผ่านกระบวนการ คือ พีเอช สภาพนำไฟฟ้า สารละลายทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ความกระด้าง ค่าความเป็นด่าง คลอไรด์ ซีโอดี (วิเคราะห์ตาม Standard Method for Examination of Water and Wastewater 20th edition 1998) และ ร้อยละการติดสีของอวน (กาวิ, 2544)

2) เตรียมน้ำย้อมที่พีเอชต่างๆ คือ 6.0 5.7 5.5 5.3 5.0 และ 4.7 แล้วทำตามขั้นตอนในข้อที่ (1) เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

3) เตรียมน้ำย้อมที่ระดับพีเอชที่เหมาะสม จากข้อที่ (2) แล้วทำตามขั้นตอนในข้อที่ (1) แต่ในข้อที่

(1.4) ให้ทำการปรับระยะเวลาในการฟอกย้อมเป็น 20 15 และ 10 นาที ตามลำดับ เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการฟอกย้อม

4) เตรียมน้ำย้อมสีที่ระดับพีเอชที่เหมาะสมจากข้อที่ (2) ด้วยอัตราส่วนน้ำหนักของต่อปริมาณน้ำย้อม (กรัม/มิลลิลิตร) เป็น 1:20, 1:15 และ 1:10 ตามลำดับ แล้วทำตามขั้นตอนในข้อที่ (1) เพื่อหาน้ำหนักของต่อปริมาณน้ำย้อมสีที่เหมาะสม

5) เตรียมน้ำย้อมสีที่ระดับพีเอชต่างๆ คือ 5.5 5.3 5.0 และ 4.5 ด้วยอัตราส่วนน้ำหนักของต่อปริมาณน้ำย้อมสีที่เหมาะสมจากข้อ (4) แล้วทำตามขั้นตอนในข้อที่ (1) ส่วนในข้อที่ (1.4) จะใช้อุณหภูมิเป็น 90°C เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการติดสี

การประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

ศึกษาถึงค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้และผลตอบแทน เมื่อทำการฟอกย้อมในสภาวะที่เหมาะสม จากการใช้บำบัดและน้ำรีไซเคิล โดยเปรียบเทียบผลได้จากการศึกษาความสามารถของอวนในการติดสีโดยใช้น้ำบาดาลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับน้ำรีไซเคิลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อนำมาคำนวณหาระยะเวลาต้นทุนของอุปกรณ์ เครื่องมือ และปริมาณสารเคมี ที่ต้องนำมาใช้ในการปฏิบัติตามข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด

การประเมินความเหมาะสมทางด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินความเหมาะสมทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาปริมาณน้ำทิ้ง ความใสโครกของน้ำทิ้ง การใช้ทรัพยากรน้ำ การใช้สารเคมี และการใช้พลังงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างการปฏิบัติงานก่อนและหลังการนำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดไปใช้

การจัดทำดัชนีการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด

การจัดทำดัชนีการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาจากข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่เลือกศึกษาหาต้นดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องเพื่อติดตามและตรวจสอบผลการใช้เทคโนโลยีสะอาดในโรงงาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลที่ได้จากการฟอกย้อมอวนตามสภาพปัจจุบันของโรงงาน และการทดลองฟอกย้อมอวนที่สภาวะต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกย้อม และศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการนำสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกย้อมไปปฏิบัติจริง โดยพิจารณาทางด้านเทคนิค ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และทางด้านสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งจัดทำดัชนีการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้ในการตรวจสอบผลการใช้สภาวะการฟอกย้อมที่เหมาะสม รายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาการฟอกย้อมในสภาพปัจจุบัน

ในการทดลองฟอกย้อมได้จำลองการฟอกย้อมตามวิธีการมาตรฐานการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาโดยทดลองใช้น้ำ 2 ชนิดคือ น้ำใต้ดิน และน้ำรีไซเคิลในการฟอกย้อม เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม ลักษณะอวนหลังการฟอกย้อม และลักษณะสมบัติน้ำทิ้งในแต่ละขั้นตอน

1. คุณสมบัติน้ำที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นในเรื่องการติดสีของอวน คุณภาพของอวน การใช้สารเคมี และการใช้พลังงานอันเนื่องจากคุณสมบัติน้ำที่แตกต่างกัน 2 ชนิดดังกล่าว ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเทียบคุณสมบัติน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาลที่ใช้ในการทดลอง กับคุณสมบัติน้ำที่เหมาะสมในการฟอกย้อม จะเห็นได้ว่าน้ำรีไซเคิล

ตารางที่ 1 คุณสมบัติน้ำในการฟอกย้อมอวน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	น้ำที่เหมาะสมในการฟอกย้อม	น้ำที่ใช้ในการทดลอง	
		รีไซเคิล	บาดาล
pH	7-9	7.56	7.62
EC (μ Siemens/cm)	-	2014	949
SS (mg/l)	< 5	4	0
TDS (mg/l)	< 500	1350	423
Hardness (mg/l as CaCO_3)	< 70	9	3
Alkalinity (mg/l as CaCO_3)	< 100	423	273
Chlorine (mg/l)	< 250	354	81

จะมีคุณสมบัติบางประการที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ของคุณสมบัติ น้ำที่เหมาะสมในการพอกย้อม คือ ค่าของแข็งทั้งหมด ค่าความเป็นด่าง และคลอไรด์ สำหรับน้ำบาดาลมีเพียง ค่าความเป็นด่างของน้ำเท่านั้นที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน คุณสมบัติน้ำที่เหมาะสมในการพอกย้อม

2. การพอกย้อมอวนตามสูตรมาตรฐานการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

เป็นการจำลองการย้อมสีอวนโดยใช้วิธีการ และสภาวะการย้อมตามการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อศึกษาถึงผลและปัญหาของการย้อมสีอวนตามสภาพการในปัจจุบัน ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์การติดสีของอวนและคุณสมบัติน้ำหลังการพอกย้อมตามวิธีการมาตรฐานการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาลสามารถติดสีได้ 62.27 และ 76.53 ตามลำดับซึ่งน้ำบาดาลให้การติดสีสูงกว่าน้ำรีไซเคิล

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของการพอกย้อม และน้ำทิ้งหลังการพอกย้อม

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	น้ำที่ใช้พอกย้อม	
	รีไซเคิล	บาดาล
pH น้ำย้อมก่อนพอกย้อม	6.64	5.96
การติดสีของอวน (%)	62.27	76.53
คุณสมบัติน้ำทิ้งหลังการพอกย้อม		
pH	7.47	6.62
EC (μ Siemens/cm)	1627	1338
SS (mg/l)	10	1
TDS (mg/l)	2233	1417
Hardness (mg/l as CaCO_3)	23	9
Alkalinity (mg/l as CaCO_3)	453	284
Chlorine (mg/l)	338	83
COD (mg/l)	1055	900

เมื่อพิจารณาจากน้ำย้อมที่เตรียมตามสูตรมาตรฐานการผลิตอวนจากน้ำรีไซเคิลจะให้ค่าพีเอชของน้ำย้อมสูงกว่าน้ำย้อมที่เตรียมจากน้ำบาดาล คือน้ำย้อมที่เตรียมจากน้ำรีไซเคิลมีค่าพีเอชเฉลี่ยเป็น 6.64 สำหรับน้ำย้อมที่เตรียมจากน้ำบาดาลจะให้ค่าพีเอชเฉลี่ยเป็น 5.96

ดังนั้นคุณสมบัติน้ำที่ใช้ในการพอกย้อมจึงน่าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการพอกย้อม ในส่วนของน้ำทิ้งหลังการพอกย้อมจะยังคงมีสีเหลืออยู่ทั้งน้ำย้อมที่เตรียมจากน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล โดยน้ำทิ้งหลังการพอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลจะมีสีเข้มกว่าน้ำทิ้งหลังการพอกย้อมโดยใช้น้ำบาดาล เมื่อเทียบสีอวนที่ได้จากการทดลองกับอวนสีมาตรฐาน อวนที่ได้จากการทดลองจะมีสีจางกว่าสีอวนมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากการที่อวนไม่สามารถติดได้หมด และอวนที่ได้จากการพอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลจะให้สีอวนที่จางกว่าอวนที่ผ่านการพอกย้อมด้วยน้ำบาดาล เพราะเมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชของน้ำย้อมที่เตรียมได้ทั้งจากน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล ยังมีสภาพความเป็นกรดที่อ่อน ซึ่งการย้อมด้วยสีแอสิกนั้นต้องการน้ำย้อมที่มีค่าพีเอชช่วง 4.5-5.5 จากการทดลองย้อมสีอวนแสดงให้เห็นว่าการพอกย้อมตามสูตรมาตรฐานการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาทั้งน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล ยังไม่เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการพอกย้อมอวน เนื่องจากอวนที่ผ่านการพอกย้อมไม่ได้สีตามสีอวนมาตรฐาน ดังนั้นจึงควรศึกษาเพื่อหาสภาวะการย้อมที่เหมาะสมในการพอกย้อมต่อไป การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพอกย้อมอวน

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการพอกย้อม ทำการจำลองการพอกย้อมตามวิธีการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยทดลองเปลี่ยนสภาวะของการย้อม 4 สภาวะ คือ

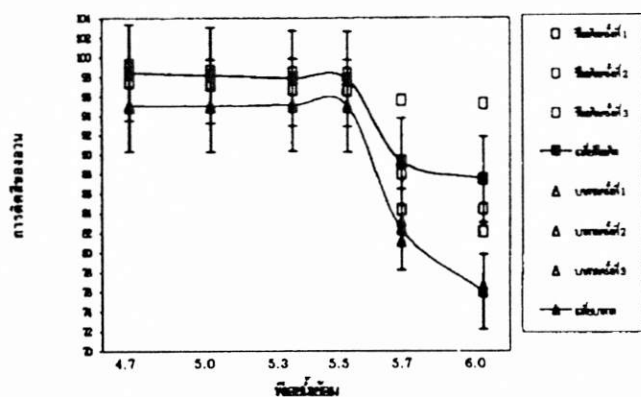
- 1) พีเอชของน้ำย้อม
- 2) เวลาที่ใช้ในการย้อมที่อุณหภูมิ 95 °C
- 3) อัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาตรน้ำย้อม
- 4) เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการพอกย้อมที่ 90 และ 95 °C

เพื่อศึกษาถึงผลที่ได้จากสภาวะต่าง ๆ ในเรื่องคุณภาพของอวน ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งหลังการพอกย้อม โดยผลที่ได้จะใช้ในการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการพอกย้อมต่อไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. พีเอชที่เหมาะสมของน้ำย้อม

จากสมมติฐานการทดลอง ค่าพีเอชของน้ำย้อมที่เหมาะสมสามารถลดการใช้สารเคมี พลังงาน เวลา และอุณหภูมิ ในการพอกย้อมอวนได้ ดังนั้นในการทดลองจึงปรับพีเอชของน้ำย้อม โดยการเพิ่มปริมาณกรด

ให้กับน้ำย้อม และทำการฟอกย้อมที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 20 นาที ดังเดิม ได้ผลดังภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าการติดสีของอวนทั้งการใช้น้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาลในการทดลองจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชน้ำย้อมลดลง จะเห็นว่าที่พีเอชต่ำกว่า 5.5 ความสามารถในการติดสีของอวนจะเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทั้งของน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล ซึ่งเกิดจากกรดที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อวนสามารถรับเอาแอนไอออนจากสีได้ดีขึ้น (อัจฉราพร, 2527) จนถึงภาวะสมดุลซึ่งในที่นี้ก็คือพีเอช 5.5 ทำให้อวนไม่สามารถรับเอาแอนไอออนจากสีได้อีก



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชน้ำย้อมกับการติดสีของอวน

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อม พบว่าน้ำย้อมพีเอช 6.0 และ 5.7 น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมจะมีสีเหลืองอยู่ ลักษณะอวนที่ผ่านการฟอกย้อมมีสีอ่อนกว่าสีอวนมาตรฐาน แต่น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมของน้ำย้อมพีเอช 5.5 5.3 5.0 และ 4.7 นั้นไม่มีสีปรากฏให้เห็น การเตรียมน้ำย้อมพีเอช 5.5 ใช้กรดในการเตรียมน้ำย้อมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำย้อมพีเอช 5.3 5.0 และ 4.7 โดยที่อวนสามารถติดสีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นพีเอชน้ำย้อมที่เหมาะสมในการฟอกย้อมอวน คือ 5.5

เมื่อพิจารณาที่คุณสมบัติ น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมที่พีเอชใด ๆ ความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมโดยใช้น้ำรีไซเคิลในการเตรียมน้ำย้อมนั้น จะมีความสกปรกมากกว่าการใช้น้ำบาดาลในการเตรียมน้ำย้อม นอกจากนี้ความสกปรกในรูปของซีโอไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพีเอช

ของน้ำย้อมลดลง ซึ่งเกิดจากความเป็นกรดที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อม เนื่องจากกรดอะซิติกที่ใช้ในการเตรียมน้ำย้อมเป็นกรดอินทรีย์ (Acetic acid) จึงสรุปได้ว่าพีเอชน้ำย้อม 5.5 เหมาะสมในการฟอกย้อม

2. เวลาที่เหมาะสมในการฟอกย้อมอวน ของน้ำย้อมพีเอช 5.5

อวนจะติดสีได้ดีเมื่ออุณหภูมิของน้ำย้อมสูงประมาณ 95 °C และต้องอาศัยระยะเวลาช่วงหนึ่งที่ทำให้อวนติดสีได้หมด โดยสภาวะการย้อมตามสูตรมาตรฐานการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาจะให้เวลาอวนในการติดสีนาน 20 นาที สำหรับในการทดลองได้แบ่งการฟอกย้อมอวนเป็น 3 ระยะ คือ 10 15 และ 20 นาที ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการติดสีของอวนที่ใช้น้ำย้อมรีไซเคิลและน้ำย้อมบาดาลในการฟอกย้อมด้วยระยะเวลาการย้อมต่างๆ กัน จะสามารถติดสีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้เนื่องจากค่าคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ถึงร้อยละ 1

ตารางที่ 3 การติดสีของอวน โดยใช้น้ำย้อมพีเอช 5.5 ที่อุณหภูมิ 95 °C อัตราส่วน 1:20

เวลาในการฟอกย้อม (นาที)	น้ำรีไซเคิล (%)	น้ำบาดาล (%)
10	97.30	96.12
15	97.35	96.26
20	97.61	96.55

เมื่อพิจารณาจากอวนหลังการฟอกย้อมซึ่งตรงตามมาตรฐาน คุณสมบัติ น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นระยะเวลาการฟอกย้อม 10 นาทีเหมาะสมที่จะใช้ในการฟอกย้อมอวน

3. อัตราส่วนน้ำหนักรอต่อปริมาณน้ำย้อมพีเอช 5.5 ฟอกย้อมที่อุณหภูมิ 95 °C เวลา 10 นาที

น้ำเสียเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการฟอกย้อมอวนเนื่องจากต้องใช้ปริมาณน้ำสูงถึง 20 เท่าของน้ำหนักรอที่จะทำการฟอกย้อม ซึ่งปริมาณน้ำย้อมที่ท่วมตัวอวนหนัก 15 กรัม ในกระบอกย้อมพอดี

คือ 150 มล. เท่ากับอัตราส่วนน้ำหนักอวน 1 กรัม ต่อ ปริมาณน้ำย้อม 10 มล. ดังนั้นเพื่อการลดปริมาณน้ำเสียที่จะเกิดขึ้น การทดลองนี้จะปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่จะใช้เป็น 3 ระดับ คือ ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักอวนต่อปริมาณน้ำย้อม (กรัม/มิลลิลิตร) เป็น 1:10, 1:15 และ 1:20 ทั้งนี้จะยังคงใช้ปริมาณสีและสารช่วยย้อมคงเดิม ผลของการติดสีแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าอวนจะติดสีได้ดีที่สุดที่อัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาณน้ำย้อมเป็น 1:20 อย่างไรก็ตามจากการทดลองจะเห็นว่าการใช้น้ำรีไซเคิลด้วยอัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาณน้ำย้อม 1:10 แม้อวนจะไม่สามารถติดสีได้ดีที่สุด แต่ผลที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ลดลงถึงครึ่งหนึ่งอัตราส่วนนี้จึงเป็นค่าที่เหมาะสมกว่า

ตารางที่ 4 การติดสีของอวน ที่อุณหภูมิ 95 °C เวลาการฟอกย้อม 10 นาที

อัตราส่วนอวนต่อน้ำย้อม	รีไซเคิล	บาดาล
1:10	95.60	94.39
1:15	95.62	95.12
1:20	95.64	95.41

และเมื่อพิจารณาจากน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมแล้วพบว่าน้ำทิ้งไม่มีสีหลงเหลืออยู่ และคุณสมบัติสีน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลใช้อัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อน้ำย้อมที่เหมาะสมเป็น 1:10 และสำหรับน้ำบาดาลเป็น 1:15

4. การฟอกย้อมอวนที่อุณหภูมิ 90 °C

การทดลองขั้นต่อไปได้ลดอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการฟอกย้อมที่อุณหภูมิ 90 °C และ 95 °C โดยทำการปรับพีเอช น้ำย้อมเป็น 5.5, 5.3, 5.0 และ 4.5 ตามลำดับ ด้วยอัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาณน้ำย้อม 1:15 ใช้เวลาในการฟอกย้อม 20 นาที ผลการติดสีของอวนแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การติดสีของอวนเมื่อฟอกย้อมที่ 90 และ 95 °C เป็นเวลา 20 นาที อัตราส่วน 1:15

พีเอช น้ำย้อม	น้ำรีไซเคิล(%)		น้ำบาดาล(%)	
	90 °C	95 °C	90 °C	95 °C
5.5	35.73	97.75	40.76	94.99
5.3	62.29	97.85	73.42	95.10
5.0	74.81	97.16	83.74	95.03
4.5	92.38	-	93.89	-

การติดสีของอวนที่ พีเอชใด ๆ นั้นลดต่ำลงจากการฟอกย้อมที่ 95 °C น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมที่อุณหภูมิ 90 °C จะยังคงมีสีเหลือให้เห็นอย่างชัดเจนเนื่องจากอวนติดไม่หมด และอวนที่ผ่านการฟอกย้อมไม่ได้สีตรงตามสีอวนมาตรฐาน เมื่อพีเอชน้ำย้อมที่เตรียมสูงขึ้น ทำให้อวนที่ได้ยังมีสีจางลงตามลำดับ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 90 °C ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการฟอกย้อมอวน เนื่องจากน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมยังคงมีสีหลงเหลือ และอวนที่ผ่านการฟอกย้อมไม่ได้คุณภาพตรงตาม ดังนั้นที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฟอกย้อมอวน

5. สรุป

จากการศึกษาได้สภาวะการฟอกย้อมที่เหมาะสม ด้วยน้ำย้อมที่เตรียมจากน้ำที่มีคุณสมบัติบางประการที่ต่างกัน 2 ชนิด คือ น้ำรีไซเคิล น้ำย้อมพีเอช 5.5 อัตราส่วน 1:10 ฟอกย้อม ที่ 95 °C เป็นเวลา 10 นาที น้ำบาดาล น้ำย้อมพีเอช 5.5 อัตราส่วน 1:15 ฟอกย้อม ที่ 95 °C เป็นเวลา 10 นาที

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สภาวะที่เหมาะสมในการฟอกย้อม

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สภาวะที่เหมาะสมเป็นการศึกษาถึงความเหมาะสมใน 2 ประเด็นหลักคือ เรื่องเศรษฐศาสตร์และผลต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นหลังการนำข้อเสนอดังกล่าวไปใช้ รายละเอียดดังกล่าวต่อไป

1. ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาสภาวะการฟอกย้อมที่เหมาะสมด้วยน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล เห็นควรที่จะต้องมีการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นคือ พีเอชมิเตอร์ปากกา ซึ่งง่ายและเหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน ราคา 2,800 บาท มีอายุการใช้งาน 2 ปี ซึ่งแสดงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดังตารางที่ 6 (เมื่อมีการฟอกย้อมอวนด้วยเบอริโย 0.23 ม.ม. สีเขียวเข้ม 100 กิโลกรัม/วัน)

ตารางที่ 6 ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการซื้อพีเอชมิเตอร์ปากกา

น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม	ค่าลงทุน (บาท)	เวลาคืนทุน (วัน)	ผลตอบแทนต่อเดือน (บาท)	อัตราส่วนกำไรต่อเงินลงทุน
รีไซเคิล	2,800	80	35.248	1.259
บาดาล	2,800	110	26.303	0.939

จากการฟอกย้อมที่สภาวะเหมาะสม ส่งผลให้ลดการใช้น้ำ เวลา และปริมาณกรด ในการฟอกย้อม และการจัดซื้อพีเอชมิเตอร์ปาก ทำให้สะดวกในการตรวจสอบพีเอชของน้ำย้อม ซึ่งพีเอชของน้ำย้อมเป็นปัจจัยสำคัญในการฟอกย้อมแล้ว ดังนั้นในการฟอกย้อมที่สภาวะที่เหมาะสมและการจัดซื้อพีเอชมิเตอร์สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการฟอกย้อมในส่วนของการฟอกย้อมน้ำกรด และพลังงาน ลงได้ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ จากการฟอกย้อมที่สภาวะที่เหมาะสม (บาท/ตันอวนดิบ)

รายละเอียด	น้ำรีไซเคิล	น้ำบาดาล
1. กรด	9.33	- (46.67) *
2. น้ำ	71.46	51.95
3. พลังงานไอน้ำ	2.13	2.13
4. พลังงานไฟฟ้า	241.67	241.67
5. ค่าบำบัดน้ำเสีย	27.89	13.95
รวมเป็นเงิน	352.48	263.03

หมายเหตุ * เป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

2. ความเหมาะสมทางด้านสิ่งแวดล้อม

เมื่อพิจารณาจากการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน และมลพิษที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบระหว่างสภาวะการฟอกย้อมปัจจุบันกับสภาวะที่เหมาะสม คือ

1) การฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลสามารถลดการใช้น้ำจากเดิม 20 ลบ.ม./ตันอวนดิบ เป็น 10 ลบ.ม./ตันอวนดิบ สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลใช้น้ำจากเดิม 20 ลบ.ม./ตันอวนดิบ เป็น 15 ลบ.ม./ตันอวนดิบ

2) ใช้เวลาในการฟอกย้อมที่อุณหภูมิ 95 °C 10 นาที ทั้งการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล สามารถประหยัดเวลาในการฟอกย้อมลงได้ 10 นาที/ครั้ง ซึ่งเป็นผลให้การใช้พลังงานในการฟอกย้อมลดลง

3) สีและสารช่วยย้อมจะใช้ตามน้ำหนักอวนที่จะทำการฟอกย้อมจึงไม่สามารถลดปริมาณการใช้ลงได้

4) มลพิษที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมที่สภาวะปัจจุบันกับที่สภาวะเหมาะสม น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมของน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาพีเอชน้ำทิ้งที่สภาวะเหมาะสมจะมีพีเอชต่ำกว่าที่สภาวะปัจจุบันเนื่องจากการเตรียมน้ำย้อม เป็น 5.5

5) ความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมที่สภาวะปัจจุบันทั้งการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล เกิดจากปริมาณสี และกรดที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ สำหรับความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมที่สภาวะที่เหมาะสมนั้น เกิดจากปริมาณกรดที่เติมลงไป

6) ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลจะสูงกว่าการใช้น้ำรีไซเคิลในการฟอกย้อม ถึง 5 ลบ.ม./ตันอวนดิบ

ดังนั้นการใช้น้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาลในการฟอกย้อม เมื่อทำการปรับปรุงสภาวะการย้อมให้เหมาะสมจะไม่ส่งผลต่อการฟอกย้อม จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการฟอกย้อม

ดัชนีการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม

ในการตรวจสอบและติดตามผลการใช้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการฟอกย้อมของโรงงานกรณีศึกษา จำเป็นต้องกำหนดดัชนีการดำเนินการขึ้นเพื่อประสิทธิผลในการติดตามตรวจสอบ ดังตารางที่ 8 แสดง

ดัชนีการดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบผลในสภาวะปัจจุบันและสภาวะที่เหมาะสมของการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิลและน้ำบาดาล โดยพิจารณาจากประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น การใช้น้ำ สารเคมี และพลังงานในปริมาณสูง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น และการย้อมซ้ำของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 9 ดัชนีการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการฟอกย้อมอวน

ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม	ดัชนีการดำเนินการ	หน่วยวัด	สภาวะปัจจุบัน		สภาวะเหมาะสม	
			รีไซเคิล	บาดาล	รีไซเคิล	บาดาล
1. การใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำ	ลูกบาศก์เมตร/ตันผลิตภัณฑ์	20	20	10	15
2. การใช้สารเคมี	ปริมาณการใช้สีย้อม	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	2,104.2	2,104.2	2,104.2	2,104.2
	ปริมาณการใช้กรด	ลิตร/ตันผลิตภัณฑ์	7	7	6.333	8.667
	ปริมาณการใช้สารช่วยย้อม	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	3	3	3	3
	ปริมาณการใช้สารปรับสภาพ	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	N/A	N/A	N/A	N/A
3. การใช้พลังงาน	ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	ลิตร/ตันผลิตภัณฑ์	0.53	0.53	0.265	0.265
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม./ตันผลิตภัณฑ์	215.78	215.78	107.89	107.89
4. น้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย	ลูกบาศก์เมตร/ตันผลิตภัณฑ์	20	20	10	15
	ลักษณะสมบัติน้ำเสีย					
	- pH		7.47	6.62	5.61	5.68
	- BOD	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	N/A	N/A	N/A	N/A
	- COD	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	21.10	18.11	11.66	13.40
	- SS	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	0.20	0.02	0.10	0.03
5. อวนไม่ได้มาตรฐาน	ปริมาณการย้อมซ้ำ	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	N/A	N/A	N/A	N/A
	ปริมาณอวนเสีย	กิโลกรัม/ตันผลิตภัณฑ์	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ N/A ไม่มีข้อมูล

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเพื่อหาพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฟอกย้อมอวนสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) ผลของการติดสีของอวน ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำย้อมเป็นสำคัญ

2) พีเอชและอุณหภูมิของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการฟอกย้อมอวนสีเขียวเข้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย 0.23 มิลลิเมตร คือ พีเอช 5.50 อุณหภูมิ 95 °C

3) การใช้น้ำบาดาลและน้ำรีไซเคิลในการฟอกย้อมได้ผลของการติดสีไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการ

ฟอกย้อมอวนสีเข้ม แต่หากใช้ในการฟอกย้อมอวนสีอ่อนอาจส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

4) เมื่อพีเอชน้ำย้อมอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมคือพีเอช 5.50 ส่งผลให้สามารถลดเวลาและการใช้น้ำลงได้ คือ สามารถลดเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 95 °C จาก 20 นาที เป็น 10 นาที ต่อการย้อม 1 ครั้ง และลดอัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาตรน้ำย้อมโดยใช้น้ำรีไซเคิลในการฟอกย้อม จาก 1:20 เป็น 1:10 ซึ่งหมายถึงการประหยัดน้ำได้ร้อยละ 50 สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลจะลดการใช้น้ำลงจากเดิมอัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาตร

น้ำย้อม 1:20 เป็น 1:15

5) การใช้น้ำบาดาลในการฟอกย้อมที่สภาวะเหมาะสม ต้องใช้อัตราส่วนน้ำหนักอวนต่อปริมาตรน้ำย้อมต่ำกว่าการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิล ส่งผลให้ปริมาณกรดที่ใช้สูงกว่า คือ การฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลต้องใช้กรด 8.667 ลิตร/ตันอวนดิบ สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำรีไซเคิล จะใช้กรด 6.333 ลิตร/ตันอวนดิบ

6) ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ เมื่อการฟอกย้อมอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการฟอกย้อมต่อ 1 ตันอวนดิบ เมื่อใช้น้ำรีไซเคิลในการฟอกย้อม รวมเป็นเงิน 352.48 บาท/ตันอวนดิบ สำหรับการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาล รวมเป็นเงิน 263.03 บาท/ตันอวนดิบ ดังนั้น การฟอกย้อมที่สภาวะเหมาะสมด้วยน้ำรีไซเคิลประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าการฟอกย้อมด้วยน้ำบาดาลถึง 89.45 บาท/ตันอวนดิบ

7) การฟอกย้อมในสภาวะที่เหมาะสมส่งผลให้ปริมาณน้ำทิ้งลดลงเนื่องจากปริมาณการใช้น้ำลดลงและคุณสมบัติ น้ำทิ้งหลังการฟอกย้อมไม่แตกต่างจากการฟอกย้อมที่สภาวะปัจจุบันมากนัก

8) ในการทดลองทำการฟอกย้อมอวนเพียงขนาดและสีเดียวแต่ในโรงงานมีการฟอกย้อมที่หลากหลาย ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกย้อมที่ได้จากการทดลองนี้ไม่สามารถใช้ได้กับอวนทุกชนิดที่จะทำการฟอกย้อม เป็นแต่เพียงแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานกรณีศึกษาต่อไป โดยต้องพิจารณาถึงสีและชนิดของอวนที่จะทำการฟอกย้อมเพราะสีแต่ละสีต้องการพีเอช อุณหภูมิ และ เวลาที่แตกต่างกันเพื่อให้อวนติดสีได้มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

แนวทางการศึกษาความเป็นไปได้ของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมอวนมีประเด็นที่ควรให้ความสนใจอีกหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปเป็นแนวทางและข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1) วิธีการวัดสียังไม่เหมาะสมนัก เพราะเป็นเพียงการวัดสีที่จุดจุดเดียว หากสามารถใช้การวัดสีด้วยวิธี ADMI จะทำให้การวัดสีเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น และใช้ได้กับทุกสีที่ทำการวัด แม้สีที่วัดจะเปลี่ยนไปจากเดิมก็สามารถ

อ่านค่าออกมาได้เลยไม่จำเป็นต้องหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับสีนั้น ๆ ใหม่

2) จากการศึกษาเบื้องต้น น้ำล้างอวนหลังการฟอกล้างมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเข้ากระบวนการควรทำการศึกษาในรายละเอียดของการนำน้ำล้างอวนหลังการฟอกล้างมาใช้เป็นน้ำเข้ากระบวนการฟอกล้างต่อไป เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม

3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฟอกย้อมอวนสี และขนาดเส้นใยอื่น ๆ ที่ต่างจากการทดลองนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม

4) ในการหาสภาวะที่เหมาะสมควรทำแบบ Experimental analysis จะทำให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กาวิ ศรีกุลกิจ. 2544. หลักการย้อมสีสิ่งทอ ว. คัลเลอร์เวย์. 6[34]: 20-22.
- เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2541. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- อรรถรัตน์ มุ่งเจริญ. 2541. เทคโนโลยีสะอาดเครื่องมือสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของอุตสาหกรรม. วารสารเทคโนโลยี 25[138]:65-70.
- นฤมล ศิริทรงธรรม. 2540. อุตสาหกรรมสิ่งทอกับสิ่งแวดล้อม. ว.คัลเลอร์เวย์ 2:12-15.
- ปิลันธน์ ธรรมมงคล. 2542. การบรรยายเรื่องประสบการณ์จริงในการลดต้นทุนและมลพิษของโรงงานฟอกย้อมในประเทศไทย ณ โรงแรมโฆษะขอนแก่น วันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2542.
- ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2542. คู่มือการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ กรมควบคุมมลพิษ. 2542.
- เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง โครงการจัดทำดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม. ณ ห้องบอลรูม โรงแรมเรดิสัน 11 พฤศจิกายน 2542.

- สมาคมอุตสาหกรรมฟอกย้อม. 2544. สมบัติของน้ำ.
ว.คัลเลอร์เวย์. 6[34, 35,]: 10-13.
- ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2544. น้ำสำคัญอย่างไรใน
อุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ. ว.คัลเลอร์เวย์.
6[30].
- สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2542. คู่มือการ
จัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม.
กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- อภิชาติ สนธิสมบัติ. 2541. การปรับปรุงและเพิ่มผลผลิต
ในโรงย้อม. ว.คัลเลอร์เวย์. 3[18]:43-48.
- อัจฉราพร ไชยะสุต. คู่มือการย้อมสี. 2527. พิมพ์ครั้งที่ 2.
เทคนิค 19 การพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- APHA AWWA WEF. 1998. **Standard Methods: for
The Examination of Water and Wastewater.**
20th Ed.
- Beszedits, S., Lugowski, A. and Miyamoto, H.K. 1980.
Color Removal from Textile Effluents. Stephen
Beszedits. Canada.
- Fusun, S. and Nuri, A. 1995. **Pollution Prevention
Studies in Cotton Textile Industry in Turkey.
Cleaner Technologies and Cleaner Products
for Sustainable Development.** Springer-Verlag
Berlin Heidelberg, Germany.
- Howard, L. N. 1986. **Textile Fibers, Finishes and
Processes a concise Guide.** Noyes publica-
tions. Park Ridge, New Jersey, USA.
- Michael, S., Clifford, R.W. and Paul, K.H. 1976.
Evaluation of Chemical-Biological and
Chemical-Physical Treatment for Textile
Dyeing & Finishing Waste. **JWPCF.** 4[48]:
753-761.
- Nadeem, H. 1994. **Cleaner Production in the Dyeing
Industry.** AIT thesis., Submitted in partial
fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Engineering, Thailand.
- Office of Enforcement and Compliance Assurance U.S.
Environmental Protection Agency. 1997.
**EPA Office of Compliance Sector Notebook
Project: Profile of Textile Industry.**
Washington, DC.
- Robert, N. 1993. **Pollution Prevention Technology
Handbook.** Noyes Publications, Park Ridge,
New Jersey, USA.