



การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด

**Adsorption of Color in Wastewater from Batik Processes Using Ground Brick**

พิเชษฐ์ หนูหมื่น

**Pichet Noomuen**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Technology and Environmental Management**

**Prince of Songkla University**

**2557**

**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

ชื่อวิทยานิพนธ์      การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด  
 ผู้เขียน                นายพิเชษฐ์ หนูหมื่น  
 สาขาวิชา              เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม)

..... ประธานกรรมการ  
 (ดร.วัชรวิดี ลิ้มสกุล)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

..... กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธ์วิศ สัมพันธ์พานิช)

.....  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ วงศ์นิรามัยกุล)

..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม)

..... กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ วงศ์นิรามัยกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ  
 การจัดการสิ่งแวดล้อม

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณ  
บุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(นายพิเชษฐ์ หนูหมื่น)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(นายพิเชษฐ์ หนูหมื่น)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด
ผู้เขียน	นายพิเชษฐ์ หนูหมื่น
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก ในขั้นตอนการล้างผ้า (น้ำล้างผ้า) และการต้มลอกเทียนออกจากเนื้อผ้า (น้ำต้มเทียน) จะมีการปนเปื้อนของสีและโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของสีที่ใช้ในการย้อม เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี โครเมียม แคดเมียม และ ซิลิกา ปะปนอยู่ สารดังกล่าวมีความเป็นพิษที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการบำบัดเพื่อลดความเข้มข้นของสาร ให้อยู่ในเกณฑ์ตามค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ เทคโนโลยีของการดูดซับสี (Adsorption) ที่ใช้อิฐมอญบดคัดขนาด 3 ขนาด ได้แก่ 2.0 mm 0.2-0.42 mm และขนาดเล็กกว่า 0.42 mm เป็นวัสดุดูดซับเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ปัจจัยต่าง ๆ ในการเปรียบเทียบ พบว่า อิฐมอญบดขนาดเล็กกว่า 0.42 mm มีความสามารถในการดูดซับสารละลายสีย้อมและโลหะหนักในน้ำทิ้งได้ดีที่สุด และการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำทิ้งให้เป็นกลาง ก่อนเข้ากระบวนการทดลองจะให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่าสภาวะปกติของน้ำทิ้งที่มีสภาวะเป็นด่าง สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมของอิฐมอญบดต่อน้ำทิ้งที่สามารถให้ผลการดูดซับ โลหะหนัก เช่นทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) ซิลิกา (Silica) และการบำบัดค่าความสกปรกเช่น กรด-ด่าง (pH) ความขุ่น (Turbidity) ความนำไฟฟ้า (Conductivity) ซีโอดี (COD) บีโอดี (BOD<sub>5</sub>) ของแข็งแขวนลอย (TSS) ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) คือ 1.0:1.0 และต้องมีชั้นความหนาของอิฐมอญบดไม่น้อยกว่า 5 cm อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการดูดซับของอิฐมอญบดจะลดลงเมื่อมีการใช้ซ้ำ นอกจากนี้การดูดซับโลหะหนัก และบำบัดค่าความสกปรกในบางพารามิเตอร์ ยังไม่สามารถให้ประสิทธิผลเป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นหากนำไปประยุกต์ในการใช้งานจริงเพื่อการบำบัดน้ำทิ้ง จึงควรควบคุมปัจจัยที่มีผลในการดูดซับของอิฐมอญตลอดจนพิจารณาวิธีการอื่นร่วมด้วย

คำสำคัญ: การขับ น้ำเสีย อิฐมอญบด และผ้าบาติก

<b>Thesis Title</b>	Adsorption of Color in Wastewater from Batik Processes Using Ground Brick
<b>Author</b>	Mr. Pichet Noomuen
<b>Major Program</b>	Technology and Environmental Management
<b>Academic</b>	2014

### ABSTRACT

In process of making batik fabric, rinse water from washing batik fabric and boiling water that used to remove the wax is contaminated with color and heavy metal in the dye, those heavy metal such as copper, lead, zinc, chromium, cadmium and silica mixed in that wastewater and it toxically effect to the environment directly. Therefore, It is necessary to treat water to to be good in standard score by law before releasing to natural water resource. In the study, We use adsorption technology by using the cracked red brick in 3 difference sizes: 2.0 mm. , 0.42-0.2 mm. and smaller than 0.42 mm. to be the adsorption material for the efficiency of treating wastewater. In comparison with various factors found that the cracked red brick which are smaller than 0.42 mm. can absorb the toxic substance and heavy metal in water the best and also adjusted the acidity and alkalinity (pH) of wastewater to standard score. Prior to the absorption experiment to adjust the alkalinity (pH) of wastewater, the suitable ratio of the cracked red brick to the amount of wastewater to absorb the heavy metal from wastewater such as copper (Cu), lead (Pb), zinc (Zn), chrome (Cr), cadmium (Cd), silica. And to adjust the acidity and alkalinity (pH), turbidity and conductivity of wastewater, COD, BOD<sub>5</sub>, suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS) is 1.0:1.0 and the thickness of cracked red brick layer is not less than 5 cm. However, the efficiency of the absorption is reduce when repeat the absorption on the same bricks. In addition, the absorption of heavy metal and the biochemical oxygen demand (BOD) in some parameters are unsatisfactory. Thus, the practical of using this wastewater treating system should concentrate the absorption ability of the bricks and also consider the other technique as well.

**Keywords:** Adsorption, Colored wastewater, Ground brick, and Batik

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ วงศ์นิรมัยกุล อาจารย์ภทรธร เอื้อกฤดาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายธาร ทองพร้อม ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงความช่วยเหลือมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วัชรวิดี ลิ้มสกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธ์วิศ สัมพันธ์พานิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณหัวหน้า คุณราเชนทร์ วิเทศวิทยานุศาสตร์ คุณฉวีวรรณ พรหมมา คุณโชคชัย ศิริวรรณ คุณวิชาญ รัตนานุกพงศ์ ที่สนับสนุนให้โอกาสในการศึกษาจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณปิณณ์ศญาณ์ ลักษณะวิลาส สำนักงานอุตสาหกรรม จังหวัดภูเก็ต ที่ได้อนุเคราะห์สนับสนุนข้อมูล ตลอดจนอำนวยความสะดวกอย่างดียิ่ง ในการติดต่อประสานงานกับกลุ่มผู้ประกอบการผ้าบาติกในจังหวัดภูเก็ต

ขอขอบพระคุณ คุณเฉลิม แสงจันทร์ ประธานคัลสเตอร์ผ้าบาติกภูเก็ต และโรงงานภูเก็ตบาติก ตลอดจนเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำในการศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี และการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ช่วยให้คำแนะนำ สนับสนุนช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาว น้องชาย ภรรยาและลูกชายทั้งสอง ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พิเศษฐ์ หนูหมื่น

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(13)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	6
2.1 ประวัติและกระบวนการทำผ้าบาติก	6
2.2 ประเภทและอันตราย ของโลหะหนักที่เกิดจากสีย้อมในกระบวนการทำผ้าบาติก	12
2.3 เทคโนโลยีการกำจัดโลหะหนัก	19
2.4 เทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption)	21
2.5 วัสดุดูดซับที่ใช้กับเทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption)	24
บทที่ 3 แผนการทดลองและวิธีการวิจัย	32
3.1 วัสดุ	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	32
3.3 วิธีการวิจัย	33
3.3.1 การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดกับวัสดุดูดซับอื่นด้วยสารละลายสีย้อม	33



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การศึกษาผลของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากสารละลายสีข้อม	34
3.3.3 การศึกษาผลของปริมาณอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับและไม่ปรับ pH	35
3.3.4 การศึกษาความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งแบบปรับและไม่ปรับ pH	37
3.3.5 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติก	39
<b>บทที่ 4 ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย</b>	<b>41</b>
4.1 การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดกับวัสดุดูดซับอื่นด้วยสารละลายสีข้อม	41
4.2 การศึกษาผลของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากสารละลายสีข้อม	42
4.3 การศึกษาผลของปริมาณอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับและไม่ปรับ pH	44
4.4 การศึกษาความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งแบบปรับและไม่ปรับ pH	47
4.4.1 ความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำต้มเทียน	48
4.4.2 ความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำล้างผ้า	50
4.5 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติก	51
4.5.1 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำต้มเทียน	53
4.5.2 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำล้างผ้า	56
<b>บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>61</b>

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการวิจัย	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	67
ประวัติผู้เขียน	75

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความสามารถและข้อจำกัดของเทคโนโลยีและวัสดุดูดซับสีย้อมแบบต่างๆ	20
2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	24
2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของแกลบ ชานอ้อย และ ขี้เลื่อยจากต้นไม้	25
2.4 ไอโซเทอมของการดูดติดผิวของโลหะหนัก ตามสมการ Freundlich โดยใช้ตัวดูดซับเป็นเบนโทไนต์	26
2.5 ไอโซเทอมของการดูดติดผิวของโลหะหนัก ตามสมการ Freundlich โดยใช้ตัวดูดซับเป็นดินลูกรังคองหงส์	26
2.6 ไอโซเทอมของการดูดติดผิวของโลหะหนัก ตามสมการ Freundlich โดยใช้ตัวดูดซับเป็นดินเหนียวเกาะยอ	27
2.7 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของ เบนโทไนต์ ดินลูกรังคองหงส์ และดินเหนียวเกาะยอ	27
2.8 ผลการตรวจวิเคราะห์น้ำเสียจากการย้อมกระดาษที่ผ่านการกรองด้วยอิฐมอญ	29
2.9 เปรียบเทียบสีที่ใช้ย้อมกระดาษ และ สีที่ใช้ย้อมผ้าบาติก	29
3.1 พารามิเตอร์สำหรับตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าบาติก	39
4.1 สัดส่วนปริมาตรต่อน้ำหนักของอิฐมอญบดอนุภาคนาขนาดเล็กกว่า 0.42 mm ที่ใช้บรรจุในชุดทดลอง	48
4.2 อัตราการไหลของน้ำตัวอย่าง ผ่านชั้นความหนาของอิฐมอญบด	51
4.3 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก	52
4.4 ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำดื่มเทียบ กรณีที่ไม่ปรับ pH	54
4.5 ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำดื่มเทียบ กรณีที่มีการปรับ pH	55
4.6 ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำล้างผ้า กรณีที่ไม่ปรับ pH	56

**รายการตาราง (ต่อ)**

<b>ตารางที่</b>	<b>หน้า</b>
4.7 ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำ ล้างฝ้ายกรณีที่มีการปรับ pH	57
4.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติ และราคาของวัสดุดูดซับที่มีจำหน่ายในท้องตลาดกับอิฐมอญ	60

## รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเตรียมผ้า	8
2.2 การเตรียมเทียนหรือผสมเทียน	9
2.3 การเขียนหรือพิมพ์ลาย	9
2.4 การแต้มหรือระบายสี	10
2.5 การเคลือบน้ำยาโซเดียมซิติเกด	10
2.6 การต้มเพื่อลอกเทียนออกจากผ้า	11
2.7 กระบวนการทำผ้าบาติก	12
2.8 โครงสร้างโดยทั่วไปของสิริแอกทีฟ	15
2.9 โครงสร้างของดินเหนียว	30
2.10 สนามแม่เหล็กโลก	31
3.1 การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดเทียบกับวัสดุดูดซับอื่น	34
3.2 การศึกษาผลของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากสารละลายสีข้อม	35
3.3 การศึกษาผลของปริมาณอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับและไม่ปรับ pH	36
3.4 ชุดทดลองที่ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 45 cm	38
3.5 การศึกษาความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งแบบปรับและไม่ปรับ pH	38
3.6 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติก	40
4.1 การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีของ ถ่านกัมมันต์ ทรายละเอียด และอิฐมอญบด	42
4.2 ผลการดูดซับสีของอิฐมอญบดขนาดอนุภาค 2.0 mm ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0	43
4.3 ผลการดูดซับสีของอิฐมอญบดขนาดอนุภาคระหว่าง 0.42-2.0 mm ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0	43

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ผลการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 mm ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0	44
4.5 น้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติก	44
4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กกว่า 0.42 mm จากน้ำต้มเทียนที่ไม่ได้ปรับ และปรับค่า pH	45
4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กกว่า 0.42 mm ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อน้ำต้มเทียน (ที่ปรับค่า pH) 0.5:1.0, 1.0:1.0 และ 1.5:1.0 ตามลำดับ	46
4.8 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กกว่า 0.42 mm จากน้ำล้างผ้าที่ไม่ได้ปรับ และปรับค่า pH	46
4.9 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กกว่า 0.42 mm ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อน้ำล้างผ้า (ที่ปรับ pH) 0.5:1.0, 1.0:1.0 และ 1.5:1.0 ตามลำดับ	46
4.10 ชุดทดลองที่ใช้สำหรับทดสอบความสามารถในการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่ได้มาจากระบวนการผลิตผ้าบาติก	48
4.11 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำต้มเทียนที่ไม่ปรับ pH	49
4.12 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำต้มเทียนที่ปรับ pH	49
4.13 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำล้างผ้าที่ไม่ปรับ pH	50
4.14 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำล้างผ้าที่ปรับ pH	50
4.15 น้ำล้างผ้า และน้ำต้มเทียน จากกระบวนการผลิตผ้าบาติก	52
4.16 ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กกว่า 0.42 mm ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 cm ในการลดปริมาณสี และความสกปรก จากน้ำต้มเทียนในกระบวนการทำผ้าบาติก ทั้งก่อนและหลังปรับ pH	58

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 mm ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 cm ในการลดปริมาณโลหะหนัก จากน้ำต้มเหียนในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH	58
4.18 ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 mm ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 cm ในการลดความสกปรก จากน้ำล้างผ้าในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH	59
4.19 ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 mm ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 cm ในการลดปริมาณโลหะหนัก จากน้ำล้างผ้าในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH	59

**สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ**

pH	Power of Hydrogen
COD	Determination of chemical Oxygen Demand
BOD <sub>5</sub>	Biochemical Oxygen Demand
TSS	Total Soluble Solids
TDS	Total Dissolved Solids
Cu	Copper
Pb	Lead
Zn	Zinc
Cr	Chromium
Cd	Cadmium
Si	Silica
SD	Standard deviation
Hg	Mercury
Ni	Nickel



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การผลิตผ้าบาติกเป็นการตกแต่งผ้าที่มีความเก่าแก่วิธีหนึ่ง แหล่งกำเนิดของผ้าบาติกมาจากที่ใดนั้น ยังไม่มีหลักฐานปรากฏแน่ชัด อย่างไรก็ตามพบว่าประเทศในภูมิภาคเอเชียอาคเนย์ ส่วนใหญ่มีการผลิตผ้าบาติก โดยเฉพาะในกลุ่มของชาวชวาในประเทศอินโดนีเซียจะมีเอกลักษณ์เฉพาะและกรรมวิธีที่ไม่เหมือนใคร ทำให้ผ้าบาติกที่ได้มีความสวยงามมากกว่าประเทศอื่น ๆ เช่น อินเดีย ญี่ปุ่น และมาเลเซีย เป็นต้น

สำหรับในประเทศไทยผ้าบาติกเป็นที่นิยม โดยเฉพาะจังหวัดต่างๆ ทางภาคใต้ ซึ่งได้นำผ้าบาติกมาใช้ในวงการตัดเย็บเสื้อผ้า ทำให้เป็นที่นิยมและเป็นที่ต้องการของผู้สวมใส่หลักฐานบ่งชี้ว่าในปี พ.ศ. 2518 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเป็นผู้เริ่มนำวิธีการผลิตผ้าบาติกเข้ามาเผยแพร่ในจังหวัดภูเก็ต เพื่อเป็นการเสริมสร้างอาชีพใหม่ในลักษณะอุตสาหกรรมภายในครัวเรือน โดยได้เริ่มดำเนินการเปิดฝึกอบรมให้กับผู้ที่มีความสนใจร่วมมือกับสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดภูเก็ต การผลิตผ้าบาติกที่รู้จักในขณะนั้น เป็นบาติกระบายหรือบาติกเขียนด้วยมือ (Batik Tulis) โดยในระยะเริ่มต้นก็เป็นที่รู้จักกันเพียงกลุ่มเล็ก ๆ ยังไม่ค่อยแพร่หลายมากนัก ภาครัฐก็ยังไม่ค่อยให้การสนับสนุนอย่างจริงจังจนกระทั่งในปี 2528 เป็นต้นมา (บุญชัย ชรรมดิระวุฒิ, 2552) และได้รับความนิยมอย่างมากในช่วงปี 2546 ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นยุคทองของผ้าบาติก เนื่องจากมีการเข้าไปส่งเสริมให้กลุ่มต่าง ๆ ผลิตผ้าบาติกเป็นจำนวนมาก จนเกิดอุตสาหกรรมทำผ้าบาติกทั้งจังหวัดมากกว่า 60 แห่ง

ต่อมาความนิยมผ้าบาติกก็เริ่มลดลง เนื่องจากผู้ประกอบการผลิตผ้าบาติกในภูเก็ตต่างแข่งขันกันเองทำให้ไม่มีการพัฒนารูปแบบของผ้าบาติก ส่งผลให้ผู้ประกอบการผลิตผ้าบาติกค่อย ๆ ลดลงกว่า 80% จนเหลืออยู่ไม่ถึง 20 ราย ต่อมาในปี 2554 ได้มีการจัดตั้งคลัสเตอร์ผ้าบาติกภูเก็ตขึ้นภายหลังจากที่ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 10 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ได้มอบหมายให้บริษัท เอ็น พี ซินคัง คอลซัลแท็นซ์ จำกัด เข้ามาศึกษาและดำเนินการรวมกลุ่มผู้ผลิตผ้าบาติกในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต เพื่อผลักดันให้ผู้ประกอบการผ้าบาติกภูเก็ตพัฒนาศักยภาพ ในการแข่งขันของอุตสาหกรรมผ้าบาติกให้สามารถรับมือกับกระแสการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และสามารถเติบโตได้

อย่างต่อเนื่อง คลัสเตอร์ผ้าบาติกภูเก็ตใช้เวลาในการดำเนินงานประมาณ 9 เดือนภายใต้การสนับสนุนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้มีการพัฒนาผ้าบาติกแนวใหม่ขึ้น และได้กำหนดยุทธศาสตร์ของผ้าบาติกปี 2554-2558 ภายใต้วิสัยทัศน์ที่ว่า “คลัสเตอร์บาติกภูเก็ตเป็นศูนย์บูรณาการบาติกของประเทศไทย ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ” โดยกำหนดประเด็นยุทธศาสตร์การพัฒนา 5 ประเด็น และโครงการต่าง ๆ จำนวน 27 โครงการ และจะทำให้ผ้าบาติกเป็นอีกหนึ่งอัตลักษณ์ของจังหวัดภูเก็ต นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนส่งเสริมจากภาครัฐโดยเฉพาะ โครงการเพิ่มมูลค่าสิ่งทอด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงที่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอของไทยตลอดทั้งกระบวนการ ได้แก่ การพัฒนาเส้นใยผ้า การออกแบบและตัดเย็บ บรรจุภัณฑ์ การตลาด การประชาสัมพันธ์ ตลอดจนจนถึงการบูรณาการร่วมกับพื้นที่ ทั้งนี้ เพื่อรองรับการแข่งขันเสรีการค้าในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนปี 2558 จึงเป็นเหตุให้การเจริญเติบโตและการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตผ้าบาติกมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ

โดยทั่วไปกรรมวิธีในการผลิตผ้าบาติกไม่ซับซ้อนมากนัก มีขั้นตอนง่าย ๆ คือ การเขียนเทียน การแต้มหรือย้อมสี การลอกเทียนและการล้างสีออกจากผ้า ซึ่งในทุก ๆ ขั้นตอนการผลิตจะต้องมีความประณีต ละเอียด พิถีพิถัน จึงจะทำให้ผ้าบาติกที่ได้มีความสวยงาม ผลงานที่สำเร็จออกมาจึงจะมีคุณภาพที่ดี มีลักษณะเป็นงานด้านหัตถอุตสาหกรรมและเป็นงานด้านศิลปอยู่ในตัว แต่อย่างไรก็ตามการผลิตผ้าบาติก ในขั้นตอนของการลอกเทียนและการล้างสีออกจากผ้า นั้น ต้องนำผ้าไปต้มเพื่อให้สีละลายออกมา ซึ่งนอกจากน้ำเทียนแล้วยังมีน้ำสีส่วนเกินที่ระเหยลงในลวดลายของผ้าบางส่วนหลุดออกมาด้วย รวมไปถึงขั้นตอนการล้างสีออกจากผ้าก็ทำให้มีสีส่วนเกินปนเปื้อนออกมากับน้ำทิ้งจากการผลิตผ้าบาติกด้วย โดยสีดังกล่าวมีองค์ประกอบของโลหะหนักต่างๆ เช่น ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) (วัลย์ลักษณ์ กิจชนะพานิช, 2542) และซิลิกา (Si) ที่เกิดมาจากการใช้สารโซเดียมซิลิเกต (Sodiumsilicate,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) เนื่องจากการผลิตผ้าบาติกส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กในครัวเรือน หรือรวมกลุ่มกันทำในชุมชนเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่กระจุกกระจายอยู่ทั่วไปในจังหวัดภูเก็ต อุตสาหกรรมจังหวัดหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอาจเข้าไปดูแลควบคุมได้ไม่ทั่วถึง ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตอาจไม่ได้มีการบำบัดหรือมีการบำบัดที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นสี (โลหะหนัก) ปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในทางตรงและทางอ้อม เพราะน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นและค่า pH สูง นอกจากเป็นที่พึงรังเกียจต่อผู้พบเห็นแล้วยังขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำด้วย (ปรีชา กสิกรรมไพบูรณ์, 2543) ดังนั้น น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกจึงควรบำบัดให้มี

ปริมาณมลพิษต่าง ๆ ไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนจะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีและโลหะหนัก ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) การสร้างตะกอน (Coagulation) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) การกรอง (Filtration) การระเหย (Evaporation) การดูดซึม (Absorption) และการดูดซับ (Adsorption) เป็นต้น โดยในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีและโลหะหนักต่างๆ ที่กล่าวมา อาจจำเป็นต้องมีระบบการบำบัดขั้นต้นมาก่อน เพื่อลดภาระและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาของระบบ ทำให้เกิดความยุ่งยากซับซ้อนในการเดินระบบและยังรวมไปถึงมีค่าใช้จ่ายสูงในการบำบัด อาจไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แต่ในขณะที่เทคโนโลยีของการดูดซับ (Adsorption) นั้นเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการทักษะในการเดินระบบมากนัก และสามารถเลือกใช้วัสดุดูดซับที่มีราคาไม่แพงและหาได้ง่ายในท้องถิ่น (Jai and Wook, 2007) เช่น การประยุกต์ใช้เปลือกของต้นยูคาลิปตัส มาใช้กำจัดสีจากน้ำทิ้งสีข้อม (Morais and Freitas, 1997) การใช้เปลือกไข่และถั่วแกลบกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย (อัจฉรา ดวงเดือน, 2545) การประยุกต์ใช้เปลือกถั่วลิสงและขี้เลื่อยในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสีข้อม (Shukla and Roshan, 2004) การนำขยะมูลฝอยเกษตรมาใช้ในการกำจัดสีข้อมและโลหะหนักจากน้ำทิ้ง (Namasivayam and Sangeetha, 2006) การเลือกใช้เปลือกไข่มาผ่านกรรมวิธีการบดเพื่อดูดซับโลหะหนัก (Jai and Wook, 2007) การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้ไคโตแซนที่ได้มาจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู (เกษม สีดอกบวบ, 2543, Crini, 2007) การใช้ดินเหนียวในการดูดซับโลหะหนัก (แหวตาทองระอา, 2550) การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากเปลือกทับทิม มาใช้กำจัดน้ำเสียที่มีสี (Nevine and Kamal, 2008) และการใช้อิฐมอญกำจัดสีจากน้ำทิ้งสีข้อมจากอุตสาหกรรมกระดาษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) เป็นต้น นอกจากนี้ ดร.ลาวัญญ์ วิจารณ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ผู้ศึกษาเรื่องการจัดการน้ำในชุมชนกล่าวว่า สมัยเรียนปริญญาเอก มีโอกาสการทำวิจัยศึกษาภูมิปัญญาการบำบัดน้ำเสียของประชาชน จึงพบว่าวิธีที่ดีที่สุดของการแก้ไขปัญหาน้ำเสียคือ การเรียนรู้จากภูมิปัญญาชาวบ้าน เพราะองค์ความรู้ที่คนท้องถิ่นสั่งสมมาเป็นสิ่งที่มีคุณค่า สามารถแก้ปัญหาได้อย่างยั่งยืน ตัวอย่างเช่น ชุมชนบ้านศาลาแดง อำเภอสามโคก จ.ปทุมธานี ซึ่งเป็นชุมชนคนมอญ มีการนำอิฐมอญซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดีมาใช้ในการดักของเสียก่อนลงสู่แม่น้ำ

นอกจากนี้ ลาวัญญ์ วิจารณ์ (ปี 2552) ได้มีการศึกษาการจัดการน้ำในชุมชนโดยใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านด้วยการนำอิฐมอญซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในชุมชนบ้านศาลาแดง อำเภอสามโคก จ.ปทุมธานี ซึ่งเป็นชุมชนชาวมอญ และอิฐมอญยังเป็นวัสดุที่

หาได้ทั่วไปในท้องถิ่นราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับอื่นที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นเทคโนโลยีการดูดซับจึงอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสี และโลหะหนักจากอุตสาหกรรมผลิตผ้าบาติกขนาดเล็ก

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกด้วยเทคโนโลยีของการดูดซับ (Adsorption) โดยใช้อิฐมอญบดคัดขนาด เป็นวัสดุดูดซับ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงขนาดของอนุภาคของอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพของการกำจัดสีและโลหะหนักจากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับสีและโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษานำมาจากขั้นตอนการลอกเทียนออก โดยการต้ม (น้ำต้มเทียน) และขั้นตอนการล้างน้ำทำความสะอาดผ้า (น้ำล้างผ้า) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากคลัสเตอร์ผ้าบาติกภูเก็ต 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 1 เดือน

1.3.2 ตัวอย่างน้ำเสียถูกนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในห้องปฏิบัติการของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และพักไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลอง

1.3.3 อิฐมอญที่ใช้ในการศึกษาเป็นอิฐมอญที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยซื้อจากร้านค้าวัสดุในจังหวัดภูเก็ตนำมาทุบและบดอิฐมอญด้วยค้อนก่อนนำไปคัดขนาดอนุภาคของอิฐมอญ

1.3.4 ในการศึกษาทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น โดยศึกษาถึงขนาดอนุภาคของอิฐมอญบดที่เหมาะสมในการดูดซับ ศึกษาปริมาณและชั้นความหนาของอิฐมอญบดที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการดูดซับตลอดจนสภาวะเป็นกรด-ด่างที่ทำให้อิฐมอญบดมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพของอิฐมอญอบคในการดูดซับสี และการบำบัดความสกปรกของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

1.4.2 ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมของอิฐมอญอบคที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับสี และบำบัดความสกปรกของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับสถานประกอบการต่อไป

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 เทคโนโลยีของการดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ละลายอยู่ในของเหลว ก๊าซและของแข็งให้ติดบนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก นี้เรียกว่า Adsorbed ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid-Solid Interface)

1.5.2 น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ใน ของเหลวนั้น (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พ.ศ.2539)

1.5.3 สารละลายสีย้อม หมายถึง การนำสีย้อมผ้าบาติกแบบผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมาทำละลายกับน้ำกลั่น โดยการศึกษาที่ใช้สีย้อมผ้าบาติกแบบผงปริมาณ 1 mg มาทำละลายกับน้ำกลั่น ปริมาตร 2 L เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

1.5.4 น้ำต้มเทียน หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกในขั้นตอนของการนำผ้าไปต้มเพื่อลอกลายเส้นของเทียนออกจากเนื้อผ้าซึ่งนอกจากสีย้อมและโซเดียมซัลไฟต์แล้ว ในน้ำต้มเทียนนั้นยังมีส่วนผสมของสบู่ หรือผงซักฟอกและน้ำส้มสายชูผสมอยู่ด้วยโดยจะแตกต่างกันไปตามเทคนิคการผลิตของแต่ละที่

1.5.5 น้ำล้างผ้า หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกในขั้นตอนของการนำผ้าไปล้างทำความสะอาดในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากเนื้อผ้า

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ประวัติและกระบวนการทำผ้าบาติก

งานทำผ้าบาติกเป็นงานฝีมือที่มีประวัติความเป็นมาที่เก่าแก่ประมาณ 2,000 กว่าปีมาแล้ว ส่วนแหล่งกำเนิดของผ้าบาติกมาจากไหนยังไม่เป็นที่ยุติ นักวิชาการชาวยุโรปหลายคนเชื่อว่ามีในอินเดียก่อนที่อื่นๆ แล้วจึงแพร่หลายเข้าไปในอินโดนีเซีย อีกหลายคนว่ามาจากอียิปต์หรือเปอร์เซีย แม้ว่าจะได้มีการค้นพบผ้าบาติกที่มีอายุเก่าแก่ในประเทศอื่น ทั้งอียิปต์ อินเดีย และญี่ปุ่น แต่บางคนก็ยังเชื่อว่า ผ้าบาติกเป็นของดั้งเดิมของอินโดนีเซีย และยืนยันว่าศัพท์เฉพาะที่เรียกวีธีการและขั้นตอนในการทำผ้าบาติก เป็นศัพท์ภาษาอินโดนีเซีย สีที่ใช้ย้อมก็มาจากพืชที่มีในอินโดนีเซีย ทั้งสีที่เขียนลายที่ใช้เขียนลายก็เป็นของอินโดนีเซีย ไม่เคยมีในอินเดียเลย เทคนิคที่ใช้ในอินโดนีเซียสูงกว่าที่ทำการในอินเดีย และการทำโรงบาติกหรือโรงปาเต๊ะเป็นวัฒนธรรมดั้งเดิมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ก่อนติดต่อกับอินเดีย (บุญชัย ธรรมดิระวุฒิ, 2552)

จากการทบทวนการศึกษาของบุคคลต่างๆ สามารถกล่าวได้ว่าแม้ว่าจะมีการค้นพบลักษณะผ้าบาติกในดินแดนอื่น ๆ นอกจากอินโดนีเซีย แต่ก็ยังเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละท้องถิ่น ซึ่งวิธีการปลีย่อยจะแตกต่างกันตามวิธีการทำผ้าของชาติต่าง ๆ ที่จะให้มีลวดลายสีสัน ส่วนผ้าบาติกของอินโดนีเซียเองนั้น คงไม่ได้รับการถ่ายทอดมาจากชาติอื่น ในทางกลับกันที่ระยะต่อมาการทำผ้าบาติกของอินโดนีเซีย ได้รับการเผยแพร่ไปยังชาติอื่นๆ ส่วนการทำผ้าโรงบาติกนั้น คาดว่าน่าจะมีกำเนิดจากอินโดนีเซีย ก่อนข้างแน่นอน (สิริพิชญ์ เหลืองสุวรรณ, 2547)

ในประเทศไทย มีการทำผ้าบาติกเป็นอุตสาหกรรมกันมานานแล้ว ซึ่งได้มีการผลิตในหลายจังหวัดทางภาคใต้ เช่น ยะลา ปัตตานี สงขลา นราธิวาส และในภาคกลางก็มีทำกันอย่างเช่น กรุงเทพมหานคร นอกจากนี้ยังมีการผลิตผ้าบาติกในสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงต่างๆ เช่น ภูเก็ต เกาะสมุย เชียงใหม่ และพัทยา เป็นต้น แต่การแพร่หลายของผ้าบาติกนั้น เริ่มเข้ามาทางจังหวัดชายแดนของภาคใต้ โดยได้รับอิทธิพลมาจากมาเลเซีย ซึ่งมาเลเซียเองก็ได้รับอิทธิพลมาจากอินโดนีเซียอีกทอดหนึ่ง

ในปัจจุบันบาติกลายเขียนได้รับการพัฒนาและแพร่หลายมาก ทำให้สามารถผลิตผ้าได้หลายรูปแบบดีกว่าเดิม และสามารถขายได้ราคาที่ดีกว่าบาติกพิมพ์ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรม

ผ้าบาติกในภาคใต้ หันมาผลิตผ้าบาติกลายเขียน เกิดการแข่งขันในตลาดโดยแสดงลักษณะงานที่มีรูปแบบและเอกลักษณ์ของตนเอง จนทำให้ผ้าบาติกบางชิ้นกลายเป็นจิตรกรรมที่มีราคาสูงกว่าผ้าบาติกทั่วไป ผ้าที่นิยมทำกันมาก ได้แก่ ผ้าโสร่ง ผ้าซิ่น และเครื่องนุ่งห่มต่างๆ เช่น เสื้อผ้าสำเร็จรูป เป็นต้น ด้วยรูปแบบวิธีการ วัสดุอุปกรณ์และกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้

### 2.1.1 วิธีการผลิตผ้าบาติกในสมัยดั้งเดิมใช้วิธีการเขียนด้วยเทียน (Wax- Writing)

ดังนั้นผ้าบาติกจึงเป็นลักษณะผ้าที่มีวิธีการผลิตโดยใช้เทียนปิดในส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี แม้ว่าวิธีการผลิตผ้าบาติกในปัจจุบันจะก้าวหน้าไปมากแล้วก็ตาม แต่ลักษณะเฉพาะประการหนึ่งของผ้าบาติกก็คือ ยังคงใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี หรือปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสีซ้ำอีก ซึ่งเทคนิคในการผลิตผ้าบาติกในประเทศไทยโดยทั่วไปนั้นมียุคด้วยกัน 4 วิธี คือ

2.1.1.1 บาติกลายพิมพ์ด้วยแม่พิมพ์โลหะ ไม้ และเชือก และนำไปย้อม 3-4 ครั้ง

2.1.1.2 บาติกลายเขียน คือ เขียนเทียนลงบนผ้า นำไปย้อม อาจมีการปิดเทียนเพื่อเก็บสี และย้อมอีก 1 – 2 ครั้ง

2.1.1.3 บาติกลายเขียนและระบายสีนั้นเป็นการเขียนเทียนบนผ้าแล้วระบายสีทั่วทั้งผืน

2.1.1.4 บาติกกันเทียน ลัดสี ของจังหวัดลำพูน

### 2.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการทำผ้าบาติกหลักๆ ที่ใช้ในการทำผ้าบาติก มีดังนี้

2.1.2.1 อุปกรณ์ในการเขียนเทียน เรียกว่า "ชันตัง" (Tjanting)

2.1.2.2 จี๊ซิ่ง เทียนไขผสมในอัตราส่วนที่ต้องการ เช่น อัตราส่วนจี๊ซิ่งต่อพาราฟิน 1:2 เพื่อให้เทียนมีความเหนียวและ 1:8 หากต้องการให้เทียนเกิดรอยแตก (Crack) ง่าย เป็นต้น

2.1.2.3 ผ้าที่ใช้ เช่น ผ้ามัดสลิน ผ้าไหม เป็นต้น

2.1.2.4 กรอบไม้สำหรับจิงผ้า

2.1.2.5 ภาชนะใส่น้ำเทียน

2.1.2.6 เตาไฟฟ้า

2.1.2.7 กรรไกรตัดผ้า

2.1.2.8 แก้วผสมสี และภาชนะใส่น้ำสี

2.1.2.9 น้ำร้อน-น้ำเย็น ใช้สำหรับผสมสี

2.1.2.10 เตารีด

2.1.2.11 พู่กัน ใช้เบอร์ 6, 8, 12 ปลายแหลม หรือปลายตัดขึ้นอยู่กับความต้องการใช้

2.1.2.12 สีที่ใช้แต้ม หรือ ย้อม เช่น สีรีแอกทีฟและสีแวต เป็นต้น

- 2.1.2.13 สารเคมีที่ใช้ในการย้อม เช่น โซดาแอส (โซเดียมคาร์บอเนต) เป็นต้น
- 2.1.2.14 โซเดียมซัลไฟเกต ใช้สำหรับให้สีสนิทกับผ้าได้ดี
- 2.1.2.15 กะทะความร้อนสำหรับไว้ต้มเทียนออกจากผ้า
- 2.1.2.16 อ่างหรือกะละมังสำหรับล้างน้ำสีออกจากผ้าในขั้นตอนสุดท้าย

2.1.3 จากการศึกษากระบวนการผลิตผ้าบาติก (บุญชัย ธรรมศิริวุฒิ, 2552) พบว่ากระบวนการในการผลิตผ้าบาติกโดยทั่วไปนั้นมีขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

#### 2.1.3.1 การเตรียมผ้า (รูปที่ 2.1)

โดยในขั้นตอนการเตรียมผ้า นั้นควรเลือกผ้าให้เหมาะสม ผ้าที่ใช้ในการทำผ้าบาติก ได้แก่ ผ้าที่ทำจากธรรมชาติ ที่นิยมกัน คือ ฟ้าย ลินิน ปอ และผ้าไหม ผ้าที่นำมาทำนี้จะต้องไม่หนาเกินไป เพราะน้ำเทียนจะไม่สามารถซึมผ่านอีกด้านหนึ่งได้ และก่อนนำไปเขียนเทียนควรนำไปต้มด้วยน้ำด่าง โซดาอ่อน เพื่อช่วยขจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนผิวผ้า โดยใช้สารเคมี ดังนี้ โซดาแอชหรือผงซักฟอก 1 กรัม/ลิตร HaOH 1 กรัม/ลิตร สบู่เทียม (Wetting Agent) 1 กรัม/ลิตร จากนั้นจึงนำผ้าที่ผ่านการต้มแล้ว ไปเขียนเทียน และลงสีต่อไป การย้อมผ้าบนไม้เฟรมสามารถใช้เทียนที่เราเขียนบาติกซึ่งหลอมละลายให้เหลว แล้วใช้เศษผ้าจุ่มลงในเทียนขณะที่ยังร้อนแล้วทาบนเฟรมไม้ปล่อยให้เทียนเย็นเกาะติดไม้ หากผ้ายังไม่ตรงตามที่ต้องการก็สามารถปรับตกแต่งได้ถ้าผ้ายังไม่ดีก็จะทำให้ขั้นตอนอื่นๆ ไม่ดีไปด้วย



รูปที่ 2.1 การเตรียมผ้า



### 2.1.3.2 การเตรียมเทียนหรือผสมเทียน (รูปที่ 2.2)

โดยเทียนที่ใช้นั้น ได้จากการผสมระหว่างขี้ผึ้ง (Wax) และ พาราฟิน (Paraffin) ในอัตราส่วน 1:1 หรือ 1:2 และไม่ควรเกิน 1:12 เพราะจะทำให้เทียนใสเกินไปไม่เกาะติดบนผ้า หรือบางครั้งอาจจะผสมยางสน หรือไขสัตว์ เพื่อช่วยให้เทียนแข็งและเปราะ ขั้นตอนการเขียนเทียนนั้น ควรเริ่มจากบริเวณริมขอบผ้าก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าเส้นเทียนได้ขนาดตามต้องการแล้ว จึงจะเริ่มเขียนจริง เมื่อใช้ปากกาเขียนเทียนดักน้ำเทียนจำเป็นจะต้องใช้กระดาษทิชชูมาซับน้ำเทียนบริเวณรอบนอกตัวปากกาเขียนเทียนทุกครั้ง เพื่อมิให้เทียนหยดลงบนชิ้นงาน



รูปที่ 2.2 การเตรียมเทียนหรือผสมเทียน

### 2.1.3.3 การเขียนหรือพิมพ์ลาย (รูปที่ 2.3)

เป็นการปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้สีติดแล้วนำไปลงสีในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการทำผ้าบาติก การเขียนเทียนด้วยชันตั้งจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับงานบาติกลายเขียน ซึ่งจะได้เส้นเทียนที่มีขนาดเล็ก และสามารถเขียนรายละเอียดต่าง ๆ ได้มาก ส่วนการพิมพ์ลายจะเป็นวิธีที่ทำลายเทียนด้วยแม่พิมพ์ ลายที่ได้ค่อนข้างเป็นลายซ้ำ ๆ และมีลวดลายไม่ซับซ้อนมากนัก ส่วนการร่างภาพบนผ้า ถ้าหากมีแบบอยู่แล้วก็สามารถสอควไว้ได้ผ้า แล้วเขียนเส้นร่างตามที่มองเห็นจากด้านบนได้เลย



รูปที่ 2.3 การเขียนหรือพิมพ์ลาย

#### 2.1.3.4 การแต้มหรือระบายสี (รูปที่ 2.4)

ใช้สีผงที่เป็นสีสำเร็จรูปสำหรับวาดิกโดยเฉพาะ 10 กรัม หรือ 2 ซ้อนกาแฟเล็ก กับน้ำต้มสุกประมาณ 8-10 ซ้อนโต๊ะ ละลายให้เข้ากัน นำไประบายได้ตามต้องการการระบายสี



รูปที่ 2.4 การแต้มหรือระบายสี

#### 2.1.3.5 การเคลือบน้ำยาโซเดียมซิลิเกต (รูปที่ 2.5)

เพื่อเป็นการทำให้สีติดบนผืนผ้าอย่างถาวร โดยใช้พู่กันทาหรือระบายให้ทั่วทั้งไว้ 3-6 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย แล้วนำผ้าไปล้างน้ำยาออก



รูปที่ 2.5 การเคลือบน้ำยาโซเดียมซิลิเกต

### 2.1.3.6 การลอกเทียนออกจากผ้า (รูปที่ 2.6)

มีวิธีการคือต้มน้ำให้เดือด จากนั้นใส่ผงซักฟอก ประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ/น้ำ 1 ลิตร นาน 30-40 นาที จะได้ผ้าบาติกที่คุณภาพดีสีไม่ตก การต้มผ้า เป็นการลอกเอาเส้นเทียนออกจากตัวผ้า โดยต้มในน้ำเดือด ใส่ผงซักฟอก หรือสบู่เหลว ประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ ต่อน้ำ 20 ลิตร โดยจุ่มผ้าลงไปให้น้ำเดือดให้จมนทั้งผืน แล้วค่อยๆ ยกขึ้นมา สังเกตว่าเส้นเทียนหลุดออกหมดหรือยัง ห้ามต้มเช้ไว้นานเป็นอันขาดจะทำให้ผ้าเสียได้ หากมีชิ้นงานเป็นจำนวนมากควรใช้ถังต้ม 2 ใบ โดยถังต้มใบแรกเป็นน้ำ เพื่อเอาเทียนออกก่อน แล้วถึงต้มใบที่ 2 ใช้น้ำผสมผงซักฟอก หรือสบู่เหลว เพื่อขจัดคราบไขมันของเทียนออก หลังจากต้มผ้า หรือลวกผ้าเพื่อเอาเส้นเทียนออกแล้ว จะมีเศษเทียนเกาะอยู่บ้าง ควรทำการขยี้ผ้าเบาๆ ในน้ำผงซักฟอกเพื่อให้เศษเทียนหลุดออกเช่นน้ำเปล่าทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปตากเพื่อให้สีส่วนเกินหลุดออกให้หมด



รูปที่ 2.6 การลอกเทียนออกจากผ้า

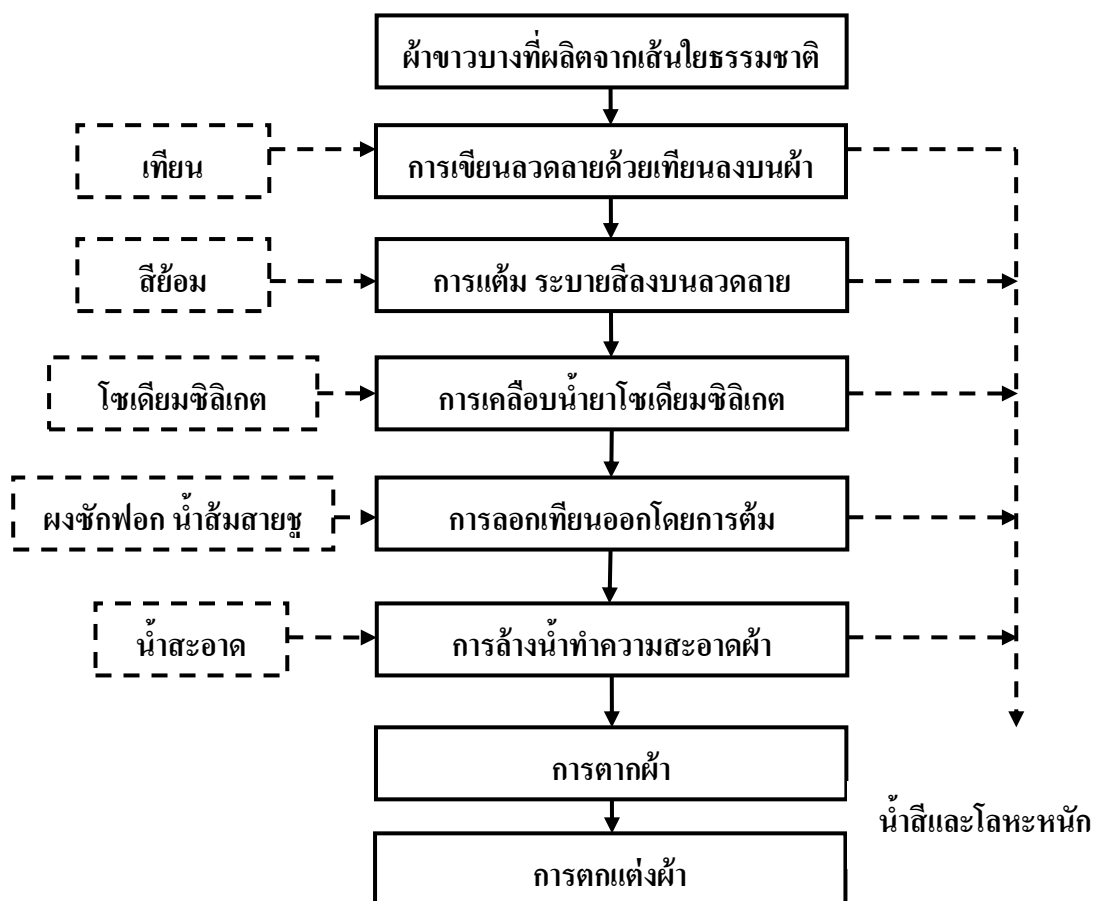
### 2.1.3.7 การตากผ้า

ควรบิดน้ำออกพอหมาดๆ ด้วยมือ หรือใช้เครื่องซักผ้าปั่นแล้วนำไปตาก โดยกางออกทั้งผืน ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งวางซ้อนกัน ใช้ที่หนีบผ้าหนีบไว้ การตากควรตากไว้ในที่ร่ม หรือฝั่งแดดเมื่อแห้งแล้วให้รีบเก็บ อย่าปล่อยให้แห้งไว้นานอาจทำให้สีซีดได้

### 2.1.3.8 การตกแต่งผ้า

เป็นการเก็บรายละเอียดของชิ้นงาน เช่น แขน่ย้ายกันสีตก ตกแต่งผิวผ้า การรีด การอัด ซึ่งขั้นตอนในการตกแต่งนี้ ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมบาติก เพื่อเป็นการดึงดูดใจลูกค้า ถ้าเป็นการทำผ้าบาติกงานฝีมือหรือในครัวเรือนใช้เพียงวิธีการรีดให้เรียบก็พอ

ดังนั้นขั้นตอนในการทำผ้าบาติกดังกล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงเป็นขั้นตอน โดยสรุปดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยในการศึกษานี้ จะนำเอาน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติก ใน ขั้นตอนการต้มเทียนและการล้างทำความสะอาดผ้าไปศึกษาความสามารถของอิฐมอญบด ในการ ดูดซับสีกับ โลหะหนักและบำบัดความสกปรกของน้ำ



รูปที่ 2.7 กระบวนการทำผ้าบาติก

## 2.2 ประเภทและอันตรายของโลหะหนักที่เกิดจากสีย้อมในกระบวนการทำผ้าบาติก

### 2.2.1 ประเภทของสีที่นิยมใช้ในการทำผ้าบาติก

สีที่ใช้ในการทำผ้าบาติกมีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและการใช้กับผ้าชนิดต่างๆ การเลือกใช้สีสำหรับย้อมหรือระบายผ้าบาติก ควรเลือกใช้สีที่ติดในสภาพเย็น เนื่องจากการย้อม และการระบายสีบาติกที่ไม่ใช้ความร้อนเพราะบาติกมีการเขียนเส้นเทียนหรือพิมพ์ลายเทียนจะทำให้เทียนละลายหลุดลอก จนทำให้ไม่สามารถกั้นสีได้ อีกทั้งเทียนที่ใช้ในการเขียนผ้าบาติกไม่ทน

ต่อสารเคมีที่มีความเข้มข้นสารเคมีเหล่านี้ อาจจะทำให้ปฏิกิริยากับเทียน ทำให้เทียนหลุดลอกจากผ้าได้ และขั้นตอนสุดท้ายของการทำผ้าบาติก ต้องมีการต้มละลายเทียนในน้ำร้อน เพื่อทำความสะอาดให้เทียนหลุดลอก สีบางประเภทไม่ทนต่อความร้อน อาจทำให้สีหลุดลอกหรือจางได้ สีที่นิยมนำมาใช้ในการทำผ้าบาติกโดยใช้เทคนิคระบาย (Painting) คือสีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes) ชนิด Vinyl Sulfone หรือที่เรียกว่า Remazol dyes เนื่องจากสีรีแอคทีฟ เป็นสีที่ละลายได้ทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด ติดผ้าได้ง่าย สีสดใส ย้อมผ้าติดได้เร็ว ผ้าติดสีได้สม่ำเสมอ ผสมสีได้ดี

สีย้อม (Dyestuffs) คือสีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือว่าสารอนินทรีย์มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้และบางชนิดไม่สามารถละลายน้ำได้แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อม จะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (Ionic Bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง ซึ่งสีย้อมที่ปรากฏนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้น มีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานที่สายตามองเห็น จะมีความยาวคลื่นช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกันไป ซึ่งสายตาสถาสามารถรับภาพได้ทำให้โมเลกุลสีย้อมที่ต่างกัน แสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาสถาออกมาแตกต่างกันไป ทั้งนี้สามารถแบ่งสีออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สีย้อมธรรมชาติ (Natural Dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชและสัตว์ เช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นคราม สีแดงจากรากต้นเข็ม สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น ส่วนสีสังเคราะห์ หมายถึง สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ สีบางชนิดมาจากโลหะหรือจากหินสีทำให้บดยากจำเป็นต้องหดยอดแอลกอฮอล์ลงไปเล็กน้อย เพื่อช่วยให้สีเข้ากันเป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสีทั้ง 2 ประเภท พบว่า สีสังเคราะห์มีราคาถูกกว่าและให้สีที่มีความสม่ำเสมอกว่า และให้สีในช่วงที่กว้างกว่า นอกจากนี้ยังมีขายทั้งในรูปแบบแม่สีและสีผสมในรูปแบบผง ในรูปสารละลายและสารละลายแขวนลอย ซึ่งสะดวกต่อการเลือกใช้ ดังนั้นผู้ใช้จึงนิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่าสีธรรมชาติ แม้ว่าสีธรรมชาตินั้นจะปลอดภัยมากกว่าสีสังเคราะห์ก็ตาม การจำแนกสีย้อมสังเคราะห์อาจแบ่งได้ 2 วิธีดังนี้

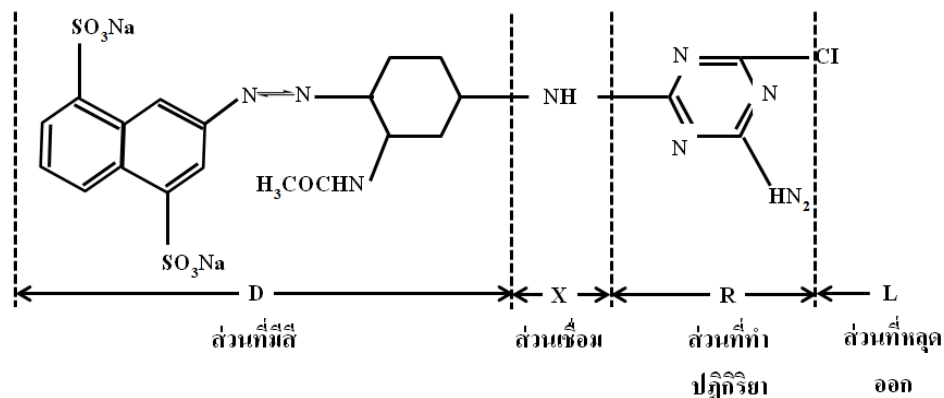
### 2.2.1.1 จำแนกประเภทตามโครงสร้างทางเคมี

การจำแนกประเภทด้วยวิธีนี้อาจจำแนกโดยละเอียดได้ 20 ประเภท แต่ที่สำคัญ 5 ประเภท เรียงลำดับตามปริมาณสีที่ใช้จากมากไปหาน้อย ได้แก่ สีอะโซ (Azo Dyes) สีแอนทราควิโนน (Anthraquinone Dyes) สีไตรฟีนิลมีเทน (Triphenyl Methane Dyes) สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes) และสีอินดิโกอยด์ (Indigoids Dyes)

### 2.2.1.2 การจำแนกสีย้อมตามกรรมวิธีการย้อม

ในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีการย้อมออกเป็น 11 ประเภท โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คุณสมบัติของสีย้อม ความคงทนต่อการซัก ความคงทนต่อแสงคงทนต่อความร้อน ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป อันได้แก่ สีแอซิด (Acid Dyes) สีเบสิก (Basic Dyes) สีไดเร็กต์ (Direct Dyes) สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes) สีดีสเพอร์ส (Disperse Dyes) สีแว้ท (Vat Dyes) สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes) สีมอร์ดันต์ (Mordant Dyes) สีอะโซอิก (Azoic Dyes) สีออกซิเดชัน (Oxidation Dyes) และสีอินแกรน (Ingrain Dyes) แต่ที่นิยมใช้กับการทำผ้าบาติกมากที่สุดจะเป็นสีรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นสีย้อมที่สามารถทำปฏิกิริยาให้เกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใยในสภาวะที่เหมาะสมได้ สามารถละลายน้ำได้ ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในเส้นใยเซลลูโลสได้พันธะโคเวเลนต์ที่มีความแข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างสีไดเร็กต์กับเส้นใยเซลลูโลสมาก จึงมีความคงทนต่อการซักได้ดี โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ สารหรือกลุ่มเคมีที่ทำให้เกิดสี (Coloring Substance or Chromophore) ใช้แทนด้วยอักษร “D” และส่วนประกอบของกลุ่มไฮดรอกซิลหรืออะมิโนในโมเลกุลของสีเป็นกลุ่มที่ทำปฏิกิริยา (Reactive Component) ใช้แทนด้วยอักษร “R” ส่วนที่มีสีนั้น มีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับโมเลกุลของสีย้อมทั่วไป ส่วนใหญ่จะเป็นพวกสีอะโซ (Azo) แอนทราควิโนน (Anthraquinone) และพธาโลไซยาเอมีน (Phthalocya amine) สำหรับส่วนที่เป็นกลุ่มทำปฏิกิริยานั้นสามารถแบ่งออกได้อีก 3 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมกับส่วนที่มีสี (ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ “X”) ส่วนที่เป็นโครงสร้างหลักของกลุ่มทำปฏิกิริยา (ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ “R”) และส่วนที่เป็นกลุ่มหลุดออกไป (ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ “L”) เมื่อสีย้อมทำปฏิกิริยากับเส้นใยตัวอย่างสูตรโครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟที่แสดงให้เห็นเป็นส่วนประกอบต่างๆ (รูปที่ 2.8) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่ม X กลุ่ม R หรือกลุ่ม L จะทำให้สีรีแอคทีฟมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปมากมาย สีรีแอคทีฟของแต่ละบริษัทนั้นส่วนมากจะแตกต่างกันที่กลุ่มทำปฏิกิริยา ในห้องตลาดมีสีรีแอคทีฟที่มีกลุ่มทำปฏิกิริยาชนิดต่างอยู่ถึง 30 ชนิด โครงสร้างทางเคมีของกลุ่มทำปฏิกิริยานี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่อะตอมเรียงตัวกันเป็นแนวตรง

(Aliphatic Chain) และประเภทที่อะตอมเรียงตัวกันเป็นวง (Heterocyclic Ring) ซึ่งชื่อทางการค้า และลักษณะโครงสร้างทางเคมีของกลุ่มทำปฏิกิริยา



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโดยทั่วไปของสีรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟ นอกจากจะเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยเซลลูโลสแล้ว ยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำได้ด้วยทำให้เกิดการเสียสีบางส่วนไป แต่อย่างไรก็ตามสีส่วนใหญ่ยังคงมีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยากับเส้นใยด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยสูงกว่าอัตราเร็วของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับน้ำมากและมีความเป็นไปได้ที่สีจะกระจายตัวเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยมากกว่าน้ำ ในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีการย้อมออกเป็น 11 ประเภท โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คุณสมบัติของสีย้อม ความคงทนต่อการซัก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของสีเข้าไปในเส้นใยขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่สำคัญคือ

1) การดูดซึม (Influence of Affinity) สีจะดูดซึมเส้นใยดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของส่วนโมเลกุลที่เป็นตัวให้สี ถ้าใช้สีที่มีโครงสร้างในการดูดซึมเส้นใยน้อย ก็จะได้สีที่ไม่ทนต่อการซักล้างซักดู แต่ถ้าสีที่ใช้มีแรงดึงดูดกับเส้นใยมาก การกำจัดออกก็จะทำได้ยากตามไปด้วย ดังนั้นการดูดซึมของสี จึงมีความสำคัญมากในการเลือกใช้ตัวสีในแต่ละกระบวนการ

2) ปริมาณน้ำ (Influence of Liquor ratio) สีรีแอคทีฟนอกจากทำปฏิกิริยากับเส้นใยแล้วยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำด้วย โดยสีรีแอคทีฟที่ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะถูกเรียกว่า Hydrolysed Dye ซึ่งจะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยได้อีกทำให้สีย้อมติดเส้นใยลดลง ดังนั้นในการย้อมจึงต้องพยายามให้สีทำปฏิกิริยากับน้ำให้น้อยที่สุด ซึ่งสีย้อมที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูงก็จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้ว่องไวด้วยเช่นกัน

3) อุณหภูมิ (Effect of Temperature) สีย้อมที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูงสามารถย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิห้อง) ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีอย่างมากโดยปกติอุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมจะแปรผันความว่องไวต่อปฏิกิริยาของกลุ่มทำปฏิกิริยา ดังนั้นในการย้อมจึงย้อมที่อุณหภูมิต่ำก่อนแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเพื่อให้สีสามารถดูดซึมเข้าใยผ้าได้มากขึ้น

4) ปริมาณอิเล็กโทรไลต์ (Effect of Electrolyte Concentration) เมื่อปริมาณอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นความสามารถของน้ำสีในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย (เซลลูโลส) จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

5) ค่า่าง (Effect of Alkali) สีย้อมจะดูดซึมได้เร็วที่ pH 10.3 แต่ถ้าในน้ำย้อมมี pH สูงกว่า 11 การดูดซึมก็จะลดลงและลดลงเรื่อยๆ เมื่อ pH เพิ่มสูงขึ้น

6) เส้นใย (Effect of Fiber) เซลลูโลสต่างชนิดกันจะดูดซึมสีย้อมได้ไม่เท่ากัน เช่น ฝ้ายชุบมันจะดูดซึมได้ดีกว่าฝ้ายธรรมดา ถ้ามีความหนาแน่นของเส้นใยสูงกว่าก็ดูดซึมได้น้อยลง

สีรีแอคทีฟมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดในการผสมสีเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาที่ดี ควรใช้น้ำร้อนในการผสมโดยใช้สี 1 ซ่อนชา ต่อน้ำ 2/3 แก้วหรือสี 100 g ต่อน้ำ 300 ml ละลายให้เข้ากันปริมาณของน้ำมีผลต่อความเข้มข้นของสี หากผสมน้ำมากสีจะถูกเจือจางลงทำให้ความสดของสีลดลงและจะต้องคำนึงไว้เสมอว่าสีที่เปียกจะมีความเข้มข้นและสดใสมากกว่าสีที่แห้งแล้ว สีที่ผสมแล้วสามารถเก็บไว้ใช้งานได้ในช่วงเวลาประมาณ 90 วัน และควรเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการระเหยและฝุ่นละออง คุณสมบัติเฉพาะของสีรีแอคทีฟคือ ละลายน้ำได้ง่าย มีสีสดใส ระบายผ้าติดเร็ว ไล่น้ำหนักสีได้สวยงาม สีบาดึกต้องสังนำเข้าจากต่างประเทศเช่น อินเดีย มาเลเซีย จีน อิตาลี เยอรมัน และอังกฤษ สีในท้องตลาดปัจจุบันมี สีแดงสด สีแดงบานเย็น สีเหลืองจันทร์ สีเหลืองมะนาว สีเหลืองทอง สีชมพู สีน้ำเงิน สีฟ้า สีม่วง สีน้ำตาล สีเขียว และสีดำ ที่เลือกซื้อเลือกใช้งานได้ไม่ยากนัก (สายธาร ทองพร้อม, 2552)

### 2.2.2 โลหะหนักที่เกิดจากสีที่ใช้ในการทำผ้าบาติก

เนื่องจากสีที่นิยมใช้ในการทำผ้าบาติกตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.2.1 นั้นเป็นสีย้อมเย็น (Reactive Dye) ซึ่งจะมีองค์ประกอบของสี และโลหะหนักจำพวก สารปรอท ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิเกิล โคบอลต์ โครเมียมและแคดเมียม (วิทย์ลักษณ์ กิจชนะพานิช, 2542)



### 2.2.3 อันตรายและโทษของโลหะหนัก (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2554)

#### 2.2.3.1 สารปรอท (Mercury)

เป็นโลหะหนักที่ของเหลวระเหยเป็นไอได้ง่ายในภาวะปกติ ไอปรอทเป็นพิษต่อมนุษย์มาก ไอปรอทที่เข้าสู่ร่างกายทางหายใจเข้าไปจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตทันทีเกือบทั้งหมด และกระจายไปยังสมองและส่วนอื่น ๆ ของร่างกายได้รวดเร็วมาก ปรอทที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ มีความเป็นพิษสูงที่สุด เพราะร่างกายสามารถดูดซึมในทางเดินอาหารได้ถึงร้อยละ 95 - 98 และขับออกมาและขับออกมาในรูปของเสียได้น้อยมาก ปรอทจะจับยึดกับเม็ดโลหิตแดงและกระจายไปทั่วทุกส่วนของร่างกาย และประมาณร้อยละ 15 ของปริมาณที่ได้รับเข้าไปจะสะสมที่สมอง แล้วสามารถทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อสมอง ในส่วนที่ควบคุมการมองเห็นและความรู้สึกนึกคิด

#### 2.2.3.2 ตะกั่ว (Lead)

การปลดปล่อยตะกั่วในรูปของสารมลพิษออกสู่สภาวะแวดล้อม ทำให้มีการปนเปื้อนของตะกั่วทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดง หมุนเวียนไปกับกระแสเลือดกระจายไปทั่วร่างกายสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ โดยสะสมมากที่สุดที่ไต โดยตะกั่วรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์ภายในไต ทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ ตะกั่วยังมีผลต่อตับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ โครโมโซม และเป็นสารชักนำให้เกิดโรคมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิดอีกด้วย

#### 2.2.3.3 สังกะสี (Zinc)

พิษของสังกะสีเกิดจากร่างกายได้รับสังกะสีมากเกินไป อาการที่พบคือ ปวดท้อง อาเจียน และท้องเดิน แต่หากสูดดมควันที่เกิดจากการเผาสังกะสีออกไซด์ (ZnO) เข้าไปจะมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นภายใน 2-3 ชั่วโมง คือ มีอาการหนาวสั่น มีไข้ ไอ ปวดศีรษะ อ่อนเพลียและมีน้ำลายไหล ทั้งนี้ต้องรีบนำส่งโรงพยาบาลทันที

#### 2.2.3.4 ทองแดง (Copper)

การเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไป ช่องทางที่ได้รับและสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและบริเวณลำไส้ส่วนบน โดยซึมผ่านเข้าผนังลำไส้ไปที่ตับจากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดีแล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ ขับออกไปกับอุจจาระหรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมนั้นจะมากที่สุดที่ตับและสมอง เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ

กกระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน และตับทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases คือ ร่างกายสั้นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูก น้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก

#### 2.2.3.5 นิกเกิล (Nickel)

จะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็มีโทษซึ่งหลายคนไม่ทราบหรือมองข้าม พิษภัยของนิกเกิลที่มีปริมาณนิกเกิลมากเกินไปเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอาจเกิดอาการแพ้ โดยผิวหนังบริเวณที่สัมผัสอาจเกิดอาการบวม อักเสบ หรือเกิดผื่นคัน

#### 2.2.3.6 โคบอลต์ (Cobalt)

รูปแบบการสัมผัสที่น่าเป็นห่วงที่สุดจากพิษของบอลต์เกิดจากการหายใจเข้าปอดในปริมาณมากเกินไปซึ่งมักจะเกิดขึ้นจำนวนมาก ในชุมชนอุตสาหกรรมที่เจาะขุดหรือกระบวนการอื่นๆ ที่ปล่อยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีโคบอลต์ปะปนในอากาศ ทำให้ผู้ที่สัมผัส หายใจฝุ่นของโคบอลต์เข้าไปเกิดปัญหาเรื้อรังมากมายกับปอดและถ้าหายใจเอาสารนี้เข้าไปเป็นเวลานาน มีแนวโน้มที่จะมีปัญหาการหายใจที่คล้ายกับโรคหอบหืดส่วนผลของพิษที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสนั้น จะก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือผดผื่นคัน และหากรับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลาต่อเนื่องยาวนานจะทำให้เสี่ยงต่อโรหหัวใจ โรคระบบเส้นประสาท โรคเลือด และปัญหากับต่อมไทรอยด์ได้

#### 2.2.3.7 โครเมียม (Chromium)

อาการพิษเฉียบพลัน ขึ้นกับการเข้าสู่ร่างกาย หากเป็นการสูดหายใจ ทำให้เกิดการระคายเคือง ภายในจมูกมีรอยแผลเป็นหย่อมๆ หายใจขัด บางครั้งอาจเกิดหอบหืดทันทีหรือมีภาวะปอดบวมได้ การได้รับทางปาก ทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องเป็นอันตรายต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ ไตวายเสียชีวิตได้ การได้รับทางผิวหนัง ทำให้เกิดแผลเปื่อย (chrome ulcer) ผื่นคัน พิษเรื้อรัง ทำให้ผิวหนังอักเสบ ผื่นคัน เกิดแผลเปื่อยที่เยื่อจมูก ผื่นงัน โพรงจมูกทะลุ ไอ น้ำมูกไหล ไตวาย บางกรณีอาจเกิดมะเร็งปอด

#### 2.2.3.8 แคดเมียม (Cadmium)

เป็นโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยมาจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานทำสี และโรงงานทำพลาสติก พิษของสารแคดเมียม คือ ถ้าได้รับปริมาณมากในทันที อาจทำให้เกิดโรค อีไต อีไต (“Itai-Itai” disease) มีผลให้กระดูกเปราะ และปวดอย่างรุนแรง ถ้าได้รับสารในปริมาณน้อยแต่เป็นเวลานาน จะก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง

ไต่ทำงานผิดปกติ ภาวะวุ่นวาย ขาดสมาธิ ความจำเสื่อม บางครั้งซึมเศร้า บางครั้งร่าเริง (Manic Depressive Behaviour) ถ้ามีอาการอ่อนเพลียอาจหมดสติและตายได้

### 2.3 เทคโนโลยีการกำจัดโลหะหนัก

จากการศึกษาเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ เพื่อการกำจัดสีและโลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ มีอยู่หลายวิธีให้เลือกใช้ (ตารางที่ 2.1) อาจมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดในความสามารถที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับประเภทของอุตสาหกรรมนั้น ซึ่งในบางเทคโนโลยีมีใช้กันมานานนั้นยังคงมีข้อจำกัดบางประการ จึงได้มีการศึกษาตลอดจนได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านั้นอย่างต่อเนื่องเพื่อลดข้อจำกัดลง และเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้นของอุตสาหกรรมโลหะหนักที่เกิดจากกระบวนการผลิตของแต่ละประเภทอุตสาหกรรมก็จะมีมากขึ้นทั้งรูปแบบและปริมาณ จึงเป็นแรงผลักดันให้เทคโนโลยีในการกำจัดยิ่งถูกพัฒนาขึ้นทั้งในรูปแบบของเทคโนโลยีและวัสดุที่นำมาใช้ เพื่อเสนอเป็นทางเลือกใหม่ๆ ให้แต่ละประเภทอุตสาหกรรมที่มีความพร้อมทั้งกำลังทรัพย์และพร้อมทั้งบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถได้เข้ามาใช้เทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในทางกลับกัน อุตสาหกรรมขนาดเล็กที่แฝงตัวอยู่กับชุมชนอาศัยการเรียนรู้จากรุ่นสู่รุ่นเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัวหรือในชุมชน ซึ่งขาดการลงทุนและเข้าถึงเทคโนโลยีขั้นสูงที่มีราคาแพงทั้งยุ่งยากซับซ้อนในการทำความเข้าใจและนำไปใช้ จึงจะควรมีเทคโนโลยีที่ง่าย งบประมาณที่ไม่สูงมากนักทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง ซึ่งเทคโนโลยีการดูดติดผิว (Adsorption) นั้น เป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการทักษะในการเดินระบบมากนักและสามารถเลือกใช้วัสดุดูดซับที่มีราคาไม่แพงและหาได้ง่ายในท้องถิ่น (Jai and Wook, 2007) จึงอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดสีและโลหะหนัก จากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตผ้าบาติกขนาดเล็ก

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความสามารถและข้อจำกัดของเทคโนโลยีและวัสดุดูดซับสีย้อมแบบต่างๆ (Robinson, 2001)

Physical/chemical method	Advantages	Disadvantages
Fentons reagent	Effective decolourisation of both soluble and insoluble dyes	Sludge generation
Ozonation	Applied in gaseous state: no alteration of volume	Short half-life (20 min)
Photochemical NaOCl	No sludge production Initiates and accelerates azo-bond cleavage	Formation of by-product Release of aromatic amine
Cucurbituril	Good sorption capacity for various dyes	High cost
Electrochemical destruction	Breakdown compounds are non-hazardous	High cost of electricity
Activated carbon	Good removal of wide variety of dyes	Very expensive
Peat	Good adsorbent due to cellular structure	Specific surface area for adsorption are lower than activated carbon
Wood chips	Good sorption capacity for acid dyes	Requires long retention times
Silica gel	Effective for basic dye removal	Side reactions prevent commercial application
Membrane filtration	Remove all dye types	Concentrated sludge production
Ion exchange	Regeneration no adsorbent loss	Not effective for all dyes
Irradiation	Effective oxidation at lab scale	Requires a lot of dissolved O <sub>2</sub>
Elektrokinetic coagulation	Economically feasible	High sludge production

## 2.4 เทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ เป็นกระบวนการแยกสารที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลว หรือแก๊ส โดยให้สารละลายหรือแก๊สผสมไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ สารแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปรากฏการณ์ดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของตัวดูดซับ สมบัติทางเคมีที่ผิวของตัวดูดซับและสารที่เป็นตัวถูกดูดซับ โดยกลไกการดูดซับที่มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทดังนี้ (ปรินทร เต็มยุทธศิลป์, 2551)

### 2.4.1 การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption หรือ Chemisorptions)

เป็นผลที่เกิดจากการกระทำระหว่างโมเลกุลที่สูงมากเมื่อเทียบกับการเรียงตัวของสารประกอบทางเคมี การดูดซับแบบนี้อาศัยการสร้างพันธะทางเคมีระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดยมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของทั้งสองฝ่าย จะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นสูง จากการศึกษาโดยอาศัยเทคนิคอิเล็กตรอน สปิน เรโซแนนซ์ (Electron Spin Resonance) และวัดค่าแม่เหล็ก susceptibility (Magnetic Susceptibility) สามารถยืนยันได้ว่าการดูดซับทางเคมี โดยเกิดที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature) ของตัวดูดซับ ความร้อนของการดูดซับมีค่าประมาณ 60-70 กิโลจูลต่อโมล การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับที่สารสามารถถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับได้เพียงชั้นเดียวเท่านั้น (Monomolecular Layer) และเกิดขึ้นอย่างจำเพาะเจาะจง กล่าวคือ จะเกิดได้ก็ต่อเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากันได้เท่านั้น และการดูดซับทางเคมีไม่สามารถคืนกลับได้ (Irreversible) หรือคืนกลับได้แต่น้อยมาก ใช้เวลาในการดูดซับนาน นั่นคือเมื่อเกิดการดูดซับแล้วจะไม่มีหลุดออกมา หรือถ้าหลุดออกมาก็อาจทำได้โดยวิธีที่ยุ่งยาก และมักมีการเปลี่ยนรูปไป จากการศึกษาถ้าต้องการจะให้เกิดการคืนกลับนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนกับตัวดูดซับเพื่อขจัดตัวถูกดูดซับให้หลุดออกไปได้

### 2.4.2 การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption หรือ Physisorption)

เป็นการดูดซับที่มีแรงกระทำอย่างอ่อนๆ ระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะอยู่ที่ผิวของตัวดูดซับ โดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Force) ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยกว่า 50 กิโลจูลต่อโมล การดูดซับทางกายภาพนี้ โมเลกุลของตัวดูดซับจะถูกดูดซับไว้เป็นแบบชั้นเดียว (Single Molecular Layer) ที่ความดันต่ำและลักษณะเป็นแบบหลายชั้น (Multi Molecular layer) ที่ความดันสูง หรืออาจเกิดการดูดซับในลักษณะของการดูดซับแบบหลายชั้นซ้อนกัน (Superimpose Layers) บนผิวของตัวดูดซับ ซึ่งการดูดซับแบบนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้

อย่างถาวร จะเกิดการผันกลับได้ง่าย (Reversible) การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับทางเคมีหรือถึงสถานะสมดุลได้เร็วกว่าเพราะไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานกระตุ้น (activation energy) เหมือนการดูดซับทางเคมี ยกเว้นในกรณีที่รูพรุนของตัวดูดซับมีขนาดเล็กมากจะทำให้ อัตราการดูดซับช้าลง การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างไม่จำเพาะเจาะจง กล่าวคือ สารต่างๆสามารถดูดซับบนผิวได้ และการแยกสารที่ถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับทำได้โดยง่าย เช่น การเพิ่มอุณหภูมิหรือการลดความดัน ซึ่งจะเกิดการปล่อย หรือคายสารที่ดูดซับไว้ออกมา (desorption) การปลดปล่อยดังกล่าวจะไม่มีผลทำให้ตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับเปลี่ยนแปลงแต่ประการใด การดูดซับจะไม่ทำให้ตำแหน่งเฉพาะที่ทำหน้าที่ดูดซับหมดไป ซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดประเภทแรงแวนเดอร์วาลส์ และแรงดึงดูดระหว่างขั้วมากกว่าการเกิดพันธะ

#### 2.4.3 ขั้นตอนการดูดซับ

ขั้นตอนของการดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

2.4.3.1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยเข้าหาตัวดูดซับ โดยการเคลื่อนที่จะมีลักษณะคล้ายกับการกรองน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายของสารแขวนลอยในน้ำเข้ามาติดที่ตัวดูดซับ

2.4.3.2 ขั้นตอน Film Diffusion เมื่อโมเลกุลของสารแขวนลอยเข้ามาถึงตัวดูดซับ ซึ่งโดยปกติแล้วผิวตัวดูดซับจะมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบ คล้ายเยื่อบางๆ ทำให้โมเลกุลต้องแทรกตัวเข้าไป

2.4.3.3 ขั้นตอน Pre Diffusion คือ การที่โมเลกุลของสารแขวนลอยจะต้องแทรกตัวเข้าไปถึงผิวของตัวดูดซับ จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น

2.4.3.4 ขั้นตอนนี้โมเลกุลของสารแขวนลอยจะต้องเกาะติดกับผิวของตัวดูดซับโดยไม่หลุดออกไป จึงจะถือว่าเกิดการดูดซับที่ผิวอย่างสมบูรณ์

#### 2.4.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ

ขณะที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของสารที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำจะไปเกาะติดอยู่บนผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ภายในโพรงของตัวดูดซับ มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่เกาะติดอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลสารจากน้ำไปยังตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุล และหยุด ณ จุดสมดุล ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ (มันสัน ตันฑุลเวศม์, 2539) มีดังต่อไปนี้

2.4.4.1 การถูกรบกวนด้วยน้ำ คือถ้ามีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก ส่งผลให้โมเลกุลของสารเข้าถึงตัวดูดซับได้ยาก

2.4.4.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ

2.4.4.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับไว้ที่ผิวของวัสดุดูดซับ

2.4.4.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ

2.4.4.5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

2.4.4.6 อุณหภูมิของน้ำ มีผลต่อความเร็ว และความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับมลสารที่มีอยู่ในน้ำหรือก๊าซ

2.4.4.7 ชนิดของวัสดุดูดซับ

#### 2.4.5 สมการที่ใช้ในการทำนายกลไกของการดูดซับ

โดยสมการทำนายกลไกของการดูดซับ สามารถบอกให้ทราบได้ว่าเป็น ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับมีค่าเท่าใด ซึ่งในการหาค่าประสิทธิภาพของกระบวนการต้องทำการควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าคงที่ ดังนั้นสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการดูดซับระหว่างปริมาณของสารดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับ จึงเรียกว่า ไอโซเทอร์ม (Isotherm) ซึ่งมีใช้งานอยู่ 3 แบบ คือ

2.4.5.1 ฟรอนด์ลิช (Freundlich Isotherm)

2.4.5.2 แลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

2.4.5.3 เบต (Brunauer-Emmett-Teller Isotherm: BET Isotherm)

2.4.6 สมการที่ใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับบางครั้งไม่สามารถใช้สมการทั้ง 3 สมการมาอธิบายได้แต่อย่างไรก็ตาม ไอโซเทอร์ม ที่นิยมนำมาใช้คือ ไอโซเทอร์มของฟรอนด์ลิช (Freundlich Isotherm) แยกได้ 3 ประเภท คือ

2.4.6.1 แบบชั้นตรึง (Fixed Bed Adsorption Process)

กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนของวัสดุดูดซับจากนั้นจึงจะเคลื่อนที่ลงมาจนถึงชั้นล่าง ซึ่งจะเกิดการสภาพของการหมดความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับ ต้องนำไปฟื้นฟูสภาพใหม่อีกครั้ง

2.4.6.2 แบบชั้นเคลื่อนที่ (Moving Bed Adsorption Process)

กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นที่ผิวด้านล่างของถัง ซึ่งจะเกิดการหมดสภาพในการดูดซับก่อน จึงไม่ค่อยนิยมใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ประสิทธิภาพค่อนข้างจะค่อนข้าง

### 2.4.6.3 แบบชั้นฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Adsorption Process)

น้ำเสียเกิดการไหลด้วยความเร็วสูงจากด้านล่างของถังผ่านชั้นวัสดุดูดซับภายในถัง ซึ่งมักจะทำให้วัสดุดูดซับไหลปนไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

## 2.5 วัสดุดูดซับที่ใช้กับเทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption)

วัสดุดูดซับที่สามารถนำปรับใช้กับเทคโนโลยีดูดซับนั้นมีหลากหลายไม่ว่าจะเป็นสิ่งประดิษฐ์ขึ้นจากการทดลองคิดค้นทางวิทยาศาสตร์ที่มีการรับรองผลเชิงวิชาการ จนสามารถผลิตออกจำหน่ายเป็นเชิงธุรกิจอย่างกว้างขวาง หรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Shaliza and Piarapakaran, 2004)

วัสดุดูดซับ	ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก(%)						
	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
<b>กลุ่มวัสดุดูดซับ</b>							
- ถ่านจากเปลือกเมล็ดฝ้าย	-	64	-	-	-	100	-
- ถ่านจากขี้เถ้าจากต้นมะพร้าว	-	84.3	-	-	-	100	-
<b>มะพร้าว</b>							
- ถ่านจากขังข้าวโพด	80	100	-	-	-	100	-
- เส้นใยจากต้นปาล์ม	80	-	-	-	-	-	-



**ตารางที่ 2.3** เปรียบเทียบประสิทธิภาพ ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของแกลบ ชานอ้อย และ จี้เลื้อยจากต้น ไม้ (Shaliza and Piarapakaran, 2004)

วัสดุดูดซับ	ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก(%)						
	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
<b>กลุ่มวัสดุดูดซับจากเปลือกข้าว(แกลบ)</b>							
- แกลบเผา	99	-	100	100	100	-	100
- แกลบล้างน้ำ	79	-	80	85	85	-	-
- แกลบจากข้าวที่ให้ฟอสฟอรัส	-	-	-	-	90	-	-
- แกลบเคลือบขี้เถ้า	39.7	61.6	78.8	75.1	99.2	92.7	99.8
- แกลบที่ตัดแปลงด้วยกรด Tartaric	69.8	69.8	69.8	69.8	69.8	69.8	69.8
- แกลบจากข้าวสีมวอล	-	-	80	-	-	-	95
- แกลบคิบ	66	-	-	-	-	-	-
<b>กลุ่มวัสดุดูดซับชานอ้อย</b>							
- ถ้ำจากชานอ้อย	53.4	-	-	-	-	-	-
- ชานอ้อยเผา	99.97	-	100	-	100	-	-
- ชานอ้อยคิบ	93.5	-	-	-	-	-	-
- เปลือกมะพร้าวเผา	99.7	-	-	-	-	-	-
<b>กลุ่มวัสดุดูดซับจากจี้เลื้อย</b>							
- จี้เลื้อยจากต้น ไม้ที่ให้ฟอสฟอรัส	100	83	86	86	-	-	-
- จี้เลื้อยจากต้น ไม้ที่ไม่ให้ฟอสฟอรัส	-	91	86	75.7	-	-	-
- จี้เลื้อยจากต้นมะพร้าว	98.84	-	-	-	-	-	-

สำหรับคุณสมบัติของวัสดุดูดซับจำพวกดินเหนียวนั้นสามารถแสดงในตารางที่ 2.4, 2.5, 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.4 ไอโซเทอมของการดูดซับของโลหะหนัก ตามสมการ Freundlich โดยใช้ตัวดูดซับเป็นเบนโทไนต์ (Nanthanit et al., 2006)

เบนโทไนต์				
โลหะหนัก	$\log q = \log K + (1/n) \log C_f$	$1/n$ (L/kg)	$K$ (cmol/kg)	$R^2$
Cd	$\log q = (0.6968)\log C_f + 1.053$	0.0697	11.2980	0.8597
Pb	$\log q = (1.5841)\log C_f + 2.0651$	0.1584	116.1720	0.7833
Zn	$\log q = (0.8039)\log C_f + 1.2275$	0.0804	16.8850	0.8078
Cr	$\log q = (0.2461)\log C_f + 1.3452$	0.0246	22.1410	0.8214
Ni	$\log q = (0.2334)\log C_f + 1.1815$	0.0233	15.1880	0.9767

ตารางที่ 2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับของโลหะหนัก ตามสมการ Freundlich โดยใช้ตัวดูดซับเป็นดินลูกรังคองหงส์ (นันทนิตย์ เจริญไชสง, และคณะ, 2551)

ดินลูกรังคองหงส์				
โลหะหนัก	$\log q = \log K + (1/n) \log C_f$	$1/n$ (L/kg)	$K$ (cmol/kg)	$R^2$
Cd	$\log q = (0.6204)\log C_f + 0.4121$	0.0620	2.5830	0.9856
Pb	$\log q = (0.3076)\log C_f + 0.2976$	0.0308	1.9840	0.7688
Zn	$\log q = (0.4050)\log C_f + 0.1414$	0.0405	1.3848	0.7402
Cr	$\log q = (0.0878)\log C_f + 0.4593$	0.0088	2.8790	0.9020
Ni	$\log q = (0.3140)\log C_f + 0.1305$	0.0314	1.3505	0.9386

ตารางที่ 2.6 ไอโซเทอมของการดูดซับของโลหะหนัก ตามสมการ Freundlich โดยใช้ตัวดูดซับเป็นดินเหนียวเกาะยอ (นันทนิตย์ เจริญไธสง, และคณะ, 2551)

ดินเหนียวเกาะยอ				
โลหะหนัก	$\log q = \log K + (1/n) \log C_f$	$1/n$ (L/kg)	$K$ (cmol/kg)	$R^2$
Cd	$\log q = (0.4300)\log C_f + 0.5092$	0.0430	3.2300	0.9928
Pb	$\log q = (0.5649)\log C_f + 1.9267$	0.0565	84.4695	0.9666
Zn	$\log q = (0.4875)\log C_f + 1.2633$	0.0488	18.3358	0.9782
Cr	$\log q = (1.4056)\log C_f + 2.1898$	0.1406	0.0065	0.7677
Ni	$\log q = (0.2334)\log C_f + 1.1815$	0.0542	5.1310	0.9581

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของ เบนโทไนด์ ดินลูกรังคอหงส์ และดินเหนียวเกาะยอ (นันทนิตย์ เจริญไธสง, และคณะ, 2551)

ชนิดของการดูดซับ	ลำดับของการดูดซับ
ความสามารถในการดูดซับแคดเมียม	เบนโทไนด์ > ดินเหนียวเกาะยอ > ดินลูกรังคอหงส์
ความสามารถในการดูดซับตะกั่ว	เบนโทไนด์ > ดินเหนียวเกาะยอ > ดินลูกรังคอหงส์
ความสามารถในการดูดซับสังกะสี	เบนโทไนด์ > ดินเหนียวเกาะยอ > ดินลูกรังคอหงส์
ความสามารถในการดูดซับโครเมียม	เบนโทไนด์ > ดินเหนียวเกาะยอ > ดินลูกรังคอหงส์
ความสามารถในการดูดซับนิกเกิล	เบนโทไนด์ > ดินเหนียวเกาะยอ > ดินลูกรังคอหงส์
การดูดซับของเบนโทไนด์	ตะกั่ว > โครเมียม > นิกเกิล > สังกะสี > แคดเมียม
การดูดซับของดินลูกรังคอหงส์	โครเมียม > แคดเมียม > ตะกั่ว > นิกเกิล > สังกะสี
การดูดซับของดินเหนียวเกาะยอ	ตะกั่ว > สังกะสี > นิกเกิล > แคดเมียม > โครเมียม

จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า วัสดุคูดซัฟที่ผลิตจำหน่ายจะมีราคาค่อนข้างแพง หากเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อาทิ การทำผ้าบาติกอาจทำให้ค่าใช้จ่ายสูง ส่วนวัสดุคูดซัฟจำพวก วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรจะเป็นภาระในการเตรียมเพื่อให้ผลในการคูดซัฟที่ดี แต่ความสามารถ ในการกำจัดสีกับโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ไม่สูงมากจึงอาจไม่คุ้มค่า สุดท้ายวัสดุจำพวกดินเหนียว เป็นวัสดุที่ทำได้ง่าย ทั้งยังมีความสามารถกำจัดโลหะหนักได้ในเกณฑ์ที่น่าพอใจและในการศึกษา วัสดุคูดซัฟประเภทต่างนั้น พบว่ากลุ่มวัสดุคูดซัฟประเภทดินและดินเหนียว สามารถคูดซัฟสาร ปรอทได้ดี (แวนดา ทองระอา, 2550) รองลงมาคือตะกั่ว สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม โครเมียม ตามลำดับ (นันทนิตย์ เจริญไชสง, และคณะ, 2551) และยังพบว่าดินเหนียวที่เป็นส่วนประกอบของ อิฐมอญนั้นมีความสามารถคูดซัฟสีได้ดี (Ari Rahmana and Takeo Urabeb, 2013) นอกจากนี้ยังมี ผลงานวิจัยจากรายงานทางวิชาการของโครงการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมในชุมชน การทำ ผลิตภัณฑ์กระจุคในพื้นที่ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุงที่ได้ดำเนินการจัดทำโดย บริษัทเซาท์เทอร์นส ตัดดี้ จำกัด ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้เลือกใช้อิฐมอญก่อสร้าง มาใช้เป็นวัสดุคูดซัฟสีและโลหะ หนักของน้ำเสียที่เกิดจากการทำผลิตภัณฑ์กระจุคพบว่า อิฐมอญบดมีประสิทธิภาพในการกรอง อนุภาคของเม็ดสีในน้ำข้อมได้ดีมาก โดยสามารถกำจัดสีและโลหะหนักประเภท ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) จากน้ำข้อมกระจุคได้ถึงร้อยละ 85-90 และ น้ำที่ผ่านกรองจะมีความใส อีกทั้งยังสามารถกรองกากตะกอน จากน้ำข้อมได้อีกด้วย (ตารางที่ 2.8)

อิฐมอญ เป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างที่ได้รับความนิยมยาวนาน ต่อเนื่องมาจนถึง ปัจจุบันทำจากดินเหนียวผสมขี้เถ้าเคลือบอัดเป็นก้อน ก่อนจะนำเข้าเตาเผา เเผาในอุณหภูมิสูง อิฐ ที่ได้นั้นจะมีคุณสมบัติแข็งแรงทนทาน เนื้อแน่น ดูซึมน้ำต่ำ ลักษณะเป็นก้อนตรง ทรงเหลี่ยมมีสี แดง (บางที่เรียกว่า อิฐแดง) มีขนาดทั่วไปอยู่ที่ 7x15x3 ซม. เนื่องจากขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยาก ซ้ำซ้อนและวัตถุดิบหาง่ายจากธรรมชาติ ทำให้อิฐมอญมีราคาถูกและหาซื้อง่ายในท้องตลาด จึงเป็น ที่นิยมใช้สำหรับการก่อสร้างมาโดยตลอด

จากคุณสมบัติของอิฐมอญ ในการกำจัดสีและโลหะหนัก ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น นั้น น่าจะนำมาปรับใช้ใช้ได้ดีกับการกำจัดสีและโลหะหนัก จากกระบวนการย้อมผ้าบาติก เหมือน ที่ใช้ได้กับอุตสาหกรรมการทำกระจุค จึงศึกษาเปรียบเทียบระหว่างชนิดของสีย้อมกระจุคและสี ย้อมผ้าบาติกว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จากผลการศึกษาพบว่าสีย้อมกระจุคและสีย้อมผ้า บาติกหากพิจารณาตามการแตกตัวให้ประจุ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

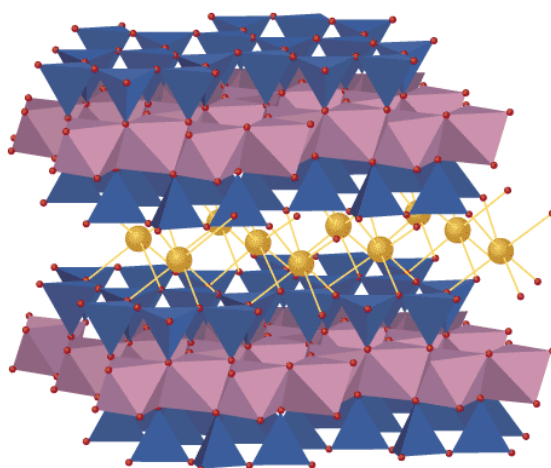
**ตารางที่ 2.8** ผลการตรวจวิเคราะห์น้ำเสียจากการข้อมกระดูกที่ผ่านการกรองด้วยอิฐมอญ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำโดยบริษัทเซาท์เทอร์นสตัดดีจำกัด, 2552)

พารามิเตอร์	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ประสิทธิภาพ%	ค่ามาตรฐาน
Color (Hazen)	4,480	73	98.37	ไม่น่ารังเกียจ
pH	4.98	6.5	100	5.5-9.0
COD (mg/l)	2,795	217	92.24	120
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	120.14	94.6	38.17	20.00
TSS (mg/l)	546	68	87.55	50
Cu (mg/l)	1.16	0.14	87.93	2.00
Pb (mg/l)	0.04	< 0.0015	96.25	0.20
Zn (mg/l)	109.82	5.86	94.66	5.00
Cr (mg/l)	0.85	0.03	96.47	0.25
Cd (mg/l)	0.07	< 0.004	94.29	0.03

**ตารางที่ 2.9** เปรียบเทียบสีที่ใช้ข้อมกระดูก และ สีที่ใช้ข้อมผ้าบาติก (สำนักจัดการคุณภาพน้ำโดยบริษัทเซาท์เทอร์นสตัดดีจำกัด, 2552)

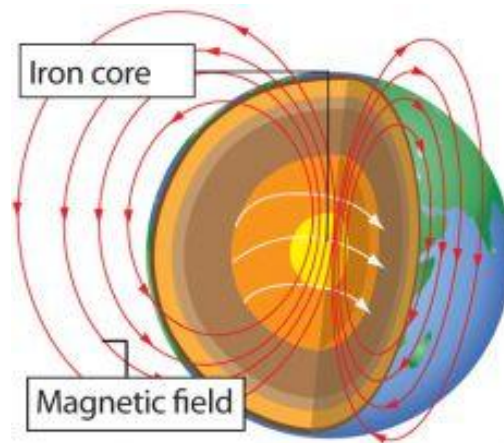
รายการ	กระดูก	บาติก
จำแนกตามการนำไปใช้	สีเบสิก (Basic Dye stuff)	สี Reactive
จำแนกตามการแตกตัวให้ประจุ	ประจุบวก (Cationic)	ประจุลบ (Anionic)
จำแนกตามเส้นใยที่ใช้ข้อม	เส้นใยโปรตีน (Protein) เช่น ไหม ขนสัตว์	เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) เช่น ฝ้าย ลินิน ปอ ป่าน

จากตารางจะพบว่า สีทั้งสองให้ประจุต่างกัน ซึ่งอาจหมายถึงอิฐมอญใช้ได้กับสี  
 ย้อมที่ให้ประจุบวกของสีย้อมกระจุบ แต่กับประจุลบของสีที่ย้อมผ้าบาติกอาจไม่ได้ผล จาก  
 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐมอญเพิ่มเติมพบว่า โครงสร้างของดินเหนียวที่เป็นส่วนประกอบของ  
 การทำอิฐมอญนั้นมีผลึกที่มีลักษณะเป็นแผ่นรูปหกเหลี่ยมแบนๆ โครงสร้างนี้จะมีลักษณะพิเศษ คือ  
 เมื่ออนุภาคดิน ได้รับน้ำที่มีสภาพที่เป็นกลาง หรือเป็นกรด หรือด่างอ่อนๆ โครงสร้างที่ส่วน  
 ด้านหน้าของแผ่นจะทำปฏิกิริยากับน้ำ จนเกิดโครงสร้างเป็นประจุลบ ขณะที่บริเวณด้านขอบแผ่น  
 เกิดโครงสร้างเป็นประจุบวก ดังนั้นจึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้ว ระหว่างส่วนหน้าของแผ่นหนึ่ง กับ  
 ส่วนขอบของอีกแผ่นหนึ่งต่อเนื่องกันไป นั่นหมายถึง ในโครงสร้างของดินเหนียว มีทั้งประจุบวก  
 และลบ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qihong Hu and Zhiping Xu ที่ระบุว่าดินเหนียวมีทั้งประจุ  
 บวกและลบในตัวเอง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของดินเหนียว

นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนประกอบของดินเหนียว โดยทั่วไปจะมีธาตุเหล็กอยู่ด้วย  
 ผลึกขนาดเล็กของเหล็กมีขนาดประมาณ  $3 \times 10^{-7}$  เมตร เมื่อดินเหนียวถูกเผาให้ร้อนหลายร้อยองศา  
 เซลเซียส ผลึกของเหล็กเหล่านี้จะจัดเรียงตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก (รูปที่ 2.10) แม้จะ  
 เย็นตัวลงแล้วมันก็จะยังอยู่ในทิศทางเดิม (ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
 เทคโนโลยีราชมงคล, 2011) ดังนั้นอิฐมอญน่าจะใช้ได้กับสีย้อมที่ให้ทั้งประจุบวกและลบ



รูปที่ 2.10 สนามแม่เหล็กโลก

### บทที่ 3

#### แผนการทดลองและวิธีการวิจัย

##### 3.1 วัสดุ

- 3.1.1 อีฐมอญบดคัดขนาดด้วย Mesh Sieve No 10/40 (ระหว่าง 0.42-2.0 mm)
- 3.1.2 อีฐมอญบดคัดขนาดโตกว่า Mesh Sieve No 10 (โตกว่า 2.0 mm)
- 3.1.3 อีฐมอญบดคัดขนาดเล็กกว่า Mesh Sieve No 40 (เล็กกว่า 0.42 mm)

##### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และ 10 cm สูง 0.45 m สำหรับจัดเรียงวัสดุคุชับที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.2 ฝ่อนสำหรับทุบบดอีฐมอญให้ละเอียด
- 3.2.3 Mesh Sieve No 10 และเบอร์ No 40 สำหรับคัดแยกขนาดอีฐ
- 3.2.4 ปีกเกอร์
- 3.2.5 เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter) ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100 N
- 3.2.6 เครื่องวัดความนำไฟฟ้าในน้ำ (Conductivity meter) ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI9830X
- 3.2.7 หลอดทดลองชนิด borosilicate
- 3.2.8 ที่ใส่หลอดทดลอง
- 3.2.9 ปีเปต
- 3.2.10 บิวเรต
- 3.2.11 ขวดรูปชมพู่
- 3.2.12 ขวดบีโอดี
- 3.2.13 กระจกตวง
- 3.2.14 ขวดปรับปริมาตร
- 3.2.15 ถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์
- 3.2.16 ปากคีบ
- 3.2.17 กระดาษกรอง GF/C



3.2.18 กรวยบรูซเนอร์

3.2.19 ถ้วยระเหย

3.2.20 ชุดเขย่าสาร

3.2.21 ภาชนะรองรับตรวจสอบอัตราการกรอง

3.2.22 เครื่องมือตรวจสอบปริมาณสี (Spectrometer) ยี่ห้อ Pharo รุ่น 300M

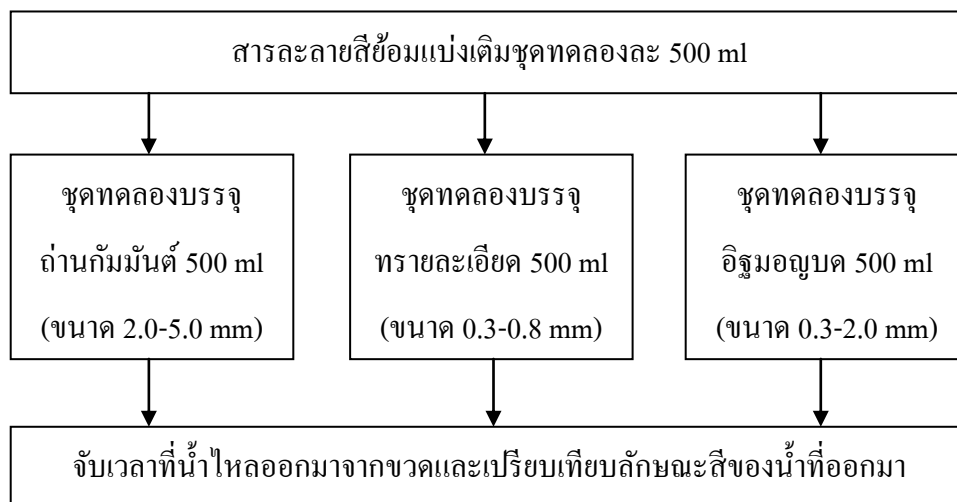
3.2.23 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ LT Lutron รุ่น WA-2017SD

3.2.24 เครื่องตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (IPC-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Plasma 4300 DV

### 3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดกับวัสดุดูดซับอื่นด้วยสารละลายสีข้อม

วัสดุดูดซับที่นิยมใช้ในกระบวนการดูดซับ ซึ่งหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ได้แก่ ทราย และถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งจากการทบทวนเอกสารงานวิจัยพบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาขั้นต้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด ได้แก่ ทราย ถ่านกัมมันต์ และอิฐมอญบด การศึกษาทำโดยใช้ชุดทดลองที่ทำมาจากขวดพลาสติก PET (Poly Ethylene Terephthalate) ซึ่งเป็นขวดน้ำดื่มบรรจุขายตามท้องตลาด ปริมาตร 1500 ml จำนวนสามขวด โดยนำมาตัดก้นขวดออกและเจาะรูที่ฝาขวด แล้วนำวัสดุดูดซับทั้งสามชนิดมาบรรจุลงไปในขวดพลาสติกดังกล่าว ชนิดละ 500 ml ทั้งนี้เพื่อป้องกันการอุดตันรูน้ำออกเนื่องจากอนุภาคของอิฐมอญบด จึงได้บรรจุทราย (ชนิดเดียวกับที่ใช้ในการศึกษานี้) รองพื้นก่อนบรรจุอิฐมอญบด เตรียมสารละลายสีข้อมซึ่งได้มาจากสีข้อมผ้าบาติกแบบผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ปริมาณ 1 mg มาละลายลงในน้ำกลั่นที่ปริมาตร 2 L หลังจากนั้นทำการแบ่งสารละลายสีข้อมออกเป็นสามส่วนเท่า ๆ กันที่ ปริมาตร 500 ml แล้วนำไปเทลงในขวดพลาสติกที่บรรจุวัสดุดูดซับทั้งสามชนิดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จับเวลาที่น้ำไหลออกจากขวดและเปรียบเทียบลักษณะสีของน้ำที่ไหลออกมา วิธีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



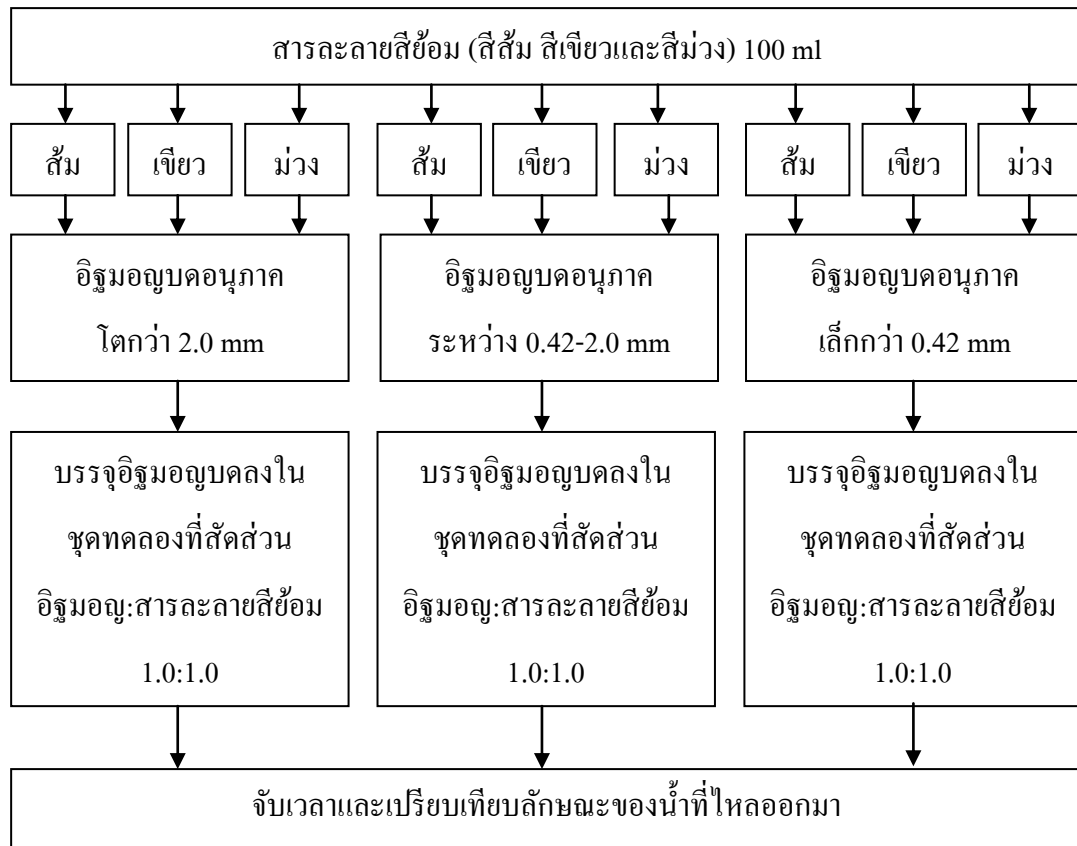
**รูปที่ 3.1** การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดเทียบกับวัสดุดูดซับอื่น

### 3.3.2 การศึกษาผลของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากสารละลายสีย้อม

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดที่มีขนาดของอนุภาคแตกต่างกัน ทำได้โดยการนำอิฐมอญมาทุบด้วยค้อนและบดให้มีขนาดเล็กด้วยครกหิน แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อน (Sieve) เพื่อคัดแยกขนาดของอนุภาคอิฐมอญบดออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดอนุภาคโตกว่า 2.0 mm ขนาดอนุภาคระหว่าง 0.42-2.0 mm และขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 mm ตามลำดับ โดยได้ทำการเตรียมอิฐมอญบดทั้งสามขนาดพร้อมกันในครั้งเดียวให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับการศึกษาต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อควบคุมคุณภาพของอิฐมอญบดที่ใช้ในการวิจัยนี้มีลักษณะที่เหมือนกัน

นำอิฐมอญบดคัดขนาดทั้ง 3 ขนาด ไปทำการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีจากสารละลายสีย้อมผ้าบาติกที่เตรียมไว้ โดยการใช้สีย้อมผงที่ขายตามท้องตลาดสามสีด้วยกันคือ สีส้ม สีเขียวและสีม่วง นำสีย้อมผ้าบาติกผงแต่ละสีปริมาณ 0.5 mg ไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 L หลังจากนั้นนำสารละลายสีย้อมแต่ละสี ปริมาตร 100 ml เทลงชุดทดลองที่ทำจากขวด PET (Poly Ethylene Terephthalate) ที่เป็นขวดน้ำดื่มบรรจุขายตามท้องตลาด ปริมาตร 750 ml จำนวนเก้าขวด ที่ตัดก้นขวดออก และเจาะรูที่ฝาขวด (ลักษณะเดียวกับการศึกษาขั้นต้น) ซึ่งแต่ละขวดได้บรรจุอิฐมอญบดแต่ละขนาดลงไป (ขนาดอนุภาคโตกว่า 2.0 mm ขนาดอนุภาคระหว่าง 0.42-2.0 mm และขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 mm) โดยบรรจุอิฐมอญบดน้ำหนัก 100 g คิดเป็นสัดส่วนอิฐมอญบดต่อสารละลายสีย้อมเท่ากับ 1.0:1.0 โดยน้ำหนัก แล้วจับเวลาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกจากขวด

และเปรียบเทียบลักษณะของน้ำที่ได้ออกมาจากแต่ละขวด ซึ่งขั้นตอนในการศึกษานี้สามารถแสดงในรูปที่ 3.2

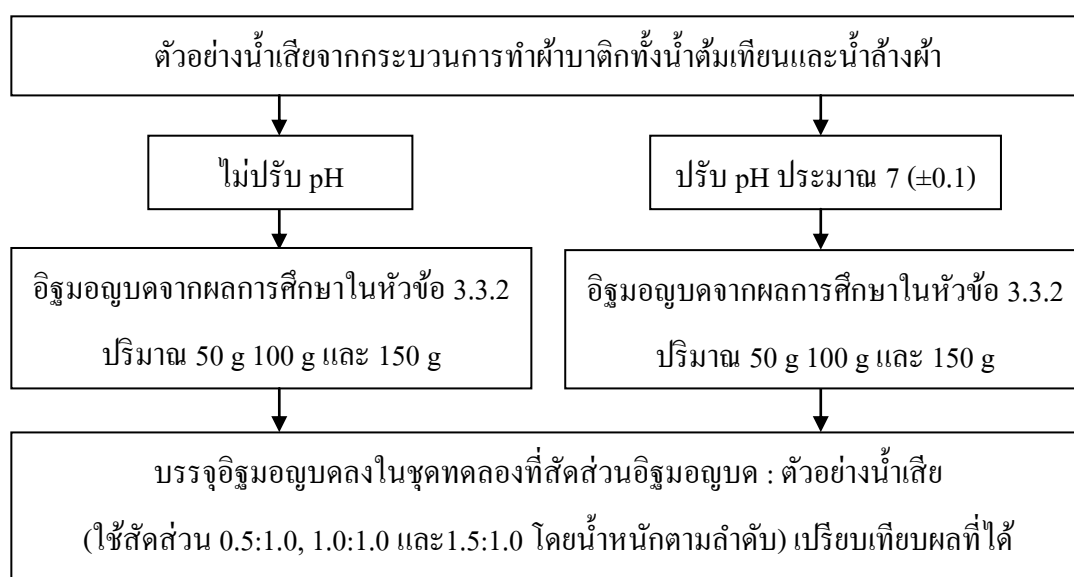


รูปที่ 3.2 การศึกษาผลของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากสารละลายสีข้อม

3.3.3 การศึกษาผลของปริมาณอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับและไม่ปรับ pH

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากการเก็บน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากร้านผลิตผ้าบาติกขนาดเล็กในจังหวัดภูเก็ต จากขั้นตอนการต้มลอกเทียน (น้ำต้มเทียน) และขั้นตอนการล้างทำความสะอาดผ้า (น้ำล้างผ้า) โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากทั้งสองขั้นตอนด้วยวิธีแบ่งถ่ายน้ำจากภาชนะรองรับหลังกระบวนการผลิตจริงในแต่ละครั้ง นำตัวอย่างน้ำเสียมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต โดยตัวอย่างน้ำเสียถูกนำมาพักไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

การศึกษานี้ทำโดยนำอิฐมอญขนาดอนุภาคที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีจากสารละลายสีย้อมดีที่สุดในหัวข้อที่ 3.3.2 บรรจุลงในชุดทดลองแบบเดียวกับชุดทดลองที่ใช้ศึกษาในหัวข้อที่ 3.3.2 โดยใช้ปริมาณของอิฐมอญขนาดอนุภาคดังกล่าวข้างต้นที่ปริมาณ 50 g, 100 g และ 150 g ตามลำดับ แล้วนำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งน้ำต้มเทียนและน้ำล้างผ้าตามลำดับ และจากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่ามีการใช้สาร โซเดียมซิลิเกต (Sodiumsilicate,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างแก่ จึงทำให้ pH ของน้ำเสียทั้งสองชนิดมีค่าสูง (pH ประมาณ 11) ดังนั้นเพื่อศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญ การศึกษานี้จึงทำการปรับ pH ของน้ำเสียทั้งจากกระบวนการลอกเทียนและกระบวนการล้างผ้าให้มีความเหมาะสม ซึ่งพบว่ามีผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Fahim Bin AbdurRahman (2013) เรื่อง “Dyes Removal From Textile Wastewater Using Orange Peels” ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของเปลือกกล้วยและส้มในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีดีที่สุดในสภาวะ pH ที่มีค่าเป็นกลางและจะมีประสิทธิภาพลดลง เมื่อน้ำทิ้งมีสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างแก่ การศึกษานี้จึงได้มีการปรับ pH ของน้ำเสียทั้งสองชนิดให้มีค่า  $7 \pm 0.1$  โดยใช้กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) แล้วนำน้ำเสียทั้งสองชนิดทั้งที่มีการปรับและไม่ปรับ pH โดยใช้สัดส่วนอิฐมอญบดต่อตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก 0.5:1.0, 1.0:1.0 และ 1.5:1.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทดลองในชุดทดลองที่ได้เตรียมไว้ และเปรียบเทียบสีของน้ำที่ผ่านชุดทดลองขั้นตอนในการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3.3



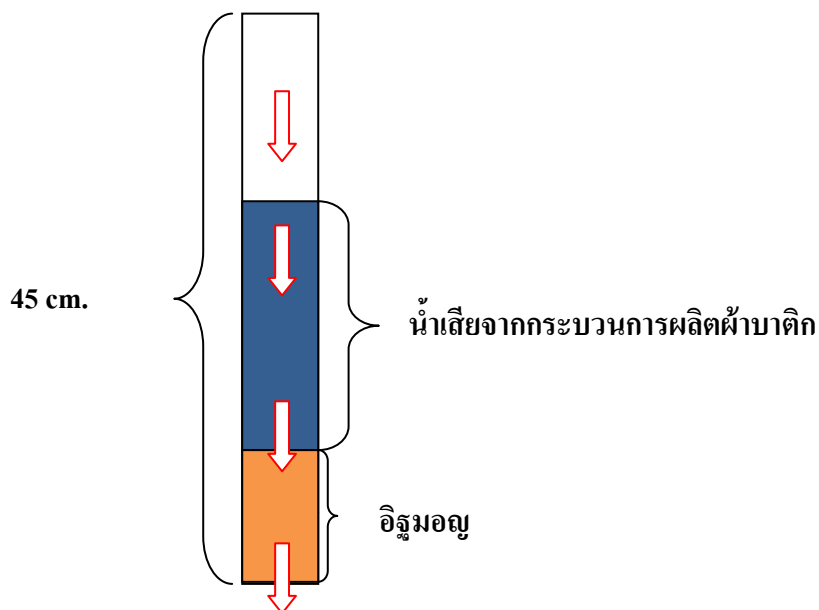
รูปที่ 3.3 การศึกษาผลของปริมาณอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับและไม่ปรับ pH

3.3.4 การศึกษาความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งแบบปรับและไม่ปรับ pH

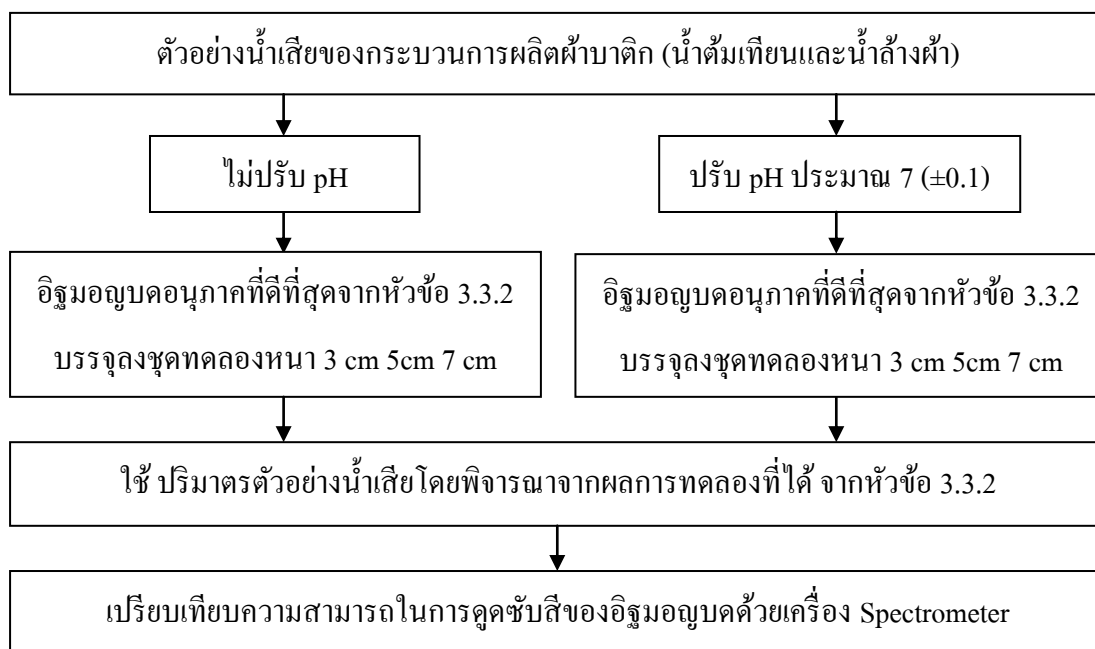
#### 3.3.4.1 การหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ของอิฐมอญบด

การศึกษานี้ทำการหาความหนาแน่นรวม(Bulk Density) ของอิฐมอญบดขนาดอนุภาคที่ได้จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 3.3.2 โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือนำอิฐมอญบดไปบรรจุลงในภาชนะที่มีปริมาตรจนเต็มและปาดเอาอิฐส่วนเกินออกจนเรียบเสมอกับปากภาชนะ จากนั้นยกภาชนะขึ้นที่ความสูงจากพื้นโต๊ะทดลองประมาณ 20 cm แล้วใช้เคาะก้นภาชนะลงไปที่พื้นโต๊ะด้วยแรงพอประมาณจนอิฐในภาชนะยุบตัวลงไป จากนั้นทำการเติมอิฐให้เต็มอีกครั้งแล้วทำตามขั้นตอนเดิมไปอีกประมาณ 4-5 ครั้งจนอิฐที่บรรจุในภาชนะไม่ยุบตัวอีก แล้วนำไปชั่งเทียบกับปริมาตร ก็จะได้น้ำหนักต่อปริมาตรของอิฐที่นำมาใช้ในการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกทำโดยใช้ชุดทดลองที่ทำจากท่อพีวีซี ที่มีชั้นความหนาของท่อ CL-5.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 45 cm ด้านล่างของท่อพีวีซีใส่ฝาครอบที่มีการเจาะรูขนาด 1 mm และรองด้วยอิฐหยาบสูง 5 mm เพื่อป้องกันป้องกันการอุดตัน จากนั้นนำอิฐมอญบดอนุภาคที่ดีที่สุดจากการศึกษาในหัวข้อ 3.3.2 บรรจุลงในชุดทดลอง 3 ชุด แต่ละชุดมีความหนาของชั้นอิฐมอญบด 3 cm 5 cm และ 7 cm ตามลำดับ โดยปริมาณที่บรรจุคำนวณจากค่า bulk density ที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้า จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันกับการศึกษาในหัวข้อที่ 3.3.3 (น้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งน้ำต้มเทียนและน้ำล้างผ้า) ที่ไม่ได้ปรับ pH เเทลงในชุดทดลองดังกล่าว โดยปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 3.3.2 เเทตัวอย่างน้ำเสียในปริมาตรเดิมซ้ำลงไปอีกสองครั้งเพื่อศึกษาความอิมตัวของอิฐมอญบดในการดูดซับสี นำน้ำที่ผ่านชุดทดลองไปวิเคราะห์สีโดยการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrometer ทำการทดลองซ้ำแบบเดียวกันกับที่ได้กล่าวข้างต้น แต่ใช้น้ำตัวอย่างที่มีการปรับ pH ของตัวอย่างน้ำทั้งสองด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เพื่อให้ตัวอย่างน้ำมีสถานะเป็นกลางโดยให้ค่า pH ของตัวอย่างน้ำอยู่ที่  $7 \pm 0.1$  แล้วเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของแต่ละสถานะและความหนาของชั้นอิฐมอญบดที่แตกต่างกัน โดยจะพิจารณาจากคุณสมบัติของน้ำเสียที่ได้หลังจากผ่านการดูดซับด้วยอิฐมอญบด ในแต่ละชุดทดลอง เพื่อนำผลที่ได้ไปศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสีที่ลดลงด้วยเครื่อง Spectrometer ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ชุดทดลองที่ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 45 cm



รูปที่ 3.5 การศึกษาความหนาของชั้นอิฐมอญต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งแบบปรับและไม่ปรับ pH

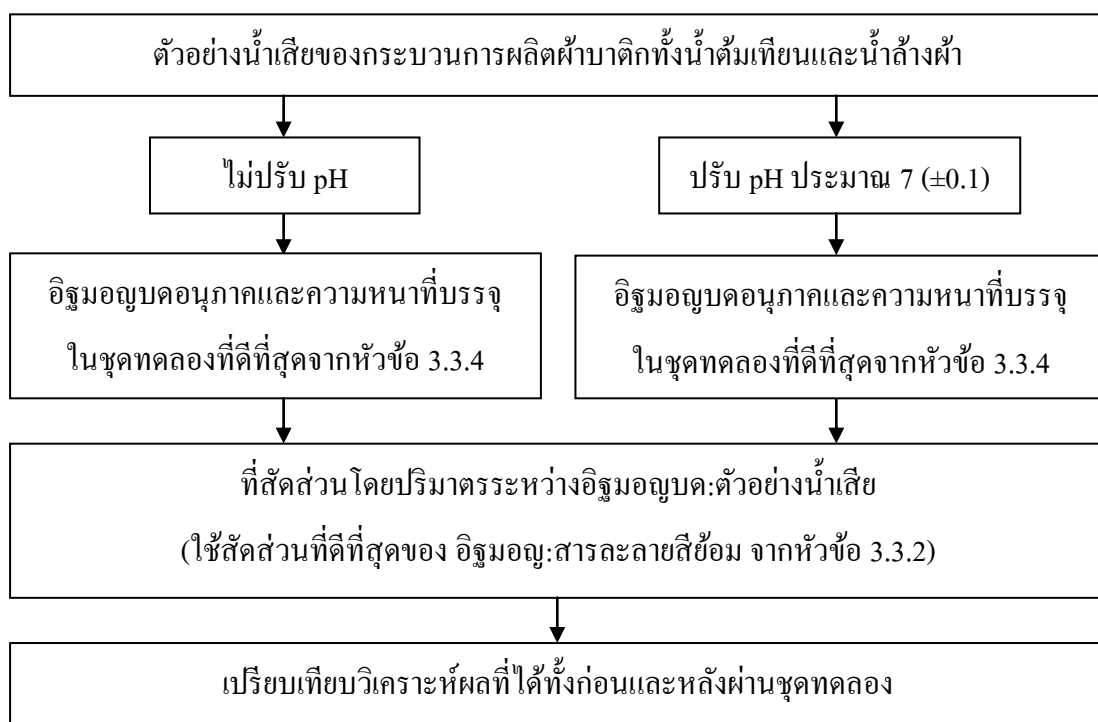
### 3.3.5 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญอบคในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติก

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากการเก็บน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากขั้นตอนการต้มลอกเทียน (น้ำต้มเทียน) และขั้นตอนการล้างทำความสะอาดผ้า (น้ำล้างผ้า) ด้วยวิธีแย่งถ่ายน้ำจากภาชนะรองรับหลังกระบวนการผลิตจริงในแต่ละครั้งรวมสามารถรอบโดยแต่ละรอบจะเก็บห่างกันประมาณหนึ่งเดือน ซึ่งตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาได้นั้นจะมากับรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการงานสิ่งแวดล้อมของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ตัวอย่างน้ำเสียจะถูกนำมาพักไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนนำไปใช้ในการทดลอง วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียตามวิธีการที่ระบุใน Standard Methods for Water and Wastewater Examination (22<sup>nd</sup> edition) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์สำหรับตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าบาติก

พารามิเตอร์	หน่วย	เครื่องมือ วิธีการ
สี Color	SU	Spectrometer
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	pH meter
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	Turbidity meter
ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	Conductivity meter
ซีโอดี (COD)	mg/l	Closed Reflux, Titrimetric Method
ความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	5 Days BOD Test
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	Dried at 103 °C
ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	Filtered and Dried at 180 °C
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	Atomic Absorption Spectrophotometer

การศึกษานี้ยังคงใช้ชุดทดลองแบบเดียวกับการศึกษาในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการนำผลที่ได้จากการคัดเลือกความหนาที่ดีที่สุดของอิฐมอญบดในชุดทดลองไปทำการทดลองกับตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งสามรอบของการเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อมาทำการศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้ทั้งก่อนและหลังผ่านชุดทดลองทั้งในแบบที่ไม่ปรับ pH และทำการปรับ pH ของน้ำตัวอย่างให้มีค่าประมาณ  $7 (\pm 0.1)$  ด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ดังรูปที่ 3.6



**รูปที่ 3.6** การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติก



## บทที่ 4

### ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงขนาดของอนุภาคของอิฐมอญบด ต่อประสิทธิภาพของการกำจัดสีและโลหะหนัก รวมถึงสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีและโลหะหนักที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก ด้วยอิฐมอญบด

#### 4.1 การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดกับวัสดุดูดซับอื่นด้วยสารละลายสีย้อม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของอิฐมอญบดกับวัสดุดูดซับอื่นที่หาได้ง่ายในท้องตลาด ได้แก่ ทราายและถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) โดยใช้สารละลายสีย้อมที่เป็นสีแดง ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำที่ไหลผ่านสารดูดซับทั้งสามชนิด พบว่าน้ำที่ไหลผ่านอิฐมอญบดมีลักษณะค่อนข้างใส น้ำที่ไหลผ่านทราายมีลักษณะเป็นสีส้มจาง ๆ ส่วนน้ำที่ไหลผ่านถ่านกัมมันต์ยังคงมีลักษณะคล้ายกับสารละลายสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าอิฐมอญบดมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับทราายและถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของช่องว่างในสารดูดซับที่แตกต่างกัน จึงทำให้การไหลของน้ำแตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีแตกต่างกันไปด้วย กล่าวคือ ขนาดของช่องว่างในถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่ที่สุดทำให้เวลาที่น้ำเสียไหลผ่านชุดทดลองที่บรรจุถ่านกัมมันต์ออกมาเร็วที่สุดประมาณ 5 วินาที จนกระบวนการดูดซับอาจไม่เกิดขึ้น รองลงมาคือทราายละเอียด เวลาที่น้ำเสียไหลผ่านชุดทดลองออกมาประมาณ 1.5 ชั่วโมง และเวลาที่น้ำเสียไหลผ่านอิฐมอญบดใช้เวลามากกว่า 6 ชั่วโมง ดังนั้นจากการศึกษาคุณสมบัติขั้นต้นของอิฐมอญบดเทียบกับวัสดุดูดซับอื่นพบว่า นอกจากชนิดของวัสดุดูดซับที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีขนาดของอนุภาคของวัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน ซึ่งอนุภาคของวัสดุดูดซับที่เล็กกว่าน่าจะดูดซับสีได้ดีกว่า เพราะมีขนาดของช่องว่างที่เล็กพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการดูดซับได้ สอดคล้องกับการศึกษาของพรสวรรค์และคณะ (2553) ที่กล่าวว่า การเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับตัวดูดซับ ทั้งนี้เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลระยะเวลาจะไม่มีผลใด ๆ กับการดูดซับอีกเลย



**รูปที่ 4.1** การศึกษาขั้นต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีของ ถ่านกัมมันต์ ทรายละเอียด และอิฐมอญบด

#### 4.2 การศึกษาผลของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากสารละลายสีข้อม

การศึกษขนาดของอนุภาคอิฐมอญบดที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีจากสารละลายสีข้อม โดยใช้อิฐมอญบดขนาดอนุภาคโตกว่า 2.0 มิลลิเมตร อนุภาคระหว่าง 0.42-2.0 มิลลิเมตร และอนุภาคเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ สัดส่วนอิฐมอญบดต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0 โดยน้ำหนัก พบว่า เวลาที่น้ำไหลผ่านอิฐมอญบดขนาดอนุภาคโตกว่า 2.0 มิลลิเมตร และอนุภาคระหว่าง 0.42-2.0 มิลลิเมตร ประมาณ 5-7 วินาที และ 15-20 นาที ตามลำดับ โดยพบว่า อิฐมอญบดทั้งสองขนาดอนุภาคนั้น ไม่สามารถดูดซับสีจากสารละลายสีข้อมทั้งสามสีคือ สีม่วง สีเขียว และสีส้มได้เลย (รูปที่ 4.2 และ 4.3) รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอิฐมอญขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร สามารถดูดซับสีจากสารละลายสีข้อมสีส้ม สีเขียวและสีม่วงได้ แต่ไม่สามารถดูดซับสีเหลืองและแดงได้ดีนัก และเวลาที่น้ำไหลผ่านอนุภาคอิฐมอญบดประมาณ 35-40 นาที เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของน้ำที่ผ่านการดูดซับของอนุภาคอิฐมอญบดแต่ละขนาดสามารถสรุปได้ว่า อิฐมอญบดที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ทั้งนี้ เพราะอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่า และช่องว่างระหว่างอนุภาคที่เล็กกว่าทำให้เวลาที่น้ำไหลผ่านอิฐมอญบดยาวนานกว่า ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาในการดูดซับยาวนานกว่าอิฐมอญบดที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง “การดูดซับสีข้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ” ของพรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และคณะ (2553) ที่กล่าวว่าปริมาณตัวดูดซับที่เท่ากันแต่มีขนาดต่างกัน

พบว่า ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถดูดซับปริมาณสีข้อมได้ดีกว่า เนื่องจากอนุภาคที่เล็กทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายมากการดูดซับจึงเกิดขึ้นได้ดี



**รูปที่ 4.2** ผลการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดอนุภาค 2.0 มิลลิเมตร ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0



**รูปที่ 4.3** ผลการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดอนุภาคระหว่าง 0.42-2.0 มิลลิเมตร ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0



**รูปที่ 4.4** ผลการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่สัดส่วนของอิฐมอญต่อสารละลายสีข้อม 1.0:1.0

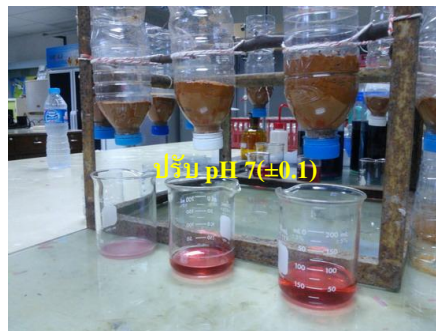
#### 4.3 การศึกษาผลของปริมาณอิฐมอญต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับและไม่ปรับ pH

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากการเก็บน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากร้านผลิตผ้าบาติกขนาดเล็กในจังหวัดภูเก็ต จากขั้นตอนการต้มลอกเทียน (น้ำต้มเทียน) และขั้นตอนการล้างทำความสะอาดผ้า (น้ำล้างผ้า) (รูปที่ 4.5) นำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการงานสิ่งแวดล้อมของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต โดยพักตัวอย่างน้ำเสียน้ำเสียไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง



**รูปที่ 4.5** น้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติก

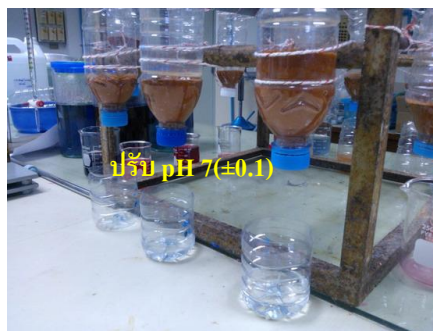
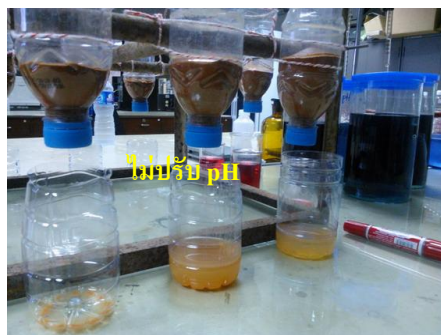
เนื่องจากในกระบวนการผลิตผ้าบาติกนั้นมีการใช้โซเดียมซิลิเกต (Sodiumsilicate,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างแก่ ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีค่า pH ค่อนข้างสูง และจากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของอิฐมอญพบว่าโครงสร้างของดินเหนียวที่เป็นส่วนประกอบของการทำอิฐมอญนั้นมีผลึกที่มีลักษณะเป็นแผ่นรูปหกเหลี่ยมแบนๆ โครงสร้างนี้จะมีลักษณะพิเศษคือ เมื่ออนุภาคดินได้รับน้ำที่มีสภาพที่เป็นกลาง หรือ เป็นกรด หรือด่างอ่อนๆ โครงสร้างที่ส่วนด้านหน้าของแผ่นจะทำปฏิกิริยากับน้ำ จนเกิดโครงสร้างเป็นประจุลบ ขณะที่บริเวณด้านขอบแผ่นเกิดโครงสร้างเป็นประจุบวก ดังนั้นจึงเกิดแรงดึงดูดของขั้วบวกและลบระหว่างส่วนหน้าของแผ่นหนึ่งกับส่วนขอบของอีกแผ่นหนึ่งต่อเนื่องกันไป (ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาโดยไม่ปรับค่า pH และปรับค่า pH ของน้ำเสียทั้งจากกระบวนการลอกเทียนและกระบวนการล้างผ้าให้เป็นกลาง (pH ประมาณ 7) จากนั้นนำไปทำการทดลองแบบเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 4.2 โดยใช้อิฐมอญขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่ปริมาณของอิฐ 50 กรัม, 100 กรัม และ 150 กรัม ตามลำดับ โดยนำไปทดลองกับน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณ 100 มิลลิลิตร คิดเป็นสัดส่วนของอิฐมอญต่อน้ำตัวอย่าง 0.5:1.0, 1.0:1.0 และ 1.5:1.0 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ากรณีของน้ำต้มเทียนที่ไม่ได้ปรับค่า pH เมื่อเปรียบเทียบสีก่อนและหลังผ่านชุดทดลองมีสีที่ไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.6) แต่เมื่อมีการปรับค่า pH เป็น 7 พบว่าน้ำต้มเทียนหลังผ่านชุดทดลองมีสีอ่อนลงเล็กน้อยทั้งสามสัดส่วนปริมาณของอิฐมอญ (รูปที่ 4.7) ส่วนผลการทดลองของน้ำล้างผ้ากรณีที่ไม่ได้ปรับค่า pH พบว่าสีของน้ำล้างผ้าหลังผ่านชุดทดลองมีสีเข้มกว่าเดิม (รูปที่ 4.8) ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากค่า pH ที่สูงนั้นทำให้น้ำล้างผ้าชะเอาตะกอนของอิฐออกมาจึงทำให้สีของน้ำหลังผ่านชุดทดลองมีสีเข้มขึ้น แต่เมื่อปรับค่า pH เป็น 7 พบว่าอิฐมอญมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีได้ดีทั้งสามสัดส่วนปริมาณของอิฐมอญ (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร จากน้ำต้มเทียนที่ไม่ได้ปรับ และปรับค่า pH



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่สัดส่วนของอิฐมอญค่อน้ำดื่มเทียบ (ที่ปรับค่า pH) 0.5:1.0, 1.0:1.0 และ 1.5:1.0 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร จากน้ำล้างผ้าที่ไม่ได้ปรับ และปรับค่า pH



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่สัดส่วนของอิฐมอญค่อน้ำล้างผ้า (ที่ปรับ pH) 0.5:1.0, 1.0:1.0 และ 1.5:1.0 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีของอิฐมอญบดจากการทดลองด้วยสารละลายสีย้อมในหัวข้อ 4.2 กับการทดลองด้วยน้ำตัวอย่างจากระบวนการทำผ้าบาติกพบว่า ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเพราะน้ำตัวอย่างจากระบวนการทำผ้าบาติกนั้นมีส่วนประกอบที่แตกต่างจากสารละลายสี เช่น สารซักฟอก น้ำส้มสายชู และ โซเดียมซิลิเกต (Sodiumsilicate,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ในกระบวนการผลิตผ้าบาติกใช้โซเดียมซิลิเกตเพื่อทำให้สีผ้าบาติกไม่ตกและสลายสีขึ้น สอดคล้องกับ ข้อมูลของ Yagub และคณะ (2014) ที่กล่าวว่า การดูดซับสารละลายสีย้อมที่มีประจุบวก (cationic dye) มักจะเกิดที่สภาวะ pH ที่มีค่าสูงกว่าค่า pH ที่พื้นผิวเป็นศูนย์ (the point of zero charge,  $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ) ในขณะที่การดูดซับสารละลายสีย้อมที่มีประจุบวก (anionic dye) มักจะเกิดที่สภาวะ pH ที่มีค่าต่ำกว่าค่า  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  โซเดียมซิลิเกตทำให้น้ำตัวอย่างมีสภาวะเป็นด่างแก่ (pH มีค่าประมาณ 10-11) อาจทำให้ค่า pH สูงกว่าค่า  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  ส่งผลให้การดูดซับสีของอิฐมอญบดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของอิฐมอญบดต่อน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมเป็น 1.0:1.0 เพราะเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีกับสัดส่วน 0.5:1.0 พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะที่สัดส่วนอิฐมอญบดต่อน้ำตัวอย่าง 0.5:1.0 นั้นปริมาณอิฐมอญบดอาจมีน้อยเกินไปทำให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาดูดซับน้อย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีกับที่สัดส่วน 1.5:1.0 พบว่าให้ผลในการดูดซับสีที่ใกล้เคียงกัน แต่สัดส่วนของอิฐมอญบดต่อน้ำตัวอย่าง 1.5:1.0 นั้นต้องใช้ปริมาณอิฐมอญบดมากกว่าและใช้ระยะเวลาการดูดซับที่มากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของพรสวรรค์และคณะ (2553) ที่กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีเพิ่มขึ้น

#### 4.4 การศึกษาความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งแบบปรับและไม่ปรับ pH

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ของอิฐมอญบดขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.0038 กรัม/มิลลิเมตร ปริมาณของอิฐมอญบดที่ใช้ในแต่ละคอลัมน์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 คอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนปริมาตรต่อน้ำหนักของอิฐมอญบดอนุภาคขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่ใช้บรรจุในชุดทดลอง

ความหนาของชั้นอิฐมอญบด ที่บรรจุในชุดทดลอง (เซนติเมตร)	ปริมาตร (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
3	58	60
5	98	100
7	137	140

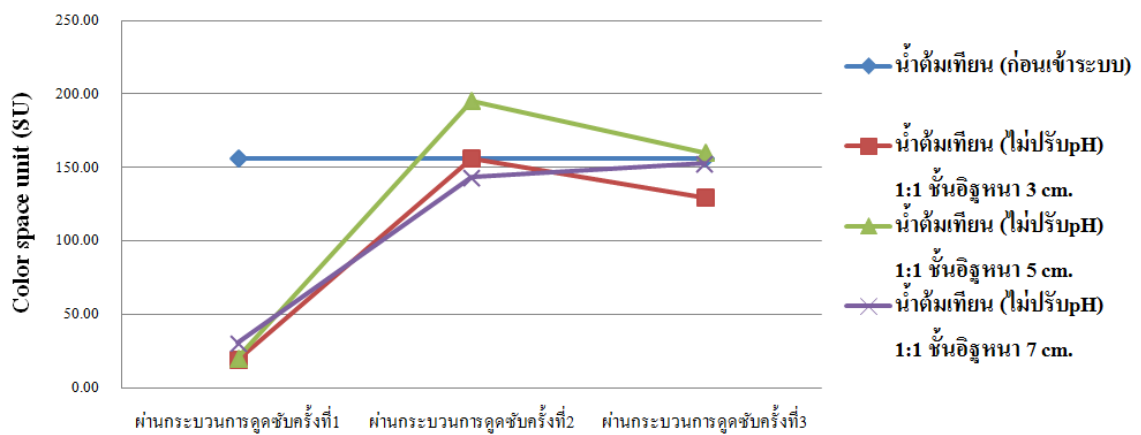


รูปที่ 4.10 ชุดทดลองที่ใช้สำหรับทดสอบความสามารถในการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียที่ได้มาจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

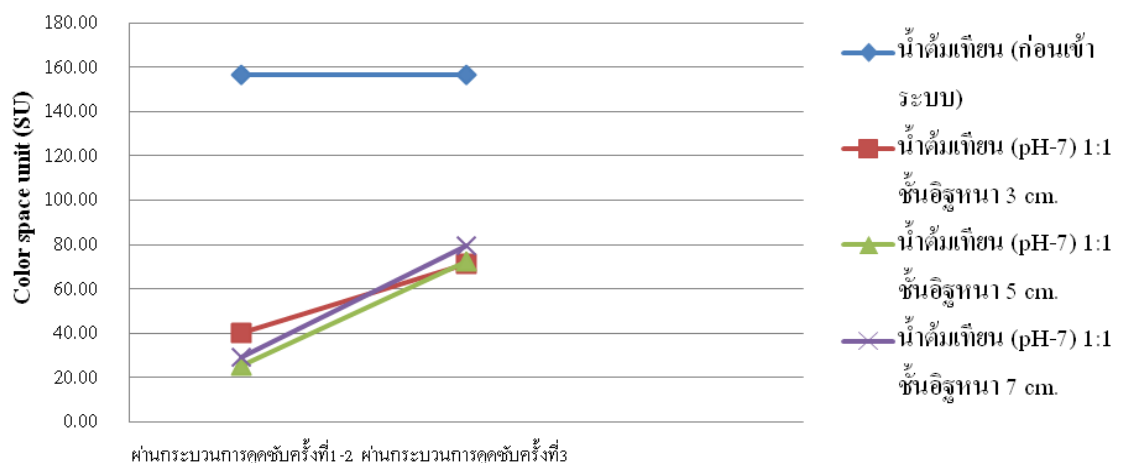
#### 4.4.1 ความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำต้มเทียน

ผลการทดลองเมื่อใช้น้ำต้มเทียนที่ไม่ได้ทำการปรับค่า pH พบว่าอิฐมอญบดทุกชั้นความหนามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีดีในครั้งแรก แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับสีลดลงเมื่อทำการเทซ้ำในครั้งที่สองและสาม (รูปที่ 4.11) แต่เมื่อใช้น้ำต้มเทียนที่ได้ปรับค่า pH แล้วพบว่าสามารถใช้อิฐมอญบดในการดูดซับสีได้มากกว่าหนึ่งครั้ง โดยที่ประสิทธิภาพในการดูดซับสีในครั้งที่สามมีค่าประมาณ 50% (รูปที่ 4.12)





รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำดื่มเทียนที่ไม่ปรับ pH

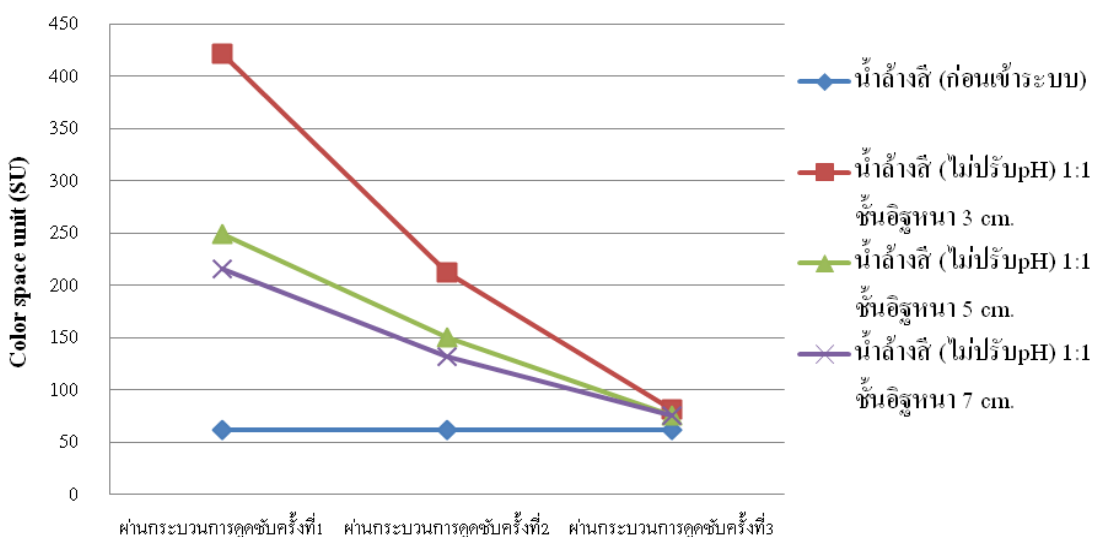


รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำดื่มเทียนที่ปรับ pH

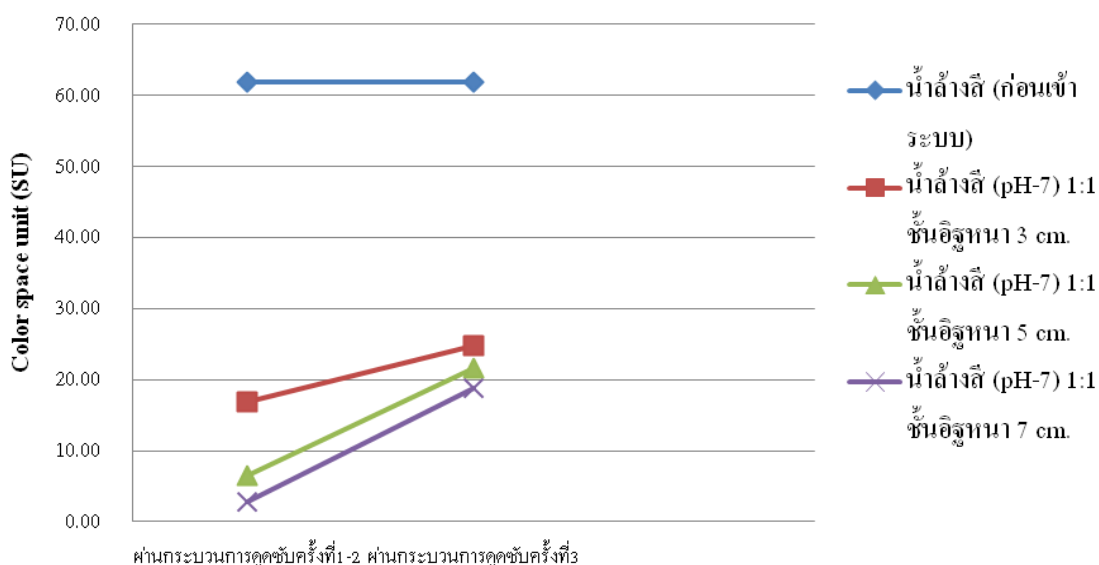
ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปรับ pH ของน้ำดื่มเทียนทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีของอิฐมอญบดดีกว่ากรณีที่ไม่ได้ปรับค่า pH ของน้ำ สอดคล้องกับรายงานของ Yagub และคณะ (2014) ที่กล่าวว่า การดูดซับสารละลายสีข้อมที่มีประจุบวก (anionic dye) มักจะเกิดที่สภาวะ pH ที่มีค่าต่ำกว่าค่า pH ที่พื้นผิวเป็นศูนย์ (the point of zero charge,  $pH_{pzc}$ ) แสดงว่าการปรับ pH ของน้ำทำให้ค่า pH ของน้ำเสียดต่ำกว่าค่า  $pH_{pzc}$  ทำให้อิฐมอญบดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีมีมากขึ้น

4.4.2 ความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำล้างผ้า

ผลการทดลองเมื่อใช้น้ำล้างผ้าที่ไม่ได้ทำการปรับค่า pH พบว่าอิฐมอญบดทุกชั้นความหนาไม่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสี เพราะมีการชะเอาสีของอิฐมอญบดออกมา (รูปที่ 4.13) แต่เมื่อใช้น้ำล้างผ้าที่ได้ปรับค่า pH แล้วพบว่าสามารถใช้อิฐมอญบดในการดูดซับสีได้มากกว่าหนึ่งครั้งโดยที่ประสิทธิภาพในการดูดซับสีในครั้งที่สามมีค่าประมาณร้อยละ 40 (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำล้างผ้าที่ไม่ปรับ pH



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในแต่ละชั้นความหนาของอิฐมอญบดจากน้ำล้างผ้าที่ปรับ pH

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับ pH ของน้ำล้างผ้าทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีของอิฐมอญบดดีกว่ากรณีที่ไม่ได้ปรับค่า pH ของน้ำ สอดคล้องกับรายงานของ Yagub และคณะ (2014) ที่กล่าวว่า การดูดซับสารละลายสีย้อมที่มีประจุบวก (anionic dye) มักจะเกิดที่สภาวะ pH ที่มีค่าต่ำกว่าค่า pH ที่พื้นผิวเป็นศูนย์ (the point of zero charge,  $pH_{pzc}$ ) แสดงว่าการปรับ pH ของน้ำทำให้ค่า pH ของน้ำเสียดต่ำกว่าค่า  $pH_{pzc}$  ทำให้อิฐมอญบดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีมีมากขึ้น

ผลการศึกษาค้นคว้าความหนาของชั้นอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำต้มเทียนและน้ำล้างผ้า ที่ได้ทำการปรับ pH พบว่าชั้นความหนาของอิฐมอญบดที่บรรจุลงในชุดทดลองนั้น มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีของอิฐมอญบด โดยพบว่าเมื่อชั้นความหนาของอิฐมอญบดมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับสีก็จะสูงขึ้นด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Yagub คณะ (2553) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพของการดูดซับสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น แต่ในเชิงเศรษฐศาสตร์ จะใช้ปริมาณตัวดูดซับที่น้อยที่สุดที่ให้ผลการดูดซับสูง และเมื่ออิฐมอญบดหนาขึ้น เวลาในการดูดซับก็จะมากขึ้นด้วย โดยอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.2 ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่ความหนาของชั้นอิฐมอญบด 5 เซนติเมตร และ 7 เซนติเมตร ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทั้งน้ำต้มเทียนและน้ำล้างผ้า ดังนั้นความหนาของชั้นอิฐมอญบดที่เหมาะสมคือ 5 เซนติเมตร

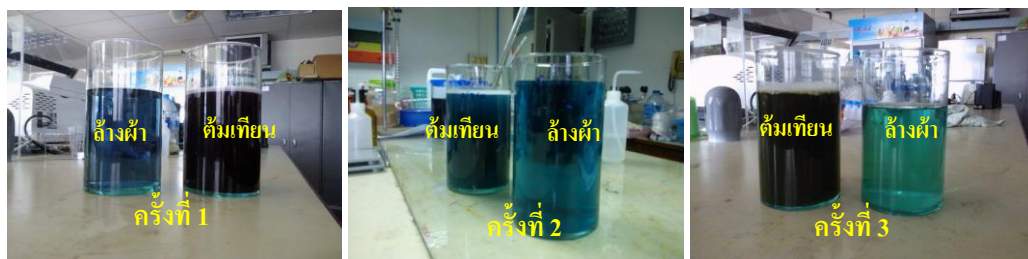
ตารางที่ 4.2 อัตราการไหลของน้ำตัวอย่าง ผ่านชั้นความหนาของอิฐมอญบด

ความหนาของอิฐมอญบด (เซนติเมตร)	อัตราการไหลของน้ำตัวอย่าง	
	น้ำล้างผ้า (มิลลิลิตร/นาท)	น้ำต้มเทียน (มิลลิลิตร/นาท)
3	-	0.19
5	0.14	0.14
7	0.13	0.13

#### 4.5 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการผลิตผ้าบาติก

การศึกษานี้ใช้ชุดทดลองแบบเดียวกันกับการศึกษาในหัวข้อที่ 4.4 โดยใช้อิฐมอญบดที่มีอนุภาคของอิฐขนาด 0.42 มิลลิเมตร และความหนาของอิฐมอญบดที่บรรจุลงในชุดทดลองคือ 5 เซนติเมตร โดยนำมาทดลองกับตัวอย่างน้ำจริงที่เก็บมาโดยวิธีแบ่งถ่ายน้ำจากภาชนะรองรับหลังการผลิต ทำการทดลองซ้ำอีกสองครั้ง โดยเก็บตัวอย่างน้ำห่างกันประมาณหนึ่งเดือน ตัวอย่าง

น้ำเสียที่เก็บมาในแต่ละครั้ง ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ตัวอย่างน้ำเสียจะถูกนำมาพักไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 น้ำล้างผ้า และน้ำต้มเทียน จากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาในแต่ละครั้งถูกนำมาวิเคราะห์หาลักษณะพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธีการที่ได้มีระบุใน Standard Methods for Water and Wastewater Examination (22<sup>nd</sup> edition) ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์หาลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งสองประเภท คือน้ำจากกระบวนการต้มดอกเทียนออกจากผ้า (น้ำต้มเทียน) และน้ำจากกระบวนการล้างทำความสะอาดผ้า (น้ำล้างผ้า)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ย		มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		น้ำล้างผ้า	น้ำต้มเทียน	
สี (Color)	SU	38.08 (±20.85)	331.26 (±158.11)	ไม่รังเกียจ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	10.66 (±1.06)	10.75 (±0.43)	5.5-9.0
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	4.61 (±2.80)	201.56 (±47.94)	-
ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	4.88 (±4.57)	11.65 (±2.52)	-
ซีโอดี (COD)	mg/l	60.33 (±39.14)	4760.00 (±905.98)	≤ 120
บีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	15.92 (±20.20)	209.67 (±41.68)	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	17.50 (±10.81)	246.17 (±32.75)	≤ 50

ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	7930.50 (±8015.72)	15440.50 (±5042.75)	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.19 (±0.04)	0.18 (±0.11)	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.04 (±0.03)	0.01 (±0.004)	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.05 (±0.02)	0.36 (±0.085)	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียม (Cr)	mg/l	0.02 (±0.01)	0.006 (±0.001)	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.01 (±0.003)	0.005 (±0.001)	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	1254.93 (±1188.94)	181.62 (±139.17)	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ผลการศึกษาพบว่าน้ำเสียจากระบวนการผลิตผ้าบาติกทั้งสองชนิดมีหลายพารามิเตอร์ที่มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งต้องมีการบำบัดให้น้ำมีคุณภาพอยู่ในค่ามาตรฐานก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากระบวนการผลิตผ้าบาติกโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 200 ลิตรต่อวัน โดยคิดเป็นน้ำล้างผ้าประมาณ 180 ลิตร (ร้อยละ 90 ของน้ำเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต) และน้ำต้มเทียนประมาณ 20 ลิตร (ร้อยละ 10 ของน้ำเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต) อย่างไรก็ตามแม้ว่าน้ำต้มเทียนจะมีปริมาณน้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับน้ำล้างผ้า แต่ค่าความสกปรกของน้ำต้มเทียนนั้นค่อนข้างสูง โดยเฉพาะ สี (Color) จะมีความเข้มสีสูงกว่าน้ำล้างผ้าประมาณ 10 เท่า, ความขุ่น (Turbidity) มากกว่าประมาณ 50 เท่า, ซีโอดี (COD) มากกว่าประมาณ 70 เท่า, บีโอดี (BOD<sub>5</sub>) มากกว่าประมาณ 15 เท่าและของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) มากกว่าประมาณ 2 เท่า

4.5.1 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำต้มเทียน

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำของน้ำต้มเทียนกรณีที่ไม่ได้ปรับค่า pH เมื่อนำไปผ่านกระบวนการดูดซับของชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำดื่ม  
 เทียนกรณีที่ไม่ปรับ pH

พารามิเตอร์	น้ำดื่มเทียน ไม่ปรับ pH		มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
	ก่อนผ่านชุดทดลอง	หลังผ่านชุดทดลอง	
Color (SU)	331.26 (±158.11)	120.08 (±158.11)	ไม่รังเกียจ
pH	10.75(±0.43)	9.09 (±158.11)	5.5-9.0
Turbidity (NTU)	201.56(±47.94)	40.85 (±158.11)	-
Conductivity (ms/cm)	11.65(±2.52)	6.06 (±158.11)	-
COD (mg/l)	4,760.00(±905.98)	4,533.33 (±158.11)	≤ 120
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	209.67(±41.68)	135.66 (±158.11)	≤ 20
TSS (mg/l)	246.17(±32.75)	481.33 (±158.11)	≤ 50
TDS (mg/l)	15,440.50(±5,042.75)	9,594.33 (±158.11)	≤ 3,000
Cu (mg/l)	0.178 (±0.11)	0.250 (±158.11)	≤ 2.0
Pb (mg/l)	0.011 (±0.004)	0.004 (±158.11)	≤ 0.2
Zn (mg/l)	0.357 (±0.085)	0.190 (±158.11)	≤ 5.0
Cr (mg/l)	0.006 (±0.001)	0.019 (±158.11)	≤ 0.25
Cd (mg/l)	0.005 (±0.001)	0.007 (±158.11)	≤ 0.03
Silica (mg/l)	181.62(±139.17)	106.23 (±158.11)	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
 โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำดื่มเทียน กรณีที่มีการปรับ pH เมื่อผ่านชุดทดลอง ดังแสดงใน  
 ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำดื่ม  
เทียบ กรณีที่มีการปรับ pH

พารามิเตอร์	น้ำดื่มเทียบปรับ pH-7( $\pm 0.1$ )		มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
	ก่อนผ่านชุดทดลอง	หลังผ่านชุดทดลอง	
Color (SU)	331.26 ( $\pm 158.11$ )	94.40 ( $\pm 38.25$ )	ไม่รังเกียจ
pH	7.00( $\pm 0.00$ )	8.13 ( $\pm 0.20$ )	5.5-9.0
Turbidity (NTU)	201.56( $\pm 47.94$ )	32.95 ( $\pm 45.94$ )	-
Conductivity (ms/cm)	11.65( $\pm 2.52$ )	11.81 ( $\pm 2.59$ )	-
COD (mg/l)	4,760.00( $\pm 905.98$ )	2,414.66 ( $\pm 1,023.56$ )	$\leq 120$
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	209.67( $\pm 41.68$ )	43.83 ( $\pm 29.98$ )	$\leq 20$
TSS (mg/l)	246.17( $\pm 32.75$ )	123.00 ( $\pm 134.81$ )	$\leq 50$
TDS (mg/l)	15,440.50( $\pm 5,042.75$ )	13,680.33 ( $\pm 3,451.57$ )	$\leq 3,000$
Cu (mg/l)	0.178 ( $\pm 0.11$ )	0.109 ( $\pm 0.040$ )	$\leq 2.0$
Pb (mg/l)	0.011 ( $\pm 0.004$ )	0.010 ( $\pm 0.004$ )	$\leq 0.2$
Zn (mg/l)	0.357 ( $\pm 0.085$ )	0.135 ( $\pm 0.051$ )	$\leq 5.0$
Cr (mg/l)	0.006 ( $\pm 0.001$ )	0.031 ( $\pm 0.010$ )	$\leq 0.25$
Cd (mg/l)	0.005 ( $\pm 0.001$ )	0.005 ( $\pm 0.001$ )	$\leq 0.03$
Silica (mg/l)	181.62 ( $\pm 139.17$ )	36.93 ( $\pm 5.155$ )	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

จากผลการทดลองพบว่าน้ำดื่มเทียบสามารถกำจัดสี สารอินทรีย์ และ โลหะหนักได้ดี  
เมื่อทำการปรับ pH ของน้ำ ทั้งนี้แสดงว่าโซเดียมซิลิเกตที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต มีผลทำให้  
ค่า pH ของน้ำมีค่ามากกว่าค่า  $pH_{pzc}$  แต่เมื่อปรับค่า pH ของน้ำทำให้ค่า pH ต่ำกว่าค่า  $pH_{pzc}$  ทำให้อิฐ  
มอญบดสามารถดูดซับสีและโลหะหนักได้ดีขึ้น นอกจากนี้การปรับ pH ของน้ำยังอาจทำให้  
สารอินทรีย์ที่ถูกจับอยู่กับสารประกอบของโซเดียมซิลิเกตหรือโลหะหนักต่าง ๆ ละลายออกมา ทำ  
ให้เกิดการดูดซับอยู่กับอิฐมอญบดได้ดีขึ้น

4.5.2 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีและการบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำล้างผ้า

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำของน้ำล้างผ้ากรณีที่ไม่ได้ปรับค่า pH เมื่อนำไปผ่านกระบวนการดูดซับของชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำล้างผ้า กรณีที่ไม่ปรับ pH

พารามิเตอร์	น้ำล้างผ้าไม่ปรับ pH		มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
	ก่อนผ่านชุดทดลอง	หลังผ่านชุดทดลอง	
Color (SU)	38.08 ( $\pm 20.85$ )	274.96 ( $\pm 216.15$ )	ไม่รังเกียจ
pH	10.66 ( $\pm 1.06$ )	9.39 ( $\pm 1.74$ )	5.5-9.0
Turbidity (NTU)	4.61 ( $\pm 2.80$ )	331.33 ( $\pm 227.54$ )	-
Conductivity (ms/cm)	4.88 ( $\pm 4.57$ )	0.09 ( $\pm 0.15$ )	-
COD (mg/l)	60.33 ( $\pm 39.14$ )	135.33.00 ( $\pm 122.87$ )	$\leq 120$
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	15.92 ( $\pm 20.20$ )	11.33 ( $\pm 10.97$ )	$\leq 20$
TSS (mg/l)	17.50 ( $\pm 10.81$ )	215.67 ( $\pm 193.34$ )	$\leq 50$
TDS (mg/l)	7,930.50 ( $\pm 8,015.72$ )	5,172.67 ( $\pm 5,765.60$ )	$\leq 3,000$
Cu (mg/l)	0.191 ( $\pm 0.04$ )	0.22 ( $\pm 0.18$ )	$\leq 2.0$
Pb (mg/l)	0.046 ( $\pm 0.03$ )	0.02 ( $\pm 0.017$ )	$\leq 0.2$
Zn (mg/l)	0.056 ( $\pm 0.02$ )	0.09 ( $\pm 0.06$ )	$\leq 5.0$
Cr (mg/l)	0.019 ( $\pm 0.01$ )	0.03 ( $\pm 0.016$ )	$\leq 0.25$
Cd (mg/l)	0.009 ( $\pm 0.003$ )	0.01 ( $\pm 0.004$ )	$\leq 0.03$
Silica (mg/l)	1,254.93 ( $\pm 1,188.94$ )	671.23 ( $\pm 861.41$ )	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำล้างผ้า กรณีที่มีการปรับ pH เมื่อผ่านชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.7



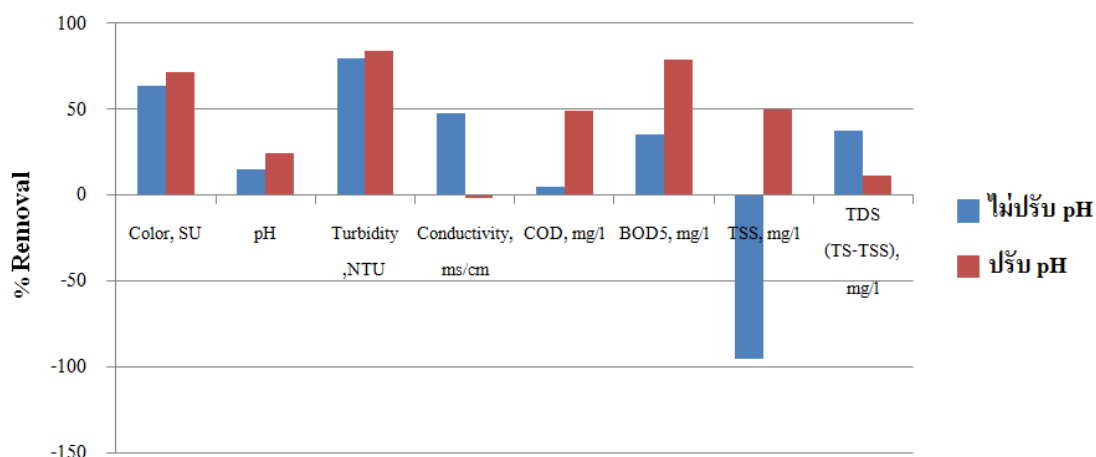
ตารางที่ 4.7 ความสามารถของอิฐมอญบด ในการดูดซับสีและการบำบัดค่าความสกปรกของน้ำล้าง  
ผ้ากรณีที่มีการปรับ pH

พารามิเตอร์	น้ำล้างผ้าปรับ pH-7(±0.1)		มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
	ก่อนผ่านชุดทดลอง	หลังผ่านชุดทดลอง	
Color (SU)	38.08 (±20.85)	17.02 (±2.94)	ไม่รังเกียจ
pH	7.00 (±0.00)	7.60 (±0.08)	5.5-9.0
Turbidity (NTU)	4.61 (±2.80)	9.42 (±3.25)	-
Conductivity (ms/cm)	4.88 (±4.57)	6.82 (±8.17)	-
COD (mg/l)	60.33 (±39.14)	89.33 (±52.20)	≤ 120
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	15.92 (±20.20)	19.16 (±9.29)	≤ 20
TSS (mg/l)	17.50 (±10.81)	139.33 (±228.77)	≤ 50
TDS (mg/l)	7,930.50 (±8,015.72)	7,507.16 (±7,581.91)	≤ 3,000
Cu (mg/l)	0.191 (±0.04)	0.016 (±0.006)	≤ 2.0
Pb (mg/l)	0.046 (±0.03)	0.016 (±0.013)	≤ 0.2
Zn (mg/l)	0.056 (±0.02)	0.063 (±0.34)	≤ 5.0
Cr (mg/l)	0.019 (±0.01)	0.030 (±0.19)	≤ 0.25
Cd (mg/l)	0.009 (±0.003)	0.020 (±0.26)	≤ 0.03
Silica (mg/l)	1,254.93 (±1,188.94)	61.43 (±42.99)	-

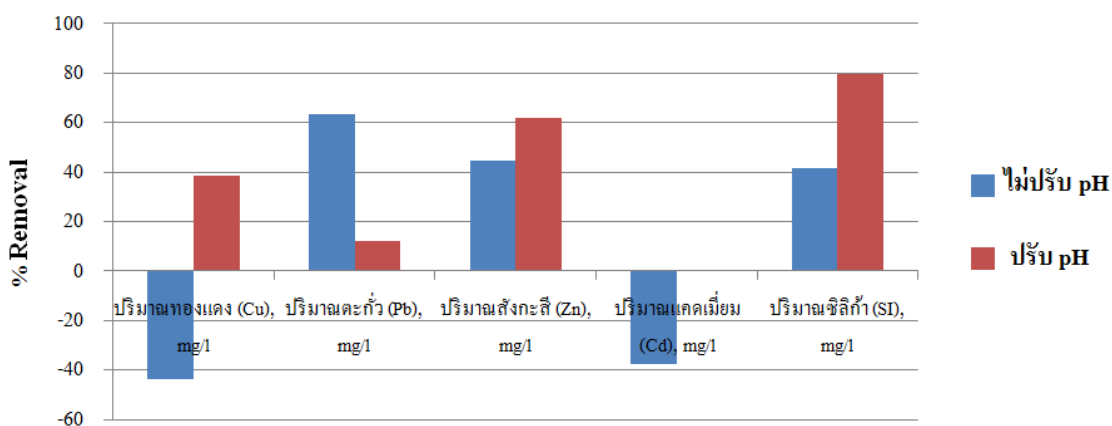
ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

จากผลการทดลองพบว่า น้ำล้างผ้าสามารถกำจัดสี สารอินทรีย์ และโลหะหนักได้ดี เมื่อทำการปรับ pH ของน้ำ เช่นเดียวกันกับผลการทดลองกรณีน้ำต้มเทียนเมื่อทำการปรับ pH ของน้ำ ทั้งนี้แสดงว่าโซเดียมซิลิเกตที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต มีผลทำให้ค่า pH ของน้ำมีค่ามากกว่าค่า  $pH_{pzc}$  แต่เมื่อปรับค่า pH ของน้ำทำให้ค่า pH ต่ำกว่าค่า  $pH_{pzc}$  ทำให้อิฐมอญบดสามารถดูดซับสี และโลหะหนักได้ดีขึ้น นอกจากนี้การปรับ pH ของน้ำยังอาจทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกจับอยู่กับสารประกอบของโซเดียมซิลิเกตหรือโลหะหนักต่าง ๆ ละลายออกมา ทำให้เกิดการดูดซับอยู่กับอิฐมอญบดได้ดีขึ้น

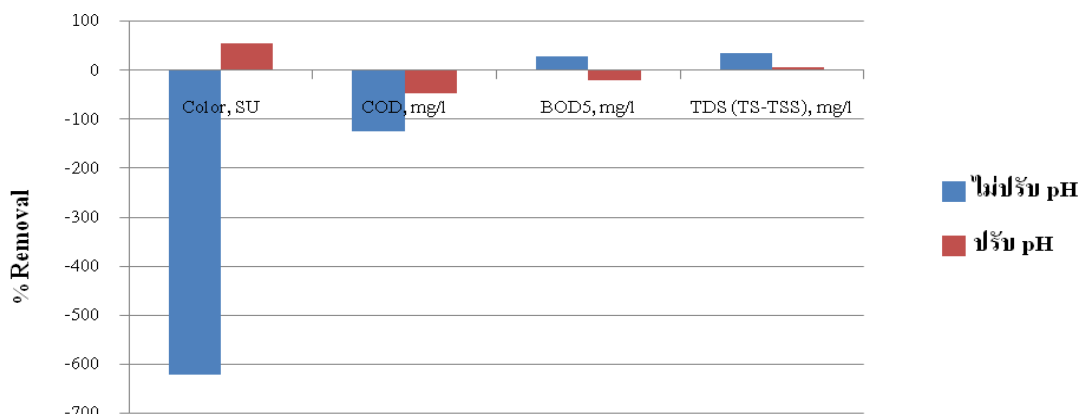
ประสิทธิภาพในการบำบัดความสกปรกในน้ำดื่มเหียนและน้ำล้างผ้าทั้งกรณีที่ปรับ pH และไม่ปรับ pH ดังแสดงในรูปที่ 4.16 - 4.19



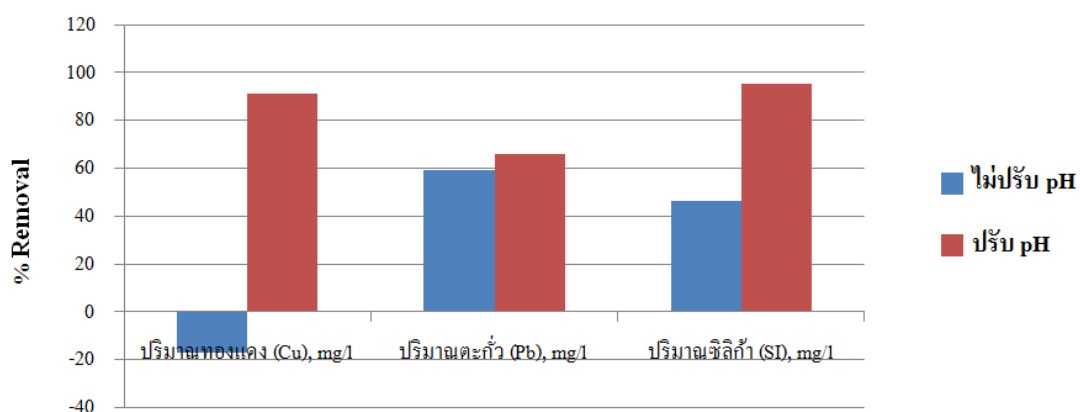
รูปที่ 4.16 ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 เซนติเมตร ในการลดปริมาณสีและความสกปรกจากน้ำดื่มเหียนในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH



รูปที่ 4.17 ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 เซนติเมตร ในการลดปริมาณโลหะหนักจากน้ำดื่มเหียนในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH



**รูปที่ 4.18** ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 เซนติเมตร ในการลดความสกปรกจากน้ำล้างผ้าในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH



**รูปที่ 4.19** ความสามารถของอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 เซนติเมตร ในการลดปริมาณโลหะหนักจากน้ำล้างผ้าในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งก่อนและหลังปรับ pH

จากกราฟพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสี (Color) ความขุ่น (Turbidity) ปริมาณสารอินทรีย์ในเทอมของ COD และ BOD<sub>5</sub> ของแข็งแขวนตัวทั้งหมด (TSS) และปริมาณโลหะหนักต่างๆ ด้วยอิฐมอญขนาดเล็กลงกว่า 0.42 มิลลิเมตร ที่มีความหนาของชั้นอิฐ 5 เซนติเมตร จากตัวอย่างน้ำต้มเทียนและน้ำล้างผ้า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อทำการปรับค่า pH ให้มีค่าประมาณ 7 สอดคล้องกับการศึกษาการจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุมชน: การทำผลิตภัณฑ์จากกระจูดในพื้นที่ทะเลน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ที่พบว่าอิฐมอญุดมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความสกปรกต่าง

ๆ รวมไปถึงโลหะหนักได้ดี อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการบำบัดสีและความสกปรกในการศึกษาครั้งนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาการจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุมชน: การทำผลิตภัณฑ์จากกระจุยในพื้นที่ทะเลน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) เนื่องจากชนิดของสี รวมไปถึงขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยของวัสดุดูดซับ 3 ชนิดคือ ทรายละเอียด ถ่านกัมมันต์ และอิฐมอญบด ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อน้ำตัวอย่างเท่ากัน และผลที่ได้จากการใช้วัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ พบว่าอิฐมอญบดมีราคาต่อหน่วยต่ำกว่า แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าวัสดุดูดซับอีกสองชนิด

**ตารางที่ 4.8** การเปรียบเทียบคุณสมบัติ และราคาของวัสดุดูดซับที่มีจำหน่ายในท้องตลาดกับอิฐมอญ

ชนิดของวัสดุดูดซับ	สัดส่วนที่ใช้ระหว่าง		ผลที่ได้
	วัสดุดูดซับต่อน้ำตัวอย่าง	ราคาต่อหน่วย (ลิตร)	
ถ่านกัมมันต์	1:1	85-120 บาท/ลิตร	สีใกล้เคียงน้ำตัวอย่าง
ทรายละเอียด	1:1	18-25 บาท/ลิตร	สีอ่อนลงปานกลาง
อิฐมอญ	1:1	10 บาท/ลิตร	สีค่อนข้างใส

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติขั้นต้นของอิฐมอญบดเทียบกับวัสดุคูดซับอื่นด้วยสารละลายสีย้อม พบว่าอิฐมอญบดที่ยังไม่ได้ทำการคัดแยกขนาดอนุภาคของอิฐนั้น สามารถคูดซับสีจากสารละลายสีย้อมได้ดีเมื่อเทียบกับทรายละเอียดและถ่านกัมมันต์ เนื่องจากอนุภาคหลายขนาดของอิฐมอญบดที่เรียงตัวกันแน่น จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการคูดซับสีจากสารละลายสีย้อมของวัสดุคูดซับสาร 3 ชนิดคือ อิฐมอญบด ทรายละเอียดและถ่านกัมมันต์ พบว่าอิฐนั้นสามารถคูดซับสีจากสารละลายสีย้อมได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับทรายละเอียดและถ่านกัมมันต์ เนื่องจากคุณสมบัติอนุภาคที่มีความพรุนและการเรียงตัวกันแน่นของอิฐมอญบดทำให้สามารถคูดซับสารได้ดีกว่า

5.1.2 การศึกษาปัจจัยของอนุภาคอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการคูดซับสีจากสารละลายสีย้อม พบว่าของอนุภาคอิฐมอญบดทั้ง 3 ขนาด มีผลต่อประสิทธิภาพการคูดซับสีจากสารละลายสีย้อม อิฐมอญที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.42 mm ประสิทธิภาพการคูดซับสีดีที่สุด เนื่องจากอนุภาคของอิฐมอญจะมีพื้นที่ผิวในการคูดซับมากขึ้น ทั้งยังจะทำให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคูดซับยาวนานขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีกับกระบวนการคูดซับที่ให้ผลในการคูดซับสีได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาคูดซับสีจากสารละลายสีย้อมประมาณ 35-40 นาที นั้น สามารถคูดซับสีแดงจากสารละลายสีย้อมที่เป็นสีส้มเอาไว้ได้หลุดออกมาเฉพาะสีเหลือง ส่วนสารละลายสีย้อมที่เป็นสีเขียวและสีม่วง นั้นอิฐมอญสามารถคูดซับสีน้ำเงินเอาไว้ได้หลุดออกมาเฉพาะสีเหลืองและสีแดงตามลำดับ การศึกษาของ Fahim Bin AbdurRahman (2013) เรื่อง “Dyes Removal From Textile Wastewater Using Orange Peels” ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคูดซับของของเปลือกกล้วยและส้ม ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมพบว่า ประสิทธิภาพการคูดซับสีสูงดีที่สุดที่สภาวะ pH ที่มีค่าเป็นกลางและจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อน้ำทิ้งมีสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างแก่ ระยะเวลาและปริมาณที่เหมาะสมวัสดุที่ใช้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการคูดซับ

5.1.3 การศึกษาปัจจัยของปริมาณอิฐมอญบดต่อประสิทธิภาพการคูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งแบบที่ไม่ได้ปรับ pH และปรับ pH ให้มีค่าประมาณ  $7(\pm 0.1)$  พบว่าน้ำต้มเทียนที่ไม่ได้ปรับค่า pH ก่อนและหลังผ่านชุดทดลองมีสีไม่แตกต่างกัน เมื่อปรับ pH

ประมาณ  $7(\pm 0.1)$  พบว่าน้ำดื่มเทียนมีสีอ่อนลงเล็กน้อย ส่วนผลการทดลองของน้ำล้างผ้าที่ไม่ได้ปรับ pH นั้น ไม่สามารถเห็นประสิทธิภาพในการดูดซับสีของอิฐมอญบด เนื่องจากน้ำตัวอย่างหลังผ่านชุดทดลองได้ชะเอาส่วนของตะกอนอิฐออกมาด้วยจึงมองเห็นเป็นสีขุ่น แต่เมื่อได้ทำการปรับ pH ประมาณ  $7(\pm 0.1)$  พบว่าอิฐสามารถดูดซับสีได้ดี

5.1.4 การศึกษาปัจจัยความหนาของชั้นอิฐมอญบดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งแบบไม่ปรับ pH และปรับ pH ให้มีค่าประมาณ  $7(\pm 0.1)$  พบว่าชั้นความหนาของอิฐมอญบดที่บรรจุลงในชุดทดลองนั้นมีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีของอิฐมอญบดจากตัวอย่างน้ำเสียในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งน้ำดื่มเทียนและน้ำล้างผ้า ซึ่งชั้นความหนาที่มากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีได้มากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ความหนา 3 cm ให้ผลการดูดซับน้อยที่สุดและในการทดลองยังพบน้ำลักษณะที่น้ำตัวอย่างลัดออกจากชุดทดลองอย่างรวดเร็ว สำหรับที่ความหนา 5 cm และ 7 cm นั้นให้ผลในการดูดซับสีได้ดีใกล้เคียงกัน แต่ใช้เวลาในการผ่านของน้ำตัวอย่าง ทำให้แต่ละชั้นความหนาจะมีอัตราการไหลออกจากชุดทดลองของน้ำตัวอย่างแตกต่างกันไป ซึ่งในชั้นอิฐมอญบดที่หนากว่าจะมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและอัตราการไหลที่ใช้เวลานานกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับอิฐมอญบดนั้นจะลดลงตามจำนวนครั้งที่ใช้ซ้ำ โดยจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงประมาณ 50% เมื่อมีการใช้ซ้ำเป็นครั้งที่สาม

5.1.5 การศึกษาความสามารถของอิฐมอญบดในการดูดซับสีกับโลหะหนักและบำบัดความสกปรกจากตัวอย่างน้ำเสียของกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งแบบไม่ปรับ pH และปรับ pH ให้มีค่าประมาณ  $7(\pm 0.1)$  พบว่าชั้นความหนาของอิฐมอญบดที่บรรจุลงในชุดทดลองนั้น มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีและบำบัดค่าความสกปรกของน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วมีประสิทธิภาพใช้ได้ดีกับตัวอย่างน้ำเสียในกระบวนการทำผ้าบาติกทั้งน้ำดื่มเทียนที่ได้มีการปรับ pH

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่า อิฐมอญบดที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีความสามารถในการดูดซับสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกได้ดีกว่าอิฐมอญที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และความหนาของชั้นอิฐยังมีผลทำให้คุณภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกมีคุณภาพที่ดีขึ้นตามชั้นความหนาที่เพิ่มขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาการดูดซับให้ยาวนานขึ้น รวมถึงการปรับค่า pH ที่เหมาะสมนั้น ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสีของอิฐมอญดีขึ้นเป็นลำดับด้วย

5.2.1 การบำบัดน้ำทิ้งโดยวิธีการดูดซับสีโดยนี้สามารถเลือกขนาดอนุภาคของอิฐมอญบด ชั้นความหนาของอิฐ และการปรับค่า pH อย่างเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงในสถานประกอบการ เพราะหากอนุภาคของอิฐเล็กเกินไป อาจมีผลให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียม ส่วนความหนาของชั้นอิฐหากหนาเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการทำงานของระบบนานเกินไป ไม่สะดวกต่อการใช้งาน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการใช้จ่ายในการติดตั้งระบบจริง

5.2.2 สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในสถานประกอบการ จำเป็นจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราส่วนที่ใช้ของอิฐมอญบดต่อปริมาณน้ำทิ้งในแต่ละครั้ง และการจัดการกับอิฐมอญบดหลังผ่านกระบวนการ

5.2.3 น้ำตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการผลิตผ้าบาติกนั้นจะใช้โซเดียมซิลิเกต (Sodiumsilicate,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) เป็นองค์ประกอบทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่าง pH ประมาณ 10-11 ในการทดลองเมื่อทำการปรับ pH ในน้ำตัวอย่างจะพบว่าน้ำตัวอย่างจะกลายเป็นวุ้น ซึ่งอัตราการเกิดขึ้นอาจ เนื่องมาจากปริมาณของโซเดียมซิลิเกตที่ใช้ในแต่ละรอบการผลิตนั้นมีปริมาณที่ใช้แตกต่างกัน เป็นอุปสรรคในการไหลของน้ำผ่านตัวดูดซับจึงจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในขั้นตอนการปรับ pH และกระบวนการดูดซับ ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นเพื่อกำจัดปริมาณของโซเดียมซิลิเกตออกจากน้ำทิ้ง

5.2.4 น้ำตัวอย่างที่ได้มาจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก จะมีปริมาณตะกอนขนาดใหญ่และกากเทียนเจือปนมากับน้ำตัวอย่างในปริมาณมาก ดังนั้นเพื่อลดภาระในการดูดซับของอิฐมอญบด จึงควรเตรียมตัวอย่างน้ำที่ได้ โดยทำการกรองหยาบเพื่อเอากากเทียนและตะกอนเหล่านั้นออกจากน้ำตัวอย่างก่อนนำไปใช้ในการทดลอง และควรมีการศึกษาปริมาณไขมันในน้ำทิ้งเพิ่มเติมในกรณีที่มีกากเทียนจากกระบวนการผลิตมาก

5.2.5 อิฐมอญบดในชุดทดลองควรใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์รินผ่านชั้นอิฐ เพื่อให้อิฐเรียงตัวกันได้ดียิ่งขึ้นและจะได้ชะเอาตะกอนส่วนเกินของอิฐออก จนอิฐมอญดูดซับสามารถจับสีกับโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- เกษม สีดอกบวบ. (2543). “การกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียโดยโคโคแชน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทนิตย์ เจริญไธสง, ธนิต เถลิมนานนท์, สุเมธ ไชยประพัทธ์, และ ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์. (2551). “สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและการดูดติดผิวของทรายผสมเบนโทไนด์และดินเหนียวสงขลา.” *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 20, 3*, 139-146.
- บริษัท เซาเทอร์น สตัดดี้ จำกัด. (2552). “โครงการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุมชน การทำผลิตภัณฑ์กระจูดในพื้นที่ทะเลน้อย.” งานวิจัย, สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- บุญชัย บุญธรรมดิระวุฒิ. (2552). “เกร็ดความรู้เรื่องผ้าบาติก.”, *บทความวิชาการมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร*.
- ปริญทร เต็มญารศิลป์. (2551). “การเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ดงและไผ่หมาจู.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. (2537). “กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกกูเลชัน (Flocculation).” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ [http://www.mwa.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=441](http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441) (วันที่ 3 มีนาคม 2556).
- พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. (2553). “การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ Adsorption of dyes by natural adsorbents” *วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 27, 4*, 61-68.
- วิสัยลักษณ์ กิจจนะพานิช. (2542). “การศึกษาเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับโรงงานย้อมผ้าบาติกขนาดเล็ก.” งานวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิสาขา ภูจินดา. (2549). “สารเคมีภัณฑ์.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=3> (วันที่ 22 กันยายน 2556).
- แววตา ทองระอา. (2550). “ใช้อินทรีย์วัตถุและดินเหนียวแก้ปรอทสารพิษ.” งานวิจัย, สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล, มหาวิทยาลัยบูรพา.



- คันสนีย์ สันติสุขวงศ์โชติ. (2550). รายงานข้อมูลสิทธิบัตร ความก้าวหน้าและสถานะด้านนาโนเทคโนโลยีและกฎหมาย มาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกา. สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำกรุงวอชิงตัน ดี.ซี.
- ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. (2554). “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ [http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc\\_toxic/ez\\_001\\_001.asp](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/ez_001_001.asp) (วันที่ 20 กรกฎาคม 2553).
- สายธาร ทองพร้อม. (2551). “การศึกษาคุณภาพน้ำที่ข้อมผ้าบาติกและยุทธวิธีการจัดการน้ำทิ้ง : ศึกษากรณีกลุ่มทำผ้าบาติก บ้านคอเอน หมู่ที่ 2 ตำบลไม้ขาว อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต.” งานวิจัย, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.
- สายธาร ทองพร้อม และ จีราวรรณ เล่นทัศน. (2552). “สีข้อมผ้าบาติก.” สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.
- สิริพิชญ์ เหลืองสุวรรณ. (2547). “เกร็ดความรู้เรื่องผ้าบาติก.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ [http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com\\_content&task=view&id=786](http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=786) (วันที่ 9 กันยายน 2554).
- แสงโถม เกิดคล้าย. (2547). *แนวทางการวินิจฉัยเพื่อการรายงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม*, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักกระบวนวิชา กรมควบคุมโรค, กระทรวงสาธารณสุข.
- อัจฉรา ดวงเดือน. (2545). “การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และถั่วแกลบดำ.” งานวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AHMAD, A., (2002). “REMOVAL OF DYE FROM WASTEWATER OF TEXTILE INDUSTRY USING MEMBRANE TECHNOLOGY.” *Journal Teknologi*, 36(F), 31-44.
- Ahmad Khan, N., Ibrahim, S., Subramaniam, P., (2004). “Elimination of Heavy Metals from Waste water Using Agricultural Wastes as Adsorbents.” *Malaysian Journal of Science*, 23, 43-51.
- Bousher, A., Shen, X., and Edyvean, R. G. J., (1997). "Removal of coloured organic matter by adsorption onto low-cost waste materials." *Water Research*, 31(8), 2084-2092.
- Elsagh, A., Moradi, O., Fakhri, A., Najafi, F., Alizadeh, R., and Haddadi, V., (2014). "Evaluation of the potential cationic dye removal using adsorption by graphene and carbon nanotubes as adsorbents surfaces." *Arabian Journal of Chemistry*, 1-8.

- Fahim Bin AbdurRahman, Maimuna Akter, M. Zainal Abedin. (2013). "Dyes Removal From Textile Wastewater Using Orange Peels." *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2(9), 47-50.
- Gre' gorio, C., Pierre-Marie, B. (2007). "Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dyeremoval from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies." *Progress in Polymer Science*, 33(4), 399–447.
- Heung, P., Seong, J., (2007). "Removal of heavy metals using waste eggshell." *Journal of Environmental Sciences*, 19(12), 1436–1441.
- Hu Q. Xu Z., Qiao S., Haghseresht F., Wilson M., and Lu G. Q., (2007). "A novel color removal adsorbent from heterocoagulation of cationic and anionic clays." *Journal of Colloid and Interface Science*, (308), 191–199.
- Moais, L. C., Freitas, O. M., (1997). "REACTIVE DYES REMOVAL FROM WASTEWATERS BY ADSORPTION ON EUCALYPTUS BARK: VARIABLES THAT DEFINE THE PROCESS" *Water Research*, 33(4), 979-988.
- Namasivayam, C., Sangeetha, D., (2006). "Recycling of agricultural solid waste, coir pith: Removal of anions, heavy metals, organics and dyes from water by adsorption onto ZnCl<sub>2</sub> activated coir pith carbon." *Journal of Hazardous Materials*, 135(1–3), 449-452 .
- Nevine Kamal, A., (2008). "Removal of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated carbons." *Journal of Hazardous Materials*, 165(1-3), 52–62.
- Rahman, A., T. Urabe, et al. (2013). "Color Removal of Reactive Procion Dyes by Clay Adsorbents." *Procedia Environmental Sciences*, 17(0): 270-278.
- Shukla, S.R., Roshan, S., (2004). "Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on dye loaded groundnut shells and sawdust." *Separation and Purification Technology*, 43(1), 1–8.
- Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze S., and Ang H.M.. (2014). "Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review." *Advances in Colloid and Interface Science* 209(0), 172-184.

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก  
ผลการวิเคราะห์น้ำเสีย

**ตารางภาคผนวกที่ ก 1** ความสามารถในการกำจัดสี โลหะหนัก และค่าความสกปรกของน้ำล้างสี จากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (เก็บตัวอย่างน้ำล้างสีครั้งที่ 1)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำล้างสีครั้งที่ 1			มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		ก่อนผ่าน	หลังผ่านระบบ		
		ไม่ปรับ	ไม่ปรับ	ปรับ	
		pH	pH	pH=7	
ค่าสี Color	SU	29.54	119.80	13.90	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	11.04	9.89	7.56	5.5-9.0
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	3.59	158.00	7.56	-
ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	3.78	0.001	2.84	-
ค่าซีโอดี (COD)	mg/l	32.00	274.00	148.00	≤ 120
ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	4.50	24.00	29.50	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	20.50	87.00	403.50	≤ 50
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	5892.50	2806.00	5119.50	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.158	0.118	0.014	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.081	0.038	0.031	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.042	0.060	0.047	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	0.019	0.026	0.011	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.008	0.009	0.005	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	980.80	300.10	108.40	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

**ตารางภาคผนวกที่ ก 2** ความสามารถในการกำจัดสี โลหะหนัก และค่าความสกปรกของน้ำล้างสี จากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (เก็บตัวอย่างน้ำล้างสีครั้งที่ 2)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำล้างสีครั้งที่ 2			มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		ก่อนผ่าน	หลังผ่านระบบ		
		ไม่ปรับ	ไม่ปรับ	ปรับ	
		pH	pH	pH=7	
ค่าสี Color	SU	61.85	183.25	17.40	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	11.49	10.84	7.54	5.5-9.0
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	77.80	247.00	7.53	-
ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	9.91	0.003	16.22	-
ค่าซีโอดี (COD)	mg/l	105.00	92.00	72.00	≤ 120
ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	39.25	5.00	16.50	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	26.50	122.00	7.00	≤ 50
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	16768.5	11745.0	15995.5	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.243	0.437	0.012	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.044	0.005	0.006	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.084	0.166	0.102	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	0.028	0.047	0.030	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.013	0.015	0.050	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	2557.00	1656.00	24.01	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

**ตารางภาคผนวกที่ 3** ความสามารถในการกำจัดสี โลหะหนัก และค่าความสกปรกของน้ำล้างสี จากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (เก็บตัวอย่างน้ำล้างสีครั้งที่ 3)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำล้างสีครั้งที่ 3			มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		ก่อนผ่าน	หลังผ่านระบบ		
		ไม่ปรับ	ไม่ปรับ	ปรับ	
		pH	pH	pH=7	
ค่าสี Color	SU	22.85	521.85	19.75	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	9.46	7.46	7.70	5.5-9.0
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	2.46	589.00	13.18	-
ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	0.96	0.26	1.39	-
ค่าซีโอดี (COD)	mg/l	44.00	40.00	48.00	≤ 120
ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	4.00	5.00	11.50	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	5.50	438.00	7.50	≤ 50
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	1130.50	967.00	1406.50	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.171	0.114	0.023	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.014	0.014	0.010	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.042	0.062	0.039	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	0.009	0.015	0.049	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.007	0.007	0.005	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	227.00	57.59	51.87	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ตารางภาคผนวกที่ ก 4 ความสามารถในการกำจัดสี โลหะหนัก และค่าความสกปรกของน้ำดื่ม  
 เทียนจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (เก็บตัวอย่างน้ำดื่มเทียนครั้งที่ 1)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำดื่มเทียนครั้งที่ 3			มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		ก่อนผ่าน	หลังผ่านระบบ		
		ไม่ปรับ	ไม่ปรับ	ปรับ	
		pH	pH	pH=7	
ค่าสี Color	SU	464.15	155.85	135.95	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	10.98	8.73	8.33	5.5-9.0
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	256.00	52.30	5.78	-
ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	13.56	0.08	10.16	-
ค่าซีโอดี (COD)	mg/l	4880.00	5440.00	3404.00	≤ 120
ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	201.00	210.00	20.00	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	281.00	334.00	278.00	≤ 50
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	17960.5	10740.0	15708.0	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.048	0.118	0.064	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.012	0.004	0.005	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.418	0.159	0.111	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	0.006	0.026	0.020	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.006	0.009	0.005	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	138.70	44.62	31.77	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
 โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน



ตารางภาคผนวกที่ ก 5 ความสามารถในการกำจัดสี โลหะหนัก และค่าความสกปรกของน้ำดื่ม  
 เทียนจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (เก็บตัวอย่างน้ำดื่มเทียนครั้งที่ 2)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำดื่มเทียนครั้งที่ 2			มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		ก่อนผ่าน	หลังผ่านระบบ		
		ไม่ปรับ	ไม่ปรับ	ปรับ	
		pH	pH	pH=7	
ค่าสี Color	SU	156.40	101.20	60.65	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	11.02	9.58	8.14	5.5-9.0
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	183.00	9.58	7.08	-
ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	12.60	10.06	14.80	-
ค่าซีโอดี (COD)	mg/l	5600.00	4200.00	2480.00	≤ 120
ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	173.00	145.00	77.50	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	216.00	986.00	33.00	≤ 50
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	18727.0	10208.0	156.38	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.202	0.451	0.124	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.014	0.008	0.013	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.260	0.283	0.194	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	0.005	0.020	0.037	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.005	0.006	0.005	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	68.96	218.10	42.08	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
 โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ตารางภาคผนวกที่ ก 6 ความสามารถในการกำจัดสี โลหะหนัก และค่าความสกปรกของน้ำดื่ม  
 เทียนจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (เก็บตัวอย่างน้ำดื่มเทียนครั้งที่ 3)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำดื่มเทียนครั้งที่ 3			มาตรฐาน <sup>(1)</sup>
		ก่อนผ่าน		หลังผ่านระบบ	
		ไม่ปรับ	ไม่ปรับ	ปรับ	
		pH	pH	pH=7	
ค่าสี Color	SU	373.25	103.20	86.60	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	10.24	8.97	7.92	5.5-9.0
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	165.67	60.67	86.00	-
ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity)	ms/cm	8.80	8.05	10.48	-
ค่าซีโอดี (COD)	mg/l	3800.00	3960.00	1360.00	≤ 120
ค่าบีโอดี (BOD <sub>5</sub> )	mg/l	255.00	52.00	34.00	≤ 20
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	mg/l	241.50	124.00	58.00	≤ 50
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	mg/l	9634.50	7835.00	9695.00	≤ 3,000
ปริมาณทองแดง (Cu)	mg/l	0.283	0.234	0.140	≤ 2.0
ปริมาณตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.007	0.000	0.011	≤ 0.2
ปริมาณสังกะสี (Zn)	mg/l	0.393	0.151	0.101	≤ 5.0
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Cr)	mg/l	0.007	0.010	0.037	≤ 0.25
ปริมาณแคดเมียม (Cd)	mg/l	0.005	0.007	0.006	≤ 0.03
ปริมาณซิลิกา (Silica)	mg/l	337.20	55.97	36.94	-

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
 โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายพิเชษฐ์ หนูหมื่น  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5730220022  
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีการศึกษาที่สำเร็จ
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง)	มหาวิทยาลัยสยาม	2542

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่ง ผู้ช่วยหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม สถานที่ทำงาน โรงแรมดุสิตธานีลา구나  
ภูเก็ต

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

พิเชษฐ์ หนูหมื่น, พันธุ์ ทองชุมนุญ และ ภทรธร เอื้อกฤดาธิการ. (2557). “การกำจัดสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอริฐมอญอบด”, เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตครั้งที่ 2 ณ ศูนย์ประชุมมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต: 8-9 พฤษภาคม, 2557.