

การดูดซับสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์¹

Adsorption of Dyes in Textile Wastewater by Biological Sludge

ชนิษฐา ชัยรัตน์วรณ²
สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทคัดย่อ

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มักนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือกระบวนการดูดซับทางกายภาพ และเคมี แต่กระบวนการดังกล่าวข้างต้นยังมีข้อจำกัดมากมาย การเลือกใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในการมาดูดซับทั้ง สารอินทรีย์ และสีย้อมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษา ความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัส ผลของพีเอชที่มี ผลต่อการดูดซับ และสารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์

ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความแตกต่างกัน ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสีได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว และยังพบอีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยา มีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสีย รวมสีพระยาจะใช้ระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมใช้ระยะเวลา สัมผัสเพียง 3 ชั่วโมง ความสามารถในการดูดซับที่มากที่สุดเท่ากับ 6.12 มิลลิกรัมต่อกรัม-เซลล์โดยที่สภาวะ ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเท่ากับ 7 ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะ พบว่าที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลง และ 0.1% SDS มีประสิทธิภาพ ในการชะล้างตะกอนได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะแสดงความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 สำหรับ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3

คำสำคัญ: การดูดซับ ตะกอนจุลินทรีย์ สีย้อมรีแอกทีฟ น้ำเสีย บำบัดสีย้อม

¹ งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หัวหน้าหมวดวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์

Abstract

Nowadays, the popular color removal system is the chemical and physical adsorption processes, but the above treatment processes still had some limitations. The dye adsorption by bio-sludge from biological wastewater treatment system was the one of alternative system that might be suitable and could solve the problems above. Then, this research was consisted of the determination of dye adsorption yield of bio-sludge of biological wastewater treatment system, effect of reaction time for dye adsorption, effect of pH on the dye adsorption and the suitable eluent for elution of the dye from the dye adsorbed bio-sludge.

The results showed that the capacity of dyes adsorption between the living and dead bio-sludge was different. Dyes adsorption capacity of living bio-sludges were higher than that of dead bio-sludge, showed higher dye adsorption yield than that of the dead bio-sludge. Also, the bio-sludge from domestic wastewater treatment plant (Sriphaya central wastewater treatment plant) showed higher dye adsorption yield than that of bio-sludge from textile wastewater treatment plant. For the determination of optimal reaction time on the dye adsorption, it was found that the the bio-sludge of Sriphaya central wastewater treatment plant required about 6 hours for dye adsorption while bio-sludge of textile wastewater treatment plant required only 3 hours. The highest adsorption yield of 6.12 mg/L was found in living bio-sludge under pH of 7.0 while the dead bio-sludge showed high adsorption yield under pH of higher than 7.0. Also, the 0.1% SDS showed the highest elution ability

The determination of optimal pH for the maximal dye adsorption of bio-sludge was also determined. It was found that the living bio-sludge showed that highest dye adsorption yield at the pH of 7. While the dead bio-sludge showed the highest dye adsorption yield at the pH of 3.

Keywords : Adsorption Bio-sludge Reactive dye Wastewater Treatment of textile dye

บทนำ

ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมนับทวีความรุนแรงมากขึ้น อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมคือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วยสี, ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี, กรด-ด่าง, สารแขวนลอย, ความร้อน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิต

ในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ มลสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อน อยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี (dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (finishing) โดยส่วนมากแล้วมลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมีต่างๆ ไปแต่มีสี บางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว สีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอกทีฟ (reactive dyes), สีเอซิด

(acid dyes), สีเบสิก (basic dyes), สีไ้เร็กท์ (direct dyes), สีแว้ต (vat dyes), สีดีสเพอร์ส (disperse dyes) เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์น้ำอาจตายได้

การดูดซับสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ นับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในการบำบัดสีย้อมโดยอาศัยหลักการของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ [1] ที่นับว่ามีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งยังให้ประสิทธิภาพที่ดี [2] และยังเป็นทางเลือกลดปริมาณสารเคมีและพลังงานที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วย [3]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ที่จะใช้กระบวนการทางชีวภาพ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ซึ่ง

ตาราง 1 สมบัติของสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสากล	ชื่อทางการค้า	โครงสร้าง (chemical class)	โทนสี	จำนวนหมู่ที่ให้ ประจุลบ (SO_3)
reactive red 141	Procion Red HE7B	Disazo (unmetallised biazo)	Bright Bluish Red	8
reactive blue 221	Supra Blue BRF	Formazan (metal complex)	Blue	1

สารละลายสีสังเคราะห์เตรียมได้จากการละลายสีย้อมหนัก 0.04 กรัมในขวดวัดปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร จะได้สารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นเป็น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมา โดยใช้สีย้อมรีแอกทีฟ 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อม

จากกล่าวได้นับเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าไปใช้ในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับสีของน้ำเสีย
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. สีย้อม

สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสีย้อมรีแอกทีฟ

2 สี คือ

1) สีย้อม reactive red 141 (RR141)

2) สีย้อม reactive blue 221 (RB221)

ทั้งนี้ได้สรุปสมบัติของสีย้อมรีแอกทีฟทั้งสองใน

ตาราง 1

Reactive Red 141 และสีย้อม Reactive Blue 221 ที่ความเข้มข้นของสีย้อมแต่ละตัวอย่างสีเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร [4,5] โดยนำสีย้อมมาละลายในน้ำประปา และเติมสารอาหาร [6] ลงไป จะทำให้ได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ค่าซีไอดี 2,000 มก./ล. ค่าบีไอดี 1,500 มก./ล. และค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.2

3. ตะกอนจุลินทรีย์ (bio-sludge) ที่ใช้ในการทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจาก 2 แหล่ง คือ

1. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โรงบำบัดน้ำเสี้ยวรวมสี่พระยา
2. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาศึกษาการดูดซับสีในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living bio-sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)

3.1 การปรับสภาพ (acclimatization) ตะกอนจุลินทรีย์

นำตะกอนจุลินทรีย์ใส่ลงในถังที่มีน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง โดยมีการเติมอากาศ และจะต้องมีการถ่ายและเติมน้ำเสียใส่ลงในถังทุกวัน เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับสภาพน้ำเสีย เป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

3.2 การเตรียมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต

นำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการปรับสภาพมากรองผ่านกระดาษกรอง แล้วล้างตะกอนด้วยสารละลาย 0.1 M ของ phosphate buffer 2-3 ครั้ง จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต แล้วนำตะกอนที่ได้ไปศึกษาความสามารถ ในการดูดซับต่อไป และอีกส่วนหนึ่งจะนำตะกอนจุลินทรีย์ไปอบแห้ง (autoclave) ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10 นาที [6] จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีต่อไป

4. วิธีและมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เอ็มแอลเอสเอส และ เอ็มแอลวีเอสเอส ตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อม หนังสือมาตรฐานอเมริกา [7]

5. สารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสี

เพื่อล้างสีและสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ในกระบวนการดูดซับให้ออกไป งานวิจัยนี้เลือกใช้สารลดแรงตึงผิว เป็นตัวชะสีและสารอินทรีย์ออกจากตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดังนี้ SDS, triton X-100, tween 80, Sodium hydroxide, Phosphate buffer, Cholic acid และ Sulfuric acid

6. วิธีการทดลอง

6.1 ระยะเวลาสัมผัส (contact time) ของการดูดซับสีย้อม

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสี จะวิเคราะห์ผลการทดลองจากการหาร้อยละความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง เพื่อให้ทราบถึงเวลา (เวลาสัมผัส) ที่น้อยที่สุดที่เข้าสู่จุดสมดุลในการดูดซับ

6.2 ความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมและไม่มีสีย้อม การทดลองใช้ความเข้มข้นของสีย้อม 40 มก/ล. ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ซึ่งในการทดลองนี้จะได้ผลการทดลองเป็นความสามารถในการดูดซับสีย้อม, COD และ BOD₅ ของตะกอนจุลินทรีย์

6.3 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

การศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการดูดซับสีโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมและไม่มีสีย้อม ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 3, 5, 7, 9, และ 11

6.4 สารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีโดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

การศึกษาหาสารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสี โดยนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการดูดซับสีย้อมมา

ชะล้างด้วย สารละลายต่างๆ โดยใช้เวลาในการ
ชะล้างตะกอน 1 ชั่วโมง

6.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

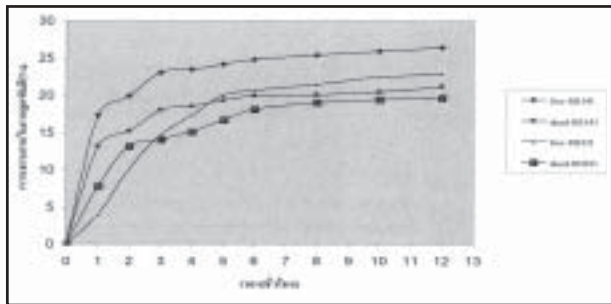
นำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ
โดยใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
และค่า t-test [8]

ผลการวิจัย

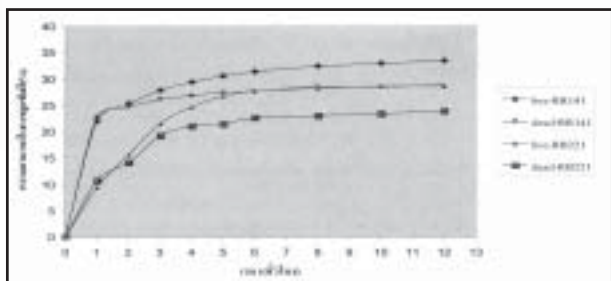
1. ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับสี โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์

1.1 การศึกษาระยะเวลาสัมผัส (contact
time) ของการดูดซับสีของ โดยวัดค่าร้อยละ
ความสามารถในการดูดซับสีเปรียบเทียบกับระยะเวลา
สัมผัส

1.1.1 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรง
บำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา



ภาพประกอบ 1 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่
เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพใน
น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อม

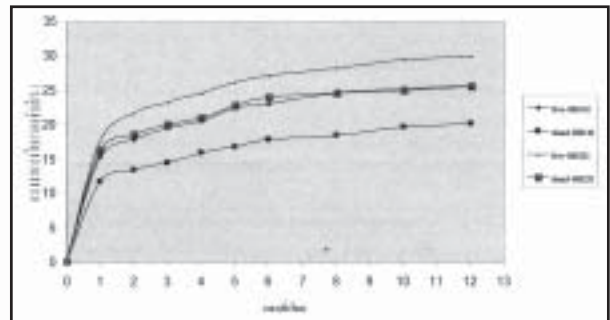


ภาพประกอบ 2 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่
เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพใน
น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีสีข้อม

จากภาพประกอบ 1 และ 2 พบว่าระยะเวลา
สัมผัสของการดูดซับสีข้อมของตะกอนจุลินทรีย์ที่นำ
มาจาก โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา ไม่ควรเกิน 6 ชั่วโมง
ไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต

1.1.2 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจาก
โรงงานฟอกข้อม

จากภาพประกอบ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะ
เวลาสัมผัสให้มากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการ
ดูดซับสีเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งระยะเวลาสัมผัสของการดูด
ซับสีข้อมของตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงงาน
ฟอกข้อมที่เหมาะสมนั้นไม่ควรเกิน 3 ชั่วโมง ไม่ว่า
จะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต



ภาพประกอบ 3 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่
เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงาน
ฟอกข้อม

จากผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของการดูด
ซับข้อมของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ผู้วิจัยเลือกระยะเวลา
สัมผัส 6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง สำหรับตะกอน
จุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาและ
ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกข้อม ตามลำดับ

1.2 ความสามารถในการดูดซับสี ความ
สามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่า
ของซีไอดีและค่าบีไอดีในหน่วยมิลลิกรัม/กรัม-
เซลล์ของตะกอนจุลินทรีย์

กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัด
น้ำเสียสี่พระยา สำหรับสีข้อม RR141

ตาราง 2 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.043
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	3.78	.86	
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	5.18	.27	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.950
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	183.34	136.76	
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	189.58	132.74	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.847
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	112.50	91.55	
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	126.67	106.00	

จากตาราง 2 อธิบายผลการทดลองได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยเป็น 5.18 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 3.78 mg/g-cell

ตาราง 3 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยากับความสามารถในการดูดซับ

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.197
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	4.95	.52	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	4.01	1.11	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	303.08	5.39	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	69.83	6.99	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	205.00	16.43	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	34.16	5.00	

จากตาราง 3 อธิบายผลการทดลองได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่เป็นน้ำเสียชุมชนนั้นไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสี RR141 ได้เช่นเดียวกัน โดยให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยประมาณ 4.48 mg/g-cell โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา สำหรับสีย้อม RB221

ตาราง 4 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.137
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	5.08	.68	
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	5.99	.80	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.959
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	188.25	135.64	
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	193.33	134.15	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.931
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	116.66	91.49	
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	122.5	90.49	

จากตาราง 4 อธิบายผลการทดลองได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ทั้งที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม และตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสีย ที่ไม่มีสีย้อม จะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นกัน และตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้เช่นเดียวกันไม่ว่าจะได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อมหรือไม่

ตาราง 5 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.020
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	6.16	.60	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	4.91	.50	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	307.58	4.53	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	73.99	4.29	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	198.33	4.08	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	40.83	5.53	

จากตาราง 5 อธิบายผลการทดลองได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้ ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม สำหรับสีย้อม RR141

ตาราง 6 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.054
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	4.07	.08	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	3.18	.18	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.019
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	290.83	10.61	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	60.83	1.18	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.001
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	182.50	3.53	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	31.66	2.35	

จากตาราง 6 อธิบายผลการทดลองได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เนื่องมาจากกลไกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ซีโอดีและบีโอดี) และมีการย่อยสลายโดยเอนไซม์ (extracellular and intracellular enzyme) [9]

กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม สำหรับสีย้อม RB221

ตาราง 7 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.095
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	4.93	.14	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	4.30	.22	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.008
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	295.83	5.89	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	57.50	1.17	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.011
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	194.50	5.41	
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	30.16	1.18	

จากตาราง 7 พบว่าความสามารถในการดูดซับสีไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกัน อาจเนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการศึกษานั้นมีสีที่อยู่ภายในตะกอนอยู่แล้ว ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมนั้นที่ตำแหน่งดูดซับ (receptor site) ได้ดูดซับสีไว้แล้วจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำลง

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยค่าสถิติพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยา มีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon และ Saengow [4] ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม

การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมระหว่างสีย้อม RR141 กับ RB221

ตาราง 8 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในการดูดซับสีย้อม RR141 กับ สีย้อม RB221

สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.030
RR141	4.07	.08	
RB221	4.93	.14	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.633
RR141	290.83	10.61	
RB221	295.83	5.89	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.139
RR141	182.50	3.53	
RB221	194.50	5.41	

จากตาราง 8 เป็นผลแสดงถึงความสามารถในการดูดซับสีซึ่งพบว่าสีย้อม RB221 มีความสามารถในการดูดซับสีได้ดีกว่าสีย้อม RR141 อธิบายได้ว่าโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากจึงทำให้เกิดการเบียดเสียดของโมเลกุลสีย้อมที่จะเข้าไปรูพรุนมีผลให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าไปในรูพรุนได้น้อย ทำให้ความสามารถในการดูดซับสีน้อยกว่า ในทางกลับกันสีย้อม RB221 โมเลกุลจะมีขนาดเล็กกว่าจึงสามารถที่จะเข้าไปในรูพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่า ทั้งนี้สามารถอธิบายความเป็นไปได้ว่าด้วยโครงสร้างของสี RB221 มีขนาดเล็กกว่า มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่าโครงสร้างของสี RR141 จึงทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งถ้าอธิบายโดยทฤษฎีเกี่ยวกับธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับแล้วจะพบว่าขนาดโมเลกุลของสารที่จะถูกดูดซับใหญ่ (RR141) กว่ารูพรุน (ตะกอนจุลินทรีย์) จะทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำลง ในกรณีนี้โครงสร้างของสี RR141 ค่อนข้างใหญ่ จึงอาจเป็นไปได้ว่าทำให้ความสามารถ

ในการดูดซับเกิดขึ้นได้น้อย [10] ส่วนโครงสร้างของสี RB221 เล็กกว่าจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับดีกว่าแสดงว่าสามารถเข้าไปในรูพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นสารดูดซับได้หรืออธิบายโดยเทียบกับโพรงของถ่านกัมมันต์ที่จะมีการดูดติดผิวเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อสารหรือโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดนั้นมีขนาดเล็กกว่า [11] นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของสี RR141 ที่มีกลุ่มอะโซ มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง (1 634 Da) มีความสามารถในการดูดซับได้น้อย ทั้งนี้การลดสี RR 141 จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการแตกพันธะอะโซ [12]

สำหรับความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดี อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจากโรงงานฟอกย้อมมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้เช่นเดียวกันไม่ว่าจะเป็นสีย้อม RR141 หรือสีย้อม RB221

ตาราง 9 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตในการดูดซับสีย้อม RR141 กับ สีย้อม RB221

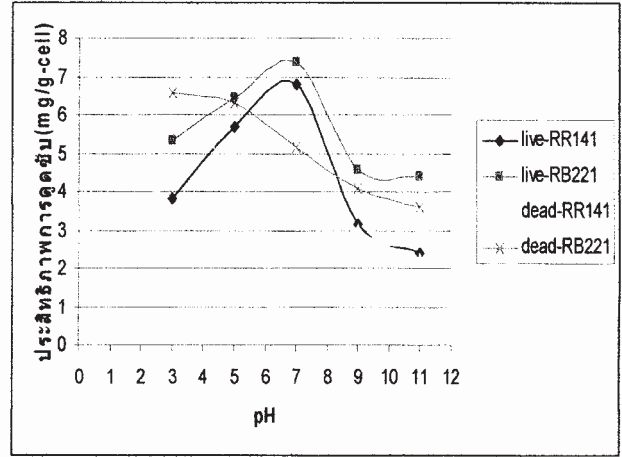
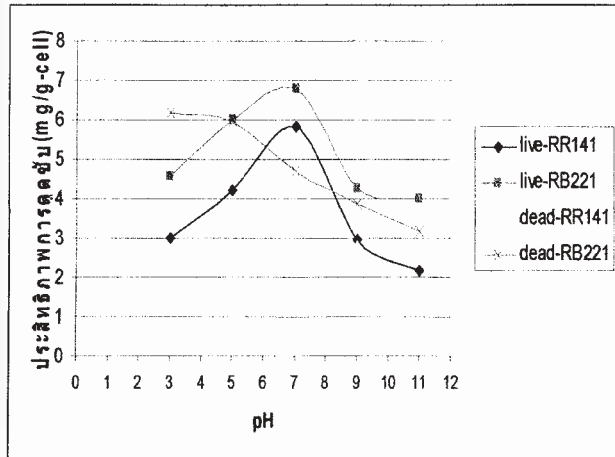
สิ่งที่ศึกษา	\bar{X}	S.D.	p-value
ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)			.033
RR141	3.18	.18	
RB221	4.30	.22	
ความสามารถในการดูดซับ COD ของตะกอน (mg/g-cell)			.105
RR141	60.83	1.18	
RB221	57.50	1.17	
ความสามารถในการดูดซับ BOD ของตะกอน (mg/g-cell)			.530
RR141	31.66	2.35	
RB221	30.16	1.18	

จากตาราง 9 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 เกิดขึ้นได้มากกว่า RR141 โดยสีย้อม RB221 ให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 4.30 mg/g-cell อธิบายว่าโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก จึงทำให้เกิดการเบียดเสียดของโมเลกุลสีย้อมที่จะเข้าไปรูพรุนมีผลให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าไปในรูพรุนได้น้อย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีน้อยกว่า ในทางกลับกันสีย้อม RB221 โมเลกุลจะมีขนาดเล็กกว่า จึงสามารถที่จะเข้าไปในรูพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่า

สำหรับความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดี พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจากโรงงานฟอกย้อมมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้เช่นเดียวกันไม่ว่าจะเป็นสีย้อม RR141 หรือสีย้อม RB221

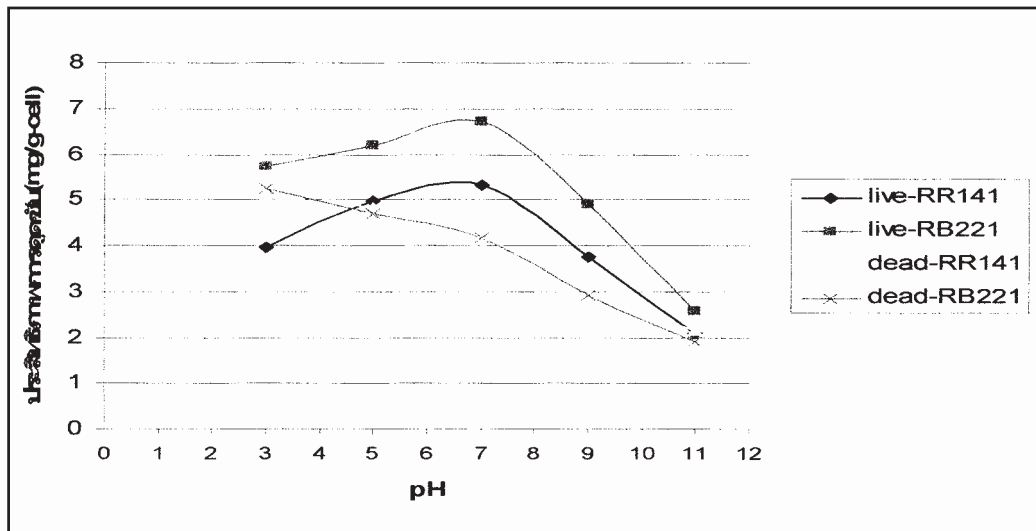
3. การศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

จากภาพประกอบ 4, 5 และ 6 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (live) จะมีความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead) จะมีความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 และยังเป็นกำรยืนยันอย่างแน่ชัดด้วยว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต จะมีความสามารถในการดูดซับที่ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต



ภาพประกอบ 4 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อม

ภาพประกอบ 5 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีสีข้อม



ภาพประกอบ 6 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม

นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับสีที่ต่ำลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 ไม่ว่าจะทำการศึกษากับสีข้อม RR141 หรือ RB 221 ก็ตาม และตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวยังมีความสามารถในการดูดซับสีข้อม RB221 ได้ดีกว่าสีข้อม RR141

4. การศึกษาสารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์

4.1 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

ตาราง 10 ผลของความสามารถในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์(ที่มีชีวิต)ของโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

สี ย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (%)						
		SDS	triton- X100	tween-80	NaOH	phosphate buffer	cholic acid	H ₂ SO ₄
RR 141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	125.75 ±7.86	106.16 ±3.11	81.17 ±2.85	37.54 ±6.77	15.42 ±1.38	6.12 ±2.47	0.00
	น้ำเสีย สังเคราะห์	72.32 ±3.87	53.39 ±2.94	44.04 ±2.26	27.89 ±4.34	8.18 ±2.87	4.35 ±1.76	0.00
RB 221	น้ำเสีย สังเคราะห์ +สีย้อม	123.32 ±6.24	102.13 ±4.55	69.76 ±4.12	31.90 ±7.52	11.65 ±2.70	5.23 ±4.25	0.00
	น้ำเสีย สังเคราะห์	93.29 ±5.60	47.73 ±3.23	44.55 ±3.20	18.23 ±8.20	6.41 ±4.04	3.90 ±2.27	0.00

ตาราง 11 ผลของความสามารถในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตของโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

สี ย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (%)						
		SDS	triton- X100	tween-80	NaOH	phosphate buffer	cholic acid	H ₂ SO ₄
RR 141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	141.95 ±9.85	127.50 ±3.25	85.81 ±5.35	51.15 ±6.71	20.19 ±2.50	7.37 ±2.32	0.00
	น้ำเสีย สังเคราะห์	86.74 ±4.75	55.90 ±5.51	36.77 ±2.94	35.90 ±1.90	16.76 ±2.49	6.24 ±3.83	0.00
RB 221	น้ำเสีย สังเคราะห์ +สีย้อม	121.28 ±7.28	109.88 ±8.84	86.20 ±8.50	24.47 ±2.32	18.48 ±5.05	7.24 ±0.90	0.00
	น้ำเสีย สังเคราะห์	90.00 ±9.47	45.78 ±4.38	35.30 ±4.60	21.35 ±6.76	14.59 ±4.32	4.24 ±2.47	0.00

จากผลการศึกษาพบว่า 0.1% SDS มีความสามารถในการชะล้างสีย้อมได้มากที่สุด รองมาได้แก่ 0.1% triton-X100, 0.1% tween-80, 0.1 M ของ NaOH, 0.1 M ของ phosphate buffer และ 0.1% cholic acid ตามลำดับ ส่วน 0.1 M ของ H₂SO₄ นั้นไม่สามารถชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ได้ และยังพบอีกว่าตะกอน จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะถูกชะล้างได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต

4.2 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม

ตาราง 12 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตของโรงงานฟอกย้อม

สี ย้อม	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (%)						
	SDS	triton- X100	tween-80	NaOH	phosphate buffer	cholic acid	H ₂ SO ₄
RR 141	66.51 +3.54	40.80 +2.55	32.51 +1.60	18.40 +0.63	12.13 +1.30	4.10 +2.32	0.00 +0.00
RB 221	55.13 +10.39	39.93 +7.28	32.60 +6.33	16.61 +3.85	11.23 +1.37	4.05 +1.48	0.00 +0.00

ตาราง 13 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตของโรงงานฟอกย้อม

สี ย้อม	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (%)						
	SDS	triton- X100	tween-80	NaOH	phosphate buffer	cholic acid	H ₂ SO ₄
RR 141	79.25 +3.69	52.40 +2.55	33.64 +1.60	20.43 +3.04	11.21 +1.30	5.73 +2.32	0.00 +0.00
RB 221	172.40 +6.76	58.31 +4.85	41.22 +5.88	20.42 +3.85	13.17 +1.37	5.10 +2.97	0.00 +0.00

การศึกษาการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจากโรงงานฟอกย้อมพบว่าให้ผลในการทำงานเหมือนกันกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยา กล่าวคือ 0.1% SDS มีประสิทธิภาพในการชะล้างตะกอนที่มากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ ซึ่งนอกเหนือจากการดูดซับสีแล้วยังสามารถดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดี [13] และบีไอดีได้ ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมความเข้มข้น จุลินทรีย์ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.2 อุณหภูมิ 30 °C พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากระบบน้ำเสียรวมสี่พระยาจะใช้ระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมใช้ระยะเวลาสัมผัสที่สั้นกว่า คือ 3 ชั่วโมง ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีและปริมาณสารอินทรีย์ได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต และเมื่อทำการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่าจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 แต่สำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 โดยมี Sodium dodecyl sulfate (SDS) เป็นตัวชะที่ให้ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ได้มากถึง 79 %

อภิปรายผล

ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีย้อม

ด้วยระยะเวลาสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำเสียดับกับจุลินทรีย์ยิ่งมากเท่าใด โอกาสในการดูดซับยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย [13] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงควรเพิ่มระยะเวลาปรับสภาพจุลินทรีย์ (acclimation) ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจาก โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาให้นานกว่า 7 วัน เพื่อที่จะตรวจสอบ ความสามารถในการดูดซับว่ามากขึ้นหรือใช้ระยะเวลาสัมผัสเร็วกว่า 6 ชั่วโมงหรือไม่ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การใช้จุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living microorganisms) จะเกิดกระบวนการเมตาโบลิซึมของสีโดยจุลินทรีย์ ทำให้ค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{MAX}) เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{MAX} เดิมลดลง มีการเพิ่ม

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอีกที่หนึ่ง จึงควรมีการวัดสีของน้ำด้วยวิธีมาตรฐานในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI Tristimulus Filter Method) ที่เป็นการวัดที่ไม่ขึ้นอยู่กับเฉดสี แต่จะมีการศึกษาในทุกๆ ความยาวคลื่นของน้ำเสีย

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสีารวมสี่พระยากับโรงงานฟอกย้อม

ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับ สีย้อมได้สูงกว่า ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อมเพราะตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม จะมีการดูดซับสีไว้บางส่วนอยู่ก่อนแล้ว เมื่อเกิดกระบวนการดูดซับจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้อยลง ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าเพราะยังไม่เกิดกระบวนการดูดซับใดๆ มาก่อนเลย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสีารวมสี่พระยาสูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม [4] ซึ่งเป็นการสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับ สารดูดซับหรือวัสดุดูดซับที่นำมาใช้ประโยชน์ในการดูดซับสีเพื่อบำบัดน้ำเสีย ประกอบกับมีงาน วิจัยที่ทำการศึกษากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้มุ่งเน้นไปยังสารดูดซับที่จะมาทดแทนที่ถ่านกัมมันต์ที่มีราคาแพง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ต้องกำจัดทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์และยังไม่มี การดูดซับสีมาก่อน อาทิเช่น ไคติน-ไคโตซาน ซิลิกา หรือมีการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย เช่น ไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม หรือแม้กระทั่งไมยราบยักษ์ เป็นต้น [14]

ด้วยในงานวิจัยนี้ใช้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่า สิ่งที่น่าจะศึกษา เพิ่มเติมคือปริมาณตะกอนจุลินทรีย์

ควรใช้ในปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสมและให้ความสามารถในการดูดซับได้ดีที่สุด หรือความเข้มข้นของสีย้อมควรเป็นเท่าใดที่จะให้ความสามารถในการดูดซับได้มากที่สุด เพราะจากการศึกษาทางวิจัยของศานิต ไชยยะ พบว่าเมื่อใช้ดินเหนียวไฮโดรทัลไซท์ เป็นสารดูดซับ เมื่อเพิ่มปริมาณ สารดูดซับจะให้ความสามารถในการดูดซับลดลง และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจะทำให้ความสามารถ ในการดูดซับเพิ่มขึ้น [15]

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการดูดซับสีย้อมระหว่างเซลล์ที่มีชีวิตกับเซลล์ที่ไม่มีชีวิต พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะสามารถดูดซับสีย้อมได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ตาย แล้วเมื่อเปรียบเทียบต่อหน้าหนักแห้ง อธิบายได้ว่าการลดสีจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีจุลชีพ (microorganisms) ที่มีชีวิตอยู่ในระบบฯ ด้วย [16] เพราะกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเกิดทั้งกระบวนการสร้างตะกอน (coagulation) และกระบวนการทางชีวภาพ (sorption) [17] ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีกลไกในการบำบัด สีทั้งการดูดซับทางชีวภาพ (biosorption) การดูดซับนั้นอาจจะเป็นการดูดซับไว้ที่ผนังเซลล์ [18 , 19] และอาจจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยจุลชีพ (biodegradation) ของสีที่ถูกดูดซับเข้าไปในเซลล์ได้อีกด้วย [20] แต่ในส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีเพียงแต่กลไกในการบำบัดสีจากการดูดซับสีไว้ที่ผนังเซลล์ เท่านั้น [4, 5] ซึ่งถ้าเปรียบเทียบการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์เช่นเดียวกับการกำจัดสีโดยจุลินทรีย์แล้ว งานวิจัยของประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์ [21] ได้นำเสนอว่าในสภาพจุลินทรีย์ที่ตายแล้วจะมีความต้องการที่จะใช้ชีวมวล (biomass) ในการดูดซับสีและสารตกค้างต่าง ๆ ในน้ำเสียและอาจมีคุณสมบัติ โครงสร้างหรือตำแหน่ง ของการดูดซับ

หรือความสามารถในการจับและการ ดูดซับเปลี่ยนไป [22] แต่สำหรับจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีกิจกรรมเพิ่มเติมในส่วนของการดูดซับและย่อยสลายโดยเอนไซม์หรือกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์ [21] เกิดขึ้นได้ทั้งที่บริเวณภายนอกเซลล์และยังสามารถแพร่เข้าไปภายในเซลล์ได้ด้วยเมตาโบลิซึมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดี

ตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้ดี ทั้งนี้เพราะวิธีการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาจะสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดีกว่าวิธีการกายภาพและทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดี ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ทั้งนี้เพราะกลไกของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต [23] เกิดขึ้นด้วย

การศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

1. ผลของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับไม่มีชีวิต

ความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเกิดได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 อธิบายได้ว่าจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียจะสามารถเจริญเติบโตและแบ่งตัวได้รวดเร็วที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 6.5 ถึง 7.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ประสิทธิภาพ สูงสุดในระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา [24 .25 และ 26]

สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับที่สูงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่าง

เพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการดูดซับที่น้อยลงเพราะค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) นั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน $[H^+]$ กล่าวคือที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนที่น้อย ซึ่งสอดคล้องกับสมการ $pH = -\log [H^+]$ เป็นไปตามทฤษฎีการดูดซับ [26] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ming-Shen Chio และคณะ [27] ที่พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Red 189) ด้วยสารดูดซับไคโตซานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของชลธิชาไม่เสื่อมสุข [28]

ในทางตรงกันข้ามที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำจะพบว่าในสารละลายให้ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน $[H^+]$ ที่มีค่าสูง สีย้อมที่ใช้ศึกษาไม่ว่าจะเป็น RR141 หรือ RB221 เป็นประจุลบ (ประจุทั้งสองนั้น ตรงกันข้าม) จึงทำให้ลดผลในการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับหรือตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์น่าจะมีค่าความเป็นประจุบวกที่อธิบายได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีผล ต่อการดูดซับ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ ดังตัวอย่างเช่นในกรณีนี้ที่ตัวถูกดูดซับมีประจุ เป็นบวกและตัวดูดซับมีประจุเป็นลบถ้าสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำๆ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับ มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการแย่งกันที่จะถูกดูดซับของสารถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับ $[H^+]$ ในสารละลาย เป็นต้น

2. ผลของสีย้อม RR141 กับ RB221

ความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตพบว่าสีย้อม RB221 ให้ผลการดูดซับที่ดีกว่าสีย้อม RR141 อธิบายความเป็นไปได้ว่าสีย้อม RB221 มีโครงสร้างขนาดเล็กกว่าสีย้อม RR141 จึงสามารถเกิดการดูดซับเข้าไปในตำแหน่ง active size ของตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสีย้อม

RR141 และอาจเกิดจากผลของโครงสร้างของสีย้อม RB221 ที่เป็น metal complex จะไปทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ ($C_5H_7O_2N$) ที่มีชีวิต

ในทางตรงกันข้ามสีย้อม RR141 มีขนาดที่ใหญ่จึงทำให้เกิดผลของ Steric effect และประกอบกับสีย้อม RR141 มีโครงสร้างทางเคมีเป็นกลุ่มสีอะโซซึ่งตัวสีจะมีอะตอมฮาโลเจนชนิดคลอรีนทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลและมีประจุลบที่ละลายน้ำได้และมีหมู่ไตรอะซีนิล (triazinyl) ที่เรียกว่า ไซยานูริกคลอไรด์ (cyanuric chloride) ที่เป็นส่วนสำคัญทำให้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย และเป็นหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาในการติดสีได้ดีและรวดเร็ว อาจทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ย่อยสลายสีย้อมได้เพียงเล็กน้อย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับของสีย้อม RR141 น้อยกว่าสีย้อม RB221

การศึกษาผลของความสามารถในการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์

1. ผลของค่าความเป็นประจุของตัวชะ

ด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวจะเป็นการเพิ่มการละลายของสีย้อมในน้ำได้ส่งผลให้จุลินทรีย์เกิดการย่อย สลายได้เพิ่มขึ้น[29] ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า Sodium dodecyl sulfate (SDS) มีความสามารถในการชะล้าง ตะกอนได้มากกว่าสารละลายตัวอื่นๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อธิบายความเป็นไปได้ว่าเนื่องจากสารที่นำมาใช้ชะล้าง ตะกอนจุลินทรีย์เป็นสารลดแรงตึงผิวเกือบทั้งหมด โดยเฉพาะ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ เมื่อนำมาใช้ชะล้างสีย้อมที่มีประจุเป็นลบเหมือนกัน ย่อมจะเกิดผลกักกันและยังบ่งบอกได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่คาดว่า จะมีประจุเป็นบวกนั้น มีแรงยึดเกาะกับสีย้อมที่มีประจุเป็นลบค่อนข้างต่ำ แสดงว่ากระบวนการดูดซับระหว่างตะกอนจุลินทรีย์กับสีย้อมเป็นกระบวนการดูดซับทางกายภาพที่เป็นแรงค่อนข้างอ่อน เพราะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

ของตัวถูกดูดซับ(ในที่นี้หมายถึงสีย้อม)กับโมเลกุลที่ผิวหน้าตัวดูดซับ (ในที่นี้หมายถึงสีย้อม) จึงทำให้ความสามารถในการชะล้างเกิดขึ้นได้ดีเมื่อใช้ SDS ซึ่งมีประจุเป็นลบ จึงทำให้เกิดกระบวนการดูดซับทางเคมีที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนพร้อมกับกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุด้วย

ในส่วนของตัวชะ triton X-100 และ tween 80 จะให้ความสามารถในการชะที่ต่ำกว่า SDS เพราะเป็นตัวชะที่ไม่มีประจุและมีโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่ อาจทำให้การแพร่เข้าไปภายในเซลล์จุลินทรีย์เกิดขึ้นได้น้อยกว่า

ส่วนตัวชะ NaOH และ H_2SO_4 ซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบที่นิยมใช้กัน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูง มีความแรง น่าจะเป็นตัวชะได้ดีกว่า แต่ผลกลับเป็นตรงกันข้าม คือให้ความสามารถในการชะล้างสีย้อมได้น้อยกว่า SDS, triton X-100 และ tween 80 อธิบายได้ว่า เนื่องจากตัวชะทั้งสองจะมีการแตกตัวทำให้เกิดไอออนขึ้น ในรูปของ Na^+ , OH^- , H^+ , SO_4^{2-} อาจทำให้เกิดสารประกอบตัวใหม่เกิดขึ้น เช่น Na_2SO_4 มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปได้ เพราะผู้วิจัยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสีนั้น

2. ผลของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

จากผลการศึกษาจะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตให้ความสามารถในการชะที่ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีชีวิต น่าจะเป็นไปได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตนั้นจะเป็นการจับหรือดูดซับสีย้อมเท่านั้น แต่ในกรณีของ ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์เพิ่มเข้ามา[21] จึงทำให้การชะล้างสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเกิดขึ้นได้น้อยกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตเมื่อใช้ตัวชะเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการดูดบำบัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ มีข้อเสนอแนะในการทำการทดลองสำหรับผู้สนใจ ดังนี้

- 1) ควรศึกษาความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและให้ความสามารถในการดูดซับได้ดีที่สุด
- 2) ควรศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับ เพราะอุณหภูมิมิมีผลต่อกระบวนการดูดซับและกิจกรรมทางชีวภาพของจุลินทรีย์
- 3) ควรศึกษา Adsorption isotherm ของสมภาวะการดูดซับต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Waranusantigul, P., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M. and Upatham, ES. (2003). *Kinetic of basic dye (methylene blue) biosorption by giant duckweed (Spirodela polyrrhiza)*. Environ Pollut, 125(3): 385-392. Abstract retrieved May 16, 2007, from <http://www.sciencedirect.com>
- [2] Ponnusami, V., Krithika, V., Madhuram, R. and Srivastava, S.N. (2007). *Biosorption of reactive dye using acid-treated rice husk: Factorial design analysis*. Journal of Hazardous Materials. 142 (1-2): 397-403. Abstract retrieved May 13, 2007, from <http://www.sciencedirect.com>
- [3] Park, D., Yun, Y. and Park J.M. (2005). Use of dead fungi biomass for the detoxification of Hexavalent chromium: screening and kinetics. *Process Biochemistry*. 40: 2559-2565.
- [4] Sirianuntapiboon, S. and Saengow W. (2004). Removal of Vat Dyes from Textile Wastewater Using Biosludge. *Water Qual. Res.* 30: 276-284.

- [5] Senthilkumar, S., Kalaamani. P., Porkodi. K., Varadarajan. P.R. and Subburaam, C.V. (2006). Adsorption of dissolved Reactive red dye from aqueous phase onto activated carbon prepared from agricultural waste. *Bioresource Technology*. 97(14): 1619, 2006.
- [6] Sirianuntapiboon, S. Chairattanawan, K. and Jungphungsupanich, S. (2006, July). Some properties of a sequencing batch reactor system for removal of vat dyes. *Bioresource Technology*. 97(10): 1243-1252.
- [7] APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2005). 21 st edition., Washington, DC, USA,
- [8] บุญเรียง ขจรศิลป์. (2548). การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลในการวิจัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 10-12. กรุงเทพฯ: บริษัท เอส.พี.เอ็น. การพิมพ์ จำกัด.
- [9] โรงงานอุตสาหกรรม, กรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. (2548). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.
- [10] Faust, D.S. and Aly, O.M. (1988). Removal of Organic by Activated Carbon. (1988). *Chemistry of Water Treatment*. Butterworths Publisher, Boston, 199-216.
- [11] นริชญา กวีนันทวงศ์. (2542). การบำบัดน้ำเสียที่ย้อมโดยกระบวนการ PAC-UF. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- [12] Bell, J. and Buckley, C.A. (2003, April). Treatment of a textile dye in the anaerobic baffled reactor[online] *Water SA*, 29(2). Available : [http:// www.wrc.org.za](http://www.wrc.org.za) [Accessed September 21, 2005]
- [13] Santhy K. and Selvapathy P., Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon, *Bioresource Technology*, 97(11) , 1329-1336, 2006, Abstract retrieved Jan 4, 2007, from [http:// www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [14] นิตยา ชำอุ่น และรัตนา สนั่นเมือง. (2550). การศึกษาสมมูลของการดูดซับสีรีแอกทีฟด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม. สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2550.
- [15] ศานิต ไชยยะ. (2547). อุณหพลศาสตร์และจลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมบนสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายไฮโดรทัลไซท์. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] Panswad T. and Luangdilok W. (2000). Decolorization of Reactive Dyes with Different Molecular Structures under Different Environmental Conditions. *Water Research*. 34, 4177-4184. Abstract retrieved September 21, 2005, from <http://www.sciencedirect.com>
- [17] Basibuyuk M.; Yilmaz T.; Kayranli B.; Yuceer A.; Forster C.F. (2001, March). The Use of Waterworks Sludge for the Treatment of Dye Wastes. *Environmental Technology*. 23(3), 345-351. Abstract retrieved September 21, 2005, from <http://www.sciencedirect.com>
- [18] Sirianuntapiboon S. Somchai P. Ohmomo S and Atthasumpunna P. (1988). Screening of Filamentous Fungi Having the Ability to Decolorize Molasses Pigment. *Agric,Biol.Chem*. 52(2), 387-392.

- [19] Alkan M. et al. (2005). Removal of reactive blue 221 and acid blue 62 anionic dyes from aqueous solutions by sepiolite. *Dyes and Pigments*. 65: 251-259.
- [20] Ohmomo, S., Kainuma, M., Kamimura K., Sirianuntapiboon, S. Aoshima, I. and Atthasumpunna, P. (1988). Adsorption of Melanoidin to the Mycelium of *Aspergillus oryzae* Y-2-32. *Agric, Biol.Chem.* 52(2), 381-386.
- [21] ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์. (2548). การหาวิธีที่เหมาะสมในการดูดซับสีจากน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานย้อมผ้า โดยเชื้อ *Lentinus polychrous*. รายงานการวิจัย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2548 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี: 17-18.
- [22] อรไท สุขเจริญ. (2545). การดูดซับไอออนตะกั่วโดยเชื้อจุลินทรีย์. *วารสารวิจัย*. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 5(1): 114-133.
- [23] เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์.(2536). *วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 1*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.
- [24] ดวงพร คันชโชติ. (2545). *นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [25] พิไลพรรณ พงษ์พล และบัญญัติ สุขศรีงาม. (2521). *จุลชีววิทยา เล่ม 1*. พิมพ์ครั้งที่ 3. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน.
- [26] Perrich, J.R. (1981). *Activated Carbon Adsorption for Wasterwater Treatment*. CRC Press Inc., Florida, 37-46.
- [27] Ming-Shen Chiou and Hsing-Ya Li. (2003). Adsorption behavior of **reactive** dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. *Chemosphere*, 50(8), 1095-1105.
- [28] ชลธิชา ไม่เสื่อมสุข. (2545). *ผลของภาวะออกซิเจนต่อการดูดซับสีรีแอกทีฟบนถ่านกัมมันต์*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [29] Van, Hamme, J.D. and Ward, O.P. (1999). Influence of chemical surfactants on the biodegradation of crude oil by a mixed bacterial culture. *Can. J. Microbial.* 45: 130-137.