คำนำ

ปัจจุบันแนวโน้มของการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตหม้อห้อมได้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากนโยบายการสนับสนุนอุตสาหกรรมขนาดย่อมในการผลิตสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ของรัฐบาล ซึ่งสามารถพบเห็นได้ตามแหล่งที่ทำงานหัตถกรรมต่างๆ ทั้งที่เป็นครัวเรือน กลุ่มตามหมู่บ้าน ตำบล หรืออำเภอ โดยกระบวนการในการผลิตหม้อห้อมนั้น จะมีขั้นตอนของการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมจากต้นคราม หรือต้นห้อมร่วมกับการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างนอกจากนี้ยังมีการเติมสีสังเคราะห์ซึ่งเป็นสี direct ลงไปในน้ำย้อมเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มสี และยังใช้ในการตกแต่งลวดลายของผ้าอีกด้วย ซึ่งจากขั้นตอนดังกล่าวจะมีน้ำเสียเกิดขึ้น และมีสีน้ำเงินเข้มเป็นสีที่น่ารังเกียจ และถึงแม้จะไม่มีมาตรฐานกำหนดสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมขนาดย่อมเหล่านี้ แต่น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อย่อมเมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว จะทำให้สีของแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับมีค่าความสกปรกเพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้น ส่งผลให้เกิดการกีดขวางทางเดินของแสงลงสู่ใต้น้ำ เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพค่าพีเอชและทำลายสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย อีกทั้งผู้ประกอบการยังขาดความรู้ความเข้าใจในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวโดยใช้วิธีการไม่ถูกต้อง และไม่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น เช่น การเก็บน้ำเสียไว้ในถังพักน้ำเสียแล้วใช้รถบรรทุกขนไปทิ้งลงในที่ดินเปล่า หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ การกรองผ่านทรายหรือแม้แต่วิธีการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำผิวดินโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีวิธีการที่จะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำดังกล่าวก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการค้นพบเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมได้สูงอยู่หลายสายพันธุ์ แต่ยังไม่มีการพัฒนาหาสภาวะ และรูปแบบที่เหมาะสมในการนำเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวไปใช้ในการกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมร่วมกัน จึงถือเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะนำวิธีการดังกล่าว มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นการจัดการและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมของเชื้อแต่ละสายพันธุ์

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม ด้วยการนำระบบที่มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมร่วมกันในสภาวะที่เหมาะสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อย่อมด้วยวิธีการทางชีวภาพได้

2.องค์ความรู้ที่สามารถเป็นแนวทางและนำไปใช้ได้จริงกับกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่ทำการผลิตหม้อห้อมที่ประสบปัญหาในการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้น

3.ช่วยในการลดการเกิดมลพิษทางน้ำ ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

ขอบเขตงานวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการทดลองที่ห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (สิ่งแวดล้อม) อาคารเรียนและปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ

2. ในการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์เบื้องต้นจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความเข้มสีของเชื้อจุลินทรีย์

3. เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการลดความเข้มสีจะทดสอบความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อห้อม

การตรวจเอกสาร

อุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใยโดยการใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสมโดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) สารเคมีที่ใช้จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น องค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์โพลิเมอร์ และสารอินทรีย์ โดยที่ความเข้มข้นของสีบริเวณที่ปล่อยออกจะมีความเข้มข้นน้อยแต่ก็พบว่ามีผลต่อคุณภาพการมองเห็นสูง ซึ่งสีที่ใช้ทางการค้ามีมากกว่า 100,000 ชนิด ดังนั้นจึงส่งผลให้มีการผลิตสีย้อมมากกว่า 7×10^5 ตัน ของทุกปี โดยโครงสร้างทางเคมีของสีจะทนต่อแสง น้ำ และสารเคมี โดยส่วนใหญ่สีจะกำจัดยากเนื่องจากมีโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่ซับซ้อน โครงสร้างของสีมีหลายชนิด เช่น สีเอซิด (acid dye), สีเบสิค (basic dye), สีดิสเพริส (disperse dye), สีอะโซ (azo dye), สีไดอะโซ (diazo dye), สีแอนทราควิโนน (anthraquinone dye) และสีเมทัลคอมเพล็กซ์ (metal complex dye) และจากการศึกษาของ ETAD (Ecological and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturing Industry) พบว่ามากกว่า 90% ของสีที่ทดสอบมีค่า LD_{50} มากกว่า 2×10^3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอัตราความเป็นพิษของสีเบสิคและสีไดเร็กท์ (ไดอะโซ) จะมีสูง (Robinson *et al.*, 2001)

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสีย น้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า ขั้นตอนการให้สี และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในปริมาณมาก ซึ่งสิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี กรดด่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำใช้ในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1.1 น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม

น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง

1.2 น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม

น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยส่วนรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อม มักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณของสารละลายสีย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

3. น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อม มีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำได้ก็โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5. น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น มีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างของสารอนินทรีย์ เช่น ด่างและกรดอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต ($2Na_2OSiO_2$) โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_3) และสารฟอกขาวธรรมดา ส่วนสารอินทรีย์นั้นมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วย กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก (HCOOH) กรดอะซิติก (CH_2COOH) กรดไขมัน พวกสบู่ แป้ง สารอินทรีย์ที่ใช้แทนแป้ง ผงซักฟอก สารที่ทำให้เกิดความอ่อนนุ่ม สีย้อม สารนำพา และสารเคมีอื่น ๆ อีก เช่น สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ซึ่งล้วนแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อผ้าระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จทั้งสิ้น

สารเคมีบางตัวอาจมีค่าบีโอดีสูง ซึ่งในขณะเดียวกันสารเคมีอื่น ๆ ที่มีค่าบีโอดีต่ำ และมีคุณสมบัติคล้ายกันก็สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงนิยมใช้สารเคมีที่มีค่าบีโอดีต่ำ เช่น การใช้ คาร์บอกซี่เมททิล เซลลูโรส (carboxylmethyl cellulose) แทนแป้ง ซึ่งมีประโยชน์และไม่เป็นอันตราย หรือหาทางขจัดออกไปได้ง่ายโดยวิธีทางเคมีหรือฟิสิกส์แต่ทั้งนี้ก็อาจจะมีสารเคมีบางตัวที่ใช้ทดแทนแล้วทำให้เกิดผลต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลเสียหายต่อสัตว์น้ำหรือการใช้น้ำในอนาคตและทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

เมื่อนำน้ำใช้ไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นจะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดและปริมาณต่าง ๆ กัน หลังจากน้ำใช้ผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตแล้วจะกลายเป็นน้ำเสียซึ่งจะต้องนำไปปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมนั้นมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งอาจจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้

1. สีย้อม

ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในรูปสารละลายสีย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและการตกแต่ง มีอยู่หลายประเภท แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม

2.1 สารช่วยย้อม (auxiliaries chemicals) ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (scouring agent) สารช่วยเปียก (wetting agent) และสารที่ช่วยในการย้อมสีให้ได้สีที่สม่ำเสมอ (levelling agent)

2.2 สารเคมีพื้นฐาน (basie chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

2.3 สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ สารกันยับ ฯลฯ สารเคมีด่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย

3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปนมาบ้างไม่มากก็น้อย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมากด้วย เช่น เส้นใยขนแกะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติที่ต้องกำจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 ซึ่งสิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตก็ยังมีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายเป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และจะหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

4. เศษเส้นใย

ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอันหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีโอลีโกเมอร์ (oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียด้วย

5.สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ

นอกจากสิ่งสกปรกเจือปนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมยังอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนชนิดอื่น ๆ อีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอยเปรอะเปื้อนบนผ้า ซึ่งมักจะเป็นสารประกอบพวก chlorinated benzene พวกสารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่องเหล่านี้ เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสียในภายหลัง

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีความหลากหลายอย่างยิ่งในแง่ขององค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งพบว่าปริมาณของสีที่ปนเปื้อนในน้ำแม้เพียง 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลต่อคุณภาพการมองเห็น ความโปร่งใสของน้ำ ความสามารถในการละลายของก๊าซออกซิเจนลงไปในน้ำ และการเปลี่ยนรูปของผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพจะทำให้เกิดความเป็นพิษซึ่งบางกรณีองค์ประกอบเหล่านี้จะเป็นสารก่อมะเร็งและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องบำบัดสีในน้ำเสีย (Isik and Sponza, 2004) โดยวิธีการบำบัดสีในน้ำเสียมีดังนี้

วิธีการบำบัดทางกายภาพและทางเคมี

ในการเลือกวิธีในการบำบัดขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสี บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องเพิ่มวิธีอื่นร่วมด้วย ซึ่งวิธีในการบำบัดสีในน้ำเสียทางกายภาพและเคมีได้แก่

1. โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (coagulation)

ระบบโคแอกกูเลชันเป็นการกำจัดสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมีจำพวกสร้างตะกอน (coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$) เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิค ($3MgCO_3Mg(OH)_2.3H_2O$) เป็นต้น ในกรณีของสารส้มจะเป็นโคแอกกูแลนท์ที่ใช้กับน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารสี (Pigment) เป็นส่วนใหญ่ สำหรับเฟอร์ริกคลอไรด์และแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิค โดยส่วนใหญ่จะใช้กำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีประเภทไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สีแว็ต (vat dye), สีอะโซอิค (azoic dye) เป็นต้น

2. การดูดติดผิว (adsorption)

การดูดติดผิวเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิวโมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbant) สารดูดซับมีหลายชนิดอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1 ประเภทสารอินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอกติเวทเต็ดซิลิกา เป็นต้น สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิว 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม

2.2 แอคติเวทเต็ดคาร์บอน มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอินทรีย์อื่นๆ คือ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม โดยความสามารถในการดูดซับของแอคติเวทเต็ดคาร์บอนจะแสดงด้วยค่าไอโซเทอมของการดูดซับ

2.3 สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซินสำหรับแลกเปลี่ยนประจุ มีพื้นที่ผิว 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

โดยทั่วไป จะใช้กระบวนการดูดซับแบบแอคติเวทเต็ดคาร์บอนเพื่อกำจัดสีและกลิ่นในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสีย เนื่องจากแอคติเวทเต็ดคาร์บอนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย

3. คลอริเนชัน (chlorination)

คลอริเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซิง ทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำเสียทำให้สีหายไปหรือลดความเข้มสีลง ความเข้มสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้จะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณคลอรีนที่มากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

4. โอโซนเนชัน (ozonation)

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดซิงไปทำปฏิกิริยากับสีที่มีอยู่ในน้ำเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซิงสูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า โอโซนเป็นก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง

5. การใช้สารเคมีเฟนตัน (fenton's reagent)

การใช้สารเคมีเฟนตันในการบำบัดน้ำสีจากการย้อม-พิมพ์ เป็นวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการบำบัดสีรีแอคทีฟ สารเคมีเฟนตันเป็นสารผสมระหว่าง hydrogen peroxide (H_2O_2) กับไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}, Fe^{3+}) ในอัตราส่วน 20:1 โดยใช้ไอออนของเหล็ก 0.02 โมลต่อลิตร พีเอช 3.05 อุณหภูมิ 37.3 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สภาวะต่างๆ ขึ้นอยู่กับการทดลองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโดยทำปฏิกิริยาให้เกิด hydroxyl radical ($HO^{\cdot}$) ซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดซ์ค่อนข้างสูง โดยสูงกว่าคลอรีน 2 เท่า และสูงกว่าโอโซน ¼ เท่า ทำให้สามารถทำลายพันธะอะโซ (azo bond) ของสีรีแอคทีฟ มีผลทำให้สามารถกำจัดสีได้สูง

6. การกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรน (membrane filtration)

การใช้แผ่นเยื่อเมมเบรนประกอบด้วยวิธีอุลตราฟิลเตรชัน (utrafiltration) และรีเวอร์สออสโมซีส (reverse osmosis) วิธีอุลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบ คือ ใช้แผ่นเยื่อเมมเบรน (menbrane) พวกเซลลูโลสอะซิเตต หรือโพลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ เยื่อกรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งชนิดที่ละลายน้ำและแขวนลอยขนาดเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 500 ถึง 500,000 และขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มิลลิเมตรได้ สำหรับวิธีรีเวอร์สออสโมซิส

สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้

7. ไฟฟ้าเคมี (electrochemical)

วิธีไฟฟ้าเคมีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง ที่สามารถกำจัดสีให้ลดลงได้ ซึ่งลักษณะการทำงานมีองค์ประกอบหลักคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (dc power source) ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว (electrode) และสารละลายนำไฟฟ้า (electrolyte solution) เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่เซลไฟฟ้าเคมีที่ผ่านแผ่นเหล็ก (Fe) เป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าที่ขั้วบวกจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก ซึ่งทำให้แผ่นเหล็กเกิดการสึกกร่อนและละลายออกมาในรูปเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของ Fe^{2+} จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในขณะเดียวกันที่ขั้วลบจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และทำให้เกิดตะกอนของเฟอรัสไอออนและเฟอริกไอออน ซึ่งจะดูดติดและช่วยตกตะกอนของโลหะหนัก สี หรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

วิธีการบำบัดสีในน้ำเสียทางกายภาพและทางเคมีที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าแม้วิธีดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแต่ก็มีข้อจำกัดในการดำเนินงาน เนื่องจากมีต้นทุนสูง ผลิตตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาให้ในการกำจัดตะกอนเหล่านี้ ดังนั้นระบบบำบัดทางชีวภาพหรือระบบผสมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่มีปริมาณมากด้วยต้นทุนต่ำ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายถูกสลายอย่างสมบูรณ์ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Robinson *et al.*, 2001)

วิธีการบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ คือ การบำบัดน้ำเสียโดยการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ จากธรรมชาติมาย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำเสียในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเปลี่ยนเป็นผลผลิตสุดท้ายและเซลล์จุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประมาณร้อยละ 95 รองลงมาได้แก่ เชื้อรา สาหร่าย และโปรโตซัว (สุบัณฑิต, 2548)

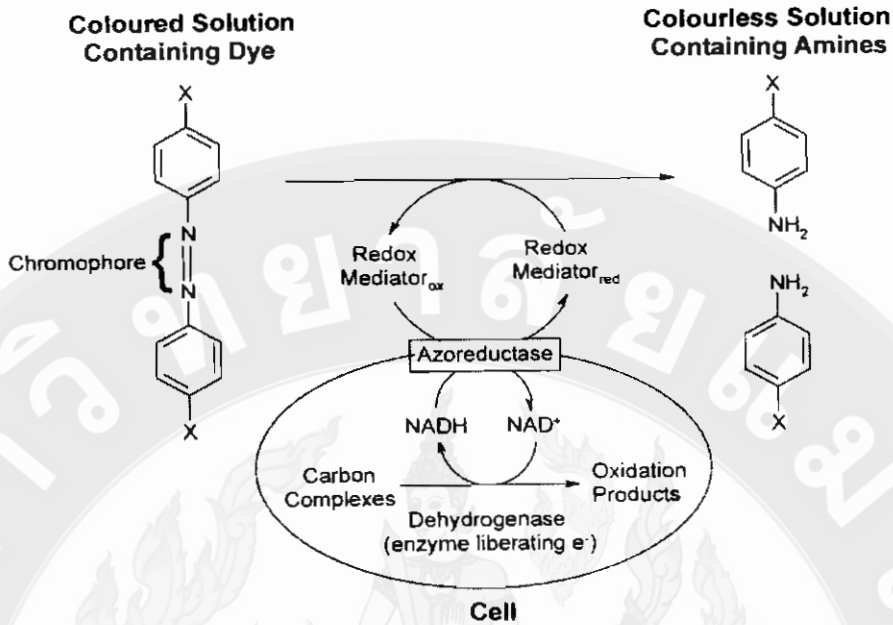
การกำจัดสีโดยใช้เซลล์แบคทีเรีย

การกำจัดสีโดยใช้เซลล์แบคทีเรียเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการกำจัดสีซึ่งจะใช้การสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในการลดสีที่ปนเปื้อน โดยมีการศึกษาความสามารถของแบคทีเรียที่สลาย สีอะโซ พบว่าภายใต้สภาวะแอโรบิคสีอะโซจะไม่สลาย ส่วนภายใต้สภาวะแอนแอโรบิคแบคทีเรียส่วนใหญ่จะสลายพันธะอะโซในโมเลกุลสีซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ azoreductase ผลที่ได้จากการสลายพันธะอะโซ คือ อะโรมาติกเอมีนที่ไม่มีสี ซึ่งจะทนต่อการสลายแบบแอนแอโรบิคและทำให้เกิดความเป็นพิษหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมกับสัตว์ (Pearce *et al.*, 2003)

กลไกในการกำจัดสีอะโซโดยแบคทีเรีย

กลไกในการกำจัดสีอะโซโดยแบคทีเรียอย่างง่าย คือ การที่แบคทีเรียนั้นดูดซับสีเข้าสู่ชีวมวลเซลล์ของตัวแบคทีเรียนั้นเอง แต่การกำจัดสีด้วยกระบวนการนี้มีความคล้ายคลึงกับกระบวนการทางกายภาพ คือ จะไม่มีความคงตัวในการกำจัดสีในระยะยาวเพราะว่าเมื่อเวลาผ่านไปภายในตัวเซลล์แบคทีเรียจะอิ่มตัวไปด้วยสี ด้วยเหตุนี้จึงมีการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสีย้อมอะโซและแบคทีเรียในทางการบำบัดแบบชีววิทยาด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะแอโรบิกและแอนแอโรบิก

การกำจัดสีอะโซส่วนใหญ่แบคทีเรียที่เจริญภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่าเนื่องจากแบคทีเรียที่เจริญภายใต้สภาวะใช้อากาศจะมีออกซิเจนที่เป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ azoreductase ในการย่อยสลายพันธะอะโซทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในสภาวะที่มีอากาศมีประสิทธิภาพน้อยเมื่อเทียบกับสภาวะไร้อากาศจากภาพ 1 แสดงให้เห็นถึงกลไกในการกำจัดสีอะโซซึ่งจะเกิดขึ้นที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียโดยที่ NADH ที่ได้จากกระบวนการเมทาบอลิซึมสังเคราะห์พลังงานภายในเซลล์แบคทีเรียจะไปช่วยให้เอนไซม์ azoreductase ทำปฏิกิริยามีการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากภายในเซลล์ไปสู่บริเวณ chormophore (N=N) หรือพันธะอะโซในโมเลกุลของสี ซึ่งมีผลทำให้พันธะขาดออกจากกันกลายเป็นสารประกอบจำพวกอะโรมาติกเอมีน ด้วยเหตุนี้ทำให้ความเข้มสีลดลงหรือจางลงนั่นเอง จากที่กล่าวในข้างต้นว่าออกซิเจนจะมีผลยับยั้งให้เอนไซม์ azoreductase ไม่ให้สามารถทำงานได้ดีนั้น เนื่องมาจากสาเหตุที่ออกซิเจนจะไปรับอิเล็กตรอนอิสระที่ปลดปล่อยจากในเซลล์แทนที่จะมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนด้วย redox mediator กับบริเวณพันธะอะโซ (N=N) จึงเป็นเหตุทำให้การกำจัดสีลดลงได้ไม่ดีเท่ากับสภาวะแอนแอโรบิก (Pearce *et al.*, 2003)



ภาพที่ 1 กลไกในการกำจัดสีอะโซโดยแบคทีเรีย

ที่มา: Pearce *et al.* (2003)

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสี

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น พารามิเตอร์ในการดำเนินงานมีความสำคัญมาก เช่น ระดับการให้อากาศ อุณหภูมิ พีเอช และพลังงานศักย์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ของระบบจะต้องเหมาะสมเพื่อจะทำให้อัตราการกำจัดสีเกิดขึ้นสูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของตัวให้อิเล็กตรอน และตัวกลางในปฏิกิริยารีดอกซ์ต้องสมดุลกับปริมาณของชีวมวลเซลล์ในระบบและปริมาณของสีที่มีในน้ำเสีย ความสามารถของแบคทีเรียในการกำจัดสีจากประเภทสีที่ต่างกัน เช่น สีเอสิด เบสิค ไดเร็กท์ ดิสเพรส เมทัลคอมเพล็กซ์ รีแอคทีฟ ซัลเฟอร์ และแว็ต จะต้องมีการทดสอบชนิดของน้ำเสียที่สามารถบำบัดได้โดยระบบ โดยองค์ประกอบของน้ำเสียสิ่งทอมีความหลากหลาย ซึ่งประกอบด้วย สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ สารอาหาร เกลือ องค์ประกอบของซัลเฟอร์ และความเป็นพิษของสี ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจมีผลไปยับยั้งกระบวนการกำจัดสี ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาผลกระทบแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดสีก่อนที่จะใช้ระบบชีวภาพบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

1. ออกซิเจน เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดเพราะออกซิเจนมีผลต่อการเจริญของเซลล์และการลดสี โดยในระหว่างที่เซลล์มีการเจริญเติบโตออกซิเจนจะมีความสำคัญคือมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของเซลล์ส่วนในระหว่างการกำจัดออกซิเจนจะมีผลยับยั้งให้เอนไซม์ azoreductasc ไม่ให้สามารถทำงานได้ดี เนื่องจากสาเหตุที่ออกซิเจนจะไปรับอิเล็กตรอนอิสระที่ปลดปล่อยจาก ในเซลล์แทนที่จะมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนด้วย redox mediator กับบริเวณพันธะอะโซจึงเป็นเหตุทำให้การกำจัดสีลดลงได้ไม่ดี (Yoo *et al.*, 2001)

2. อุณหภูมิ ในระบบส่วนใหญ่อัตราการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นภายในช่วงที่จำกัดขึ้นอยู่กับระบบ โดยความต้องการอุณหภูมิเพื่อให้มีการกำจัดสูงสุดจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเซลล์คือ 35-45 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของระบบสูงมากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเซลล์กิจกรรมการกำจัดสีจะค่อยๆลดลงเนื่องจากเซลล์เสียสภาพและเอนไซม์ azoreductase ถูกทำลาย (Pearce *et al.*, 2003)

3. พีเอช จากการศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีจะมีค่าเป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อยคือ 7.0-9.5 และอัตราการกำจัดสีจะลดลงอย่างรวดเร็วที่พีเอชเป็นกรดเข้มข้นหรือเป็นด่างเข้มข้น (Chang *et al.*, 2001)

4. ความเข้มข้นสี จากการศึกษาแบคทีเรียสามารถกำจัดสีได้ดีจะพิจารณาจากไคเนติกของเอนไซม์ azoreductase และจากการใช้ความเข้มข้นของสับสเตรทที่ระดับต่างๆ ปรากฏว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีที่แบคทีเรียสามารถกำจัดสีได้ง่ายอยู่ที่ช่วง 1-10 ไมโครโมล และการกำจัดสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 30 ไมโครโมล (Sani *et al.*, 1999)

5. โครงสร้างสี จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างสีที่ประกอบด้วยพันธะอะโซเดี่ยว (monoazo) แบคทีเรียสามารถกำจัดสีได้ดีและรวดเร็วกว่าสีที่มีองค์ประกอบของพันธะอะโซสองแห่ง (diazo) และสามแห่ง (triazo) ในโมเลกุลของสี

6. ตัวให้อิเล็กตรอน จากการศึกษาพบว่าตัวให้อีเล็กตรอนในปฏิกิริยาการกำจัดสีอะโซด้วยเอนไซม์ azorcductase ได้คือ โคแฟกเตอร์ชนิด NADH และได้มีการยืนยันจากการทดลองที่มีการนำ p-chloromercuibenzoate ไปยับยั้งการสร้าง NADH ภายในเซลล์แบคทีเรียพบว่าการกำจัดสีนั้นลดลง (Gingell and Walker, 1971)

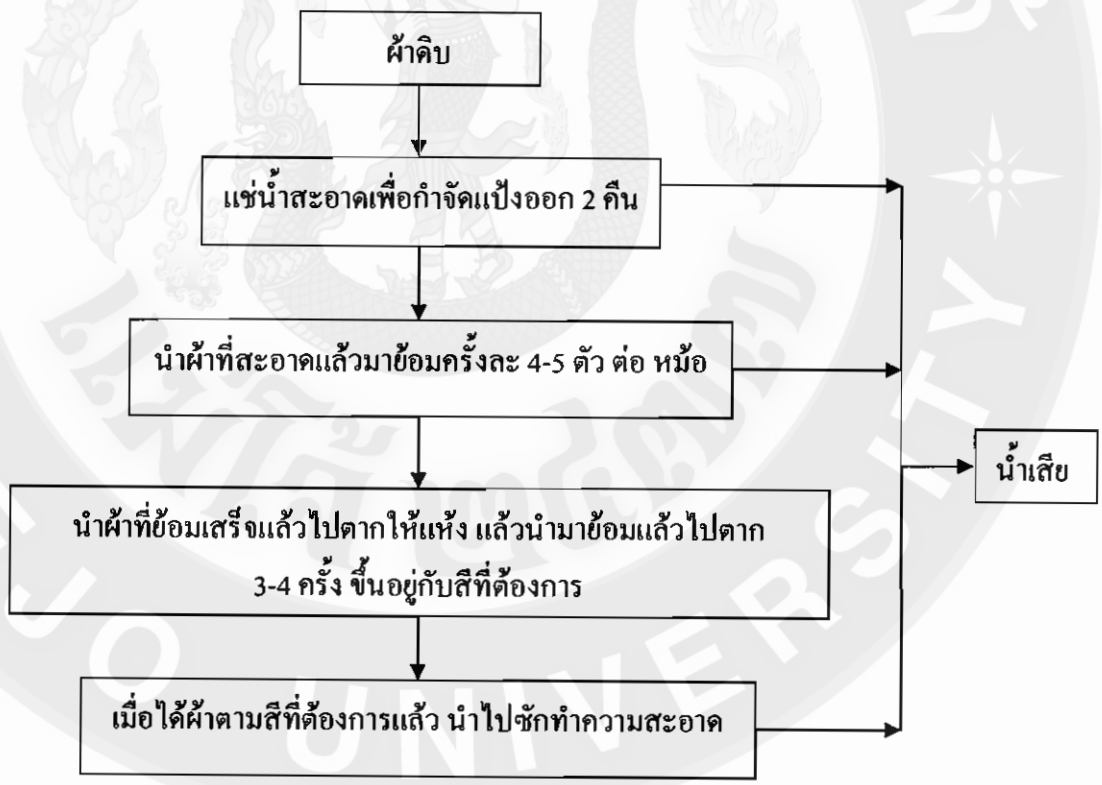
7. พลังงานศักย์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ การกำจัดสีของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับพลังงานในการส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยเมื่อมีการกำจัดสีมากขึ้นค่าพลังงานศักย์ในปฏิกิริยารีดอกซ์จะมีค่าสูงขึ้นด้วย (Bragger *et al.*, 1997)

8. ตัวกลางในปฏิกิริยารีดอกซ์ จากการศึกษาพบว่านอกจากพลังงานศักย์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการกำจัดสีมากขึ้นยังมีตัวกลางในปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันด้วย (Van *et al.*, 2001)

ขั้นตอนการย้อมผ้าหม้อห้อม และน้ำเสียจากการผลิต

ขั้นตอนการผลิต

จากการสำรวจพื้นที่ที่มีการผลิตผ้าหม้อย่อม คือ พื้นที่หมู่ที่ 2 ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นการผลิตผ้าหม้อห้อมในรูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือน พบว่า มีขั้นตอนการผลิต และน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต โดยมีรายละเอียดดังภาพ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการย้อมผ้าหม้อห้อมและน้ำเสียจากการผลิต

ขั้นตอนการขจัดแป้งออกจากผ้าโดยการแช่

นำผ้าผืนมาตัดเย็บเป็นตัวจนเสร็จเรียบร้อยจากนั้นนำไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำเปล่า ใช้น้ำประมาณ 30 ลิตรต่อการแช่ผ้าประมาณ 10 ตัว แช่จนกระทั่งเนื้อผ้านิ่มและมีสีเหลืองของแป้งละลายออกมาในน้ำหลังจากนั้นใช้ไม้พลองทุบผ้าเพื่อให้แป้งหลุดออกจากผ้าและผ้ามีความนิ่มมากยิ่งขึ้น บิดขึ้นจากน้ำ นำมาแช่เป็นครั้งที่ 2 โดยใช้น้ำปริมาณเท่าเดิม แช่จนกระทั่งแป้งละลายออกมาปนกับน้ำจนหมด บิดขึ้นตาก แล้วจึงนำไปย้อมตามปกติ

ขั้นตอนการย้อมผ้าหม้อห้อม

นำหัวครามที่ได้มาผสมกับน้ำด่าง (น้ำด่างที่ได้มาจากการกรองน้ำขี้เถ้าที่ได้จากการหุงต้ม) และปูนขาวใส่ลงไปในหม้อ น้ำผ้าที่ต้องการย้อม (ผ้าฝ้าย) มาทำความสะอาดเอาแป้งออกโดยการแช่น้ำไว้ 2 คืน นำผ้าที่ทำความสะอาดแล้วมาย้อมในหม้อโดยใส่ผ้าครั้งละ 4-5 ตัว ต่อ หนึ่งหม้อ จากนั้นนำผ้าที่ย้อมเสร็จแล้วไปตากให้แห้งแล้วขยำให้ทั่วเนื้อผ้าประมาณ 10-15 นาที แล้วนำกลับมาย้อมแล้วนำไปตาก 3-4 ครั้ง ขึ้นอยู่กับสีที่ต้องการ ถ้าต้องการสีเข้มมากก็ย้อมให้นานครั้ง เมื่อได้ผ้าตามสีที่ต้องการแล้วนำไปซักทำความสะอาดซึ่งน้ำที่ใช้ในการซักแต่ละครั้งประมาณ 30 ลิตร ต่อครั้ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการใช้จุลินทรีย์บำบัดสีในน้ำเสีย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดสีในน้ำเสีย พบว่าจากการศึกษาของ Kalme *et al.* (2007) ได้ศึกษาการสลาย benzidine based ของสี direct blue - 6 โดยใช้ *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112 พบว่า *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112 สามารถสลายสี direct blue-6 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 72 ชั่วโมง พร้อมกับลด COD ได้ร้อยละ 88.95 ในสภาวะขาดอากาศ

Khehra *et al.* (2005) ได้ศึกษาการกำจัดสีอะโซที่แตกต่างกันโดยใช้กลุ่มแบคทีเรีย คือ *Bacillus cereus* (BN-7), *Pseudomonas putida* (BN-4), *Pseudomonas fluorescence* (BN-5) และ *Stenotrophomonas acidaminiphila* (BN-3) พบว่าสามารถกำจัดสี C.I. Acid Red 88, C.I. Red 119, C.I. Acid Red 97, C.I. Acid Blue 113 และ C.I. Reactive Red 120 ได้ร้อยละ 78, 99, 94, 99 และ 82 ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสีเริ่มต้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหาร mineral salts medium (msm)

ภายใน 24 ชั่วโมง ซึ่งจากงานวิจัยของทั้ง Kalme *et al.*, 2007 ; Khehra *et al.*, 2005 พบว่าแบคทีเรียจะกำจัดสีได้ดีที่ความเข้มข้นเริ่มต้นไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากการศึกษาหาความเข้มข้นสีเริ่มต้นที่เหมาะสมแล้วยังมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีของจุลินทรีย์โดย Kim *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของ reductant และ แหล่งคาร์บอนต่อจุลินทรีย์ในการกำจัดสีอะโซในระบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าการกำจัดสีในระบบที่ไม่มีซัลไฟด์จะกำจัดสีได้ร้อยละ 94 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในเวลา 72 ชั่วโมง ส่วนระบบที่มีการเติมซัลไฟด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไปเพิ่มการกำจัดสีของจุลินทรีย์มากกว่าร้อยละ 9 ในเวลา 48 ชั่วโมง และพบว่าในระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนประสิทธิภาพการกำจัดสีจะต่ำกว่าในระบบที่มีการเติมกลูโคส 2-3 เท่า

Jadhav *et al.* (2008) ได้ศึกษาการกำจัดสี brilliant blue Gโดยการสลายของ *Galactomyces geotrichum* MTCC 1360 และ *Bacillus* sp. พบว่าสามารถสลายสี brilliant blue G ได้ที่พีเอช 9 และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมในการกำจัดสีคือ malt extract, peptone และ beef extract

Cetin and Donmez (2006) ได้ศึกษาการกำจัดสีรีแอคทีฟโดยใช้ mixed cultures ที่แยกจากบริเวณทางออกของอุตสาหกรรมสิ่งทอภายใต้สภาวะแอนแอโรบิคพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี คือ พีเอช 8 และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีคือ 35 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการกำจัดสี Reactive Red RB, Reactive Black B และ Remozol Blue เท่ากับ ร้อยละ 94.9, 91.0 และ 63.6 ที่ระดับความเข้มข้นสีเริ่มต้น 953.2, 864.9 และ 1031.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Supaka *et al.* (2004) ได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์กำจัดสีรีแอคทีฟในระบบแอนแอโรบิคร่วมกับระบบแอโรบิค พบว่าสีรีแอคทีฟจะลดลงภายใต้สภาวะแอนแอโรบิคและเกิดอะโรมาติกเอมีนขึ้นซึ่งจะถูกสลายต่อในสภาวะแอโรบิค และ Isik and Spoza (2004) ได้ศึกษาการใช้ระบบ UASB ร่วมกับระบบ CSTR ในการกำจัดสีและกำจัดพิษของสี C.I. Direct Black ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีกลูโคสเป็นสับสตรทร่วมโดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเกิดภายใต้สภาวะแอนแอโรบิคในขณะที่อะโรมาติกเอมีนและสารอินทรีย์อื่นๆจะถูกกำจัดภายใต้สภาวะแอโรบิค

นอกจากนี้ Chen *et al.* (2003) ได้ศึกษาการกำจัดสีสิ่งทอโดยใช้ *Aeromonas hydrophila* พบว่าที่พีเอช 5.5 - 10.0 และอุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะ anoxic สามารถลดสีได้มากกว่าร้อยละ 90 ภายใน 8 วัน เช่นเดียวกับ Joshi *et al.* (2008) ได้ศึกษาการใช้ bacterial consortium TJ-1 สำหรับกำจัดสีอะโซที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยพบว่าในอาหารที่มี yeast extract ร่วมกับ glucose จะส่งผลให้การกำจัดสี AO7 สูงกว่าในอาหารที่มี glucose, peptone หรือ starch เพียงอย่างเดียว

จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยเชื้อจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสี สภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยง และสารอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตซึ่งหากมีการปรับให้เหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะส่งผลให้มีร้อยละการกำจัดสีสูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมของโรงงานบ้านแม่เหลือง ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 จากห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (สิ่งแวดล้อม) อาคารเรียนและปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ (ธวัชชัย, 2551)
2. เชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จากห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ (สุภาพร, 2554)

สารเคมี

1. Iron chloride solution ($FeCl_2$) (Analytical grade, Ajax Finechem)
2. Calcium chloride solution ($CaCl_2$) (Analytical grade, Ajax Finechem)
3. Magnesium sulfate solution dihydrate ($MgSO_4.2H_2O$) (Analytical grade, Ajax Finechem)
4. Potassium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) (Analytical grade, Ajax Finechem)
5. Sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$) (Analytical grade, Merck)
6. Ammonium hydrogen carbonate (NH_4HCO_3) (Analytical grade, Ajax Finechem)
7. Urea ($(NH_2)_2CO$) (Analytical grade, Ajax Finechem)
8. conc. Sulfuric acid (conc. H_2SO_4) (Analytical grade, Ajax Finechem)
9. Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) (Analytical grade, APS)
10. Silver sulfate (Ag_2SO_4) (Analytical grade, Merck)
11. 1-10 Phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) (Analytical grade, Ajax Finechem)
12. Iron sulfate heptahydrate ($FeSO_4.7H_2O$) (Analytical grade, APS)
13. Ferrous ammonium sulfatc hexahydrate ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$)(Analytical grade, APS)
14. Ammonium sulphate ($(NH_4)_2SO_4$) (Analytical grade, Merck)

15. Peptone (Analytical grade, Ajax Finechem)
16. Glucose (Analytical grade, Merck)
17. Galactose (Analytical grade, APS)
18. Sucrose (Analytical grade, May Chemical Sdn Bhd)
19. Fructose (Analytical grade, APS)
20. Yeast extract (Analytical grade, LAB – SCAN Analytical Sciences)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ ADAM รุ่น AFP – 2100L)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ ADAM รุ่น AAA 250L)
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (ยี่ห้อ ORTO ALRESA รุ่น LINCER)
4. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (ยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT รุ่น UB - 10)
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (ยี่ห้อ CECIL รุ่น CE 1021)
6. ตู้ถ่ายเชื้อ (ยี่ห้อ TKN รุ่น VFLAF4)
7. ตู้บ่ม (ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น BE 500)
8. เครื่องฆ่าเชื้อด้วยระบบไอน้ำ (TKA รุ่น STERO CLAE SS)
9. ตู้อบเครื่องแก้ว (ยี่ห้อ WTB BINDER รุ่น FD 115)
10. เครื่องเขย่า (ยี่ห้อ Ratek รุ่น OM8)

อุปกรณ์อื่นๆ

1. หลอดทดลอง (test tube)
2. ขวดรูปชมพู่ (flask)
3. บิกเกอร์ (beaker)
4. จานเพาะเชื้อ (plate)
5. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อ (spreader)
6. กระบอกตวง (cylinder)
7. ขวดปรับปริมาตร
8. ปิเปต (Pipette)
9. ไมโครปิเปต (Micropipette)

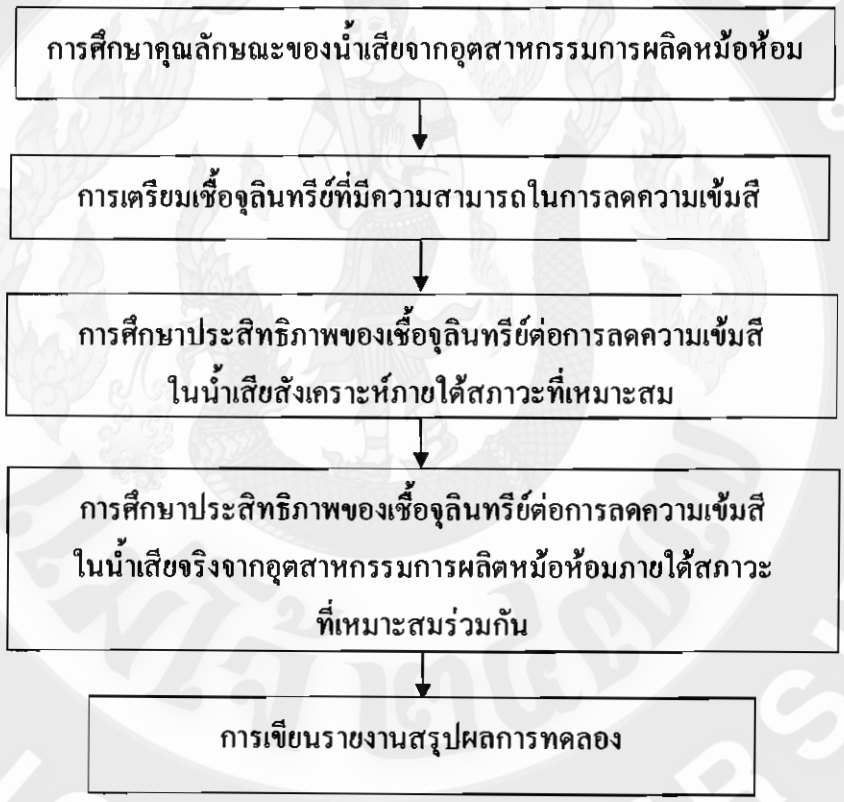
10. ลวดเขี่ยเชื้อ (Loop)

11. บิวเรต

12. หลอดวิเคราะห์ซีโอดี

แนวทางการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อห้อมโดยมีขั้นตอนการศึกษาวิจัยแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนในการศึกษาวิจัย

จากแผนภาพขั้นตอนในการศึกษาวิจัยสามารถอธิบายขั้นตอนในการวิจัยโดยละเอียดได้ดังนี้

1. การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม

1.1 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการฟอกย้อม

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากขั้นตอนการฟอกย้อมใส่ในขวดเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (สิ่งแวดล้อม) อาคารเรียนและปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ โดยนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

1.1.1 วิเคราะห์ค่าเอฟซีโอดีโดยวิธี Closed Reflux

1.1.2 วิเคราะห์ค่าบีโอดีโดยวิธี Azide Modification

1.1.3 วิเคราะห์ค่าพีเอช โดยใช้เครื่อง pH meter

1.1.4 วัดค่าความเข้มสีโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร (ธวัชชัย, 2551)

1.2 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียรวมใส่ในขวดเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (สิ่งแวดล้อม) อาคารเรียนและปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ โดยนำมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ เช่นเดียวกับข้อ 1.1

2. การเตรียมเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด

2.1 การเตรียมเชื้อ *Bacillus megaterium* W10

ใช้ห่วงถ่ายเชื้อเขี่ยเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 มาเลี้ยงในอาหาร NB ปริมาตร 160 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปเขย่าในแนวระนาบด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 9 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าการเจริญด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 (จเร, 2552)

2.2 การเตรียมเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

ใช้ห่วงถ่ายเชื้อเขี่ยเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ลงในอาหาร NB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากนั้นนำไปวัดค่าการเจริญด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 (สุภาพร, 2554)

3. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมร่วมกัน

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุดสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกัน

3.1.1 แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม

นำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 จากข้อ 2.1 ปริมาตรร้อยละ 2.5 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จากข้อ 2.2 ปริมาตรร้อยละ 2.5 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตรและมีแหล่งคาร์บอนต่างๆ คือ กลูโคส กาแลกโตส ฟรุกโตส และซูโครส ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน เขย่าในแนวระนาบด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

เมื่อครบกำหนดเวลาในแต่ละช่วง ให้นำน้ำเลี้ยงเชื้อมาวิเคราะห์ด้วยการนำมาปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำส่วนใสปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นแสง 563 นาโนเมตร จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการลดความเข้มสี

3.1.2 แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 แต่จะใช้แหล่งไนโตรเจนแทนแหล่งคาร์บอน ได้แก่ urea, peptone, yeast extract และ $(NH_4)_2SO_4$ ที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

3.1.3 ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 แต่ใช้แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุด และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง

เริ่มต้น คือ 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 จำนวนละ 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

3.1.4 ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 แต่ใช้แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุด ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุด และใช้สารละลายเชื้อเริ่มต้นของเชื้อทั้งสองชนิดร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณร้อยละ 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 จำนวนละ 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกัน

นำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 มาเติมในปริมาตรร้อยละที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุดต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่มีแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุดในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน เขย่าในเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาที และทำการวิเคราะห์การลดความเข้มสีเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 เมื่อครบกำหนดเวลาในแต่ละช่วง

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงร่วมกัน

นำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 มาเติมในปริมาตรร้อยละที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุดต่อน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่มีแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการลดความเข้มสีสูงสุดในขวดรูปชมพู่ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน เขย่าในเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาที และทำการวิเคราะห์เมื่อครบกำหนดเวลาในแต่ละช่วง โดยนำน้ำเลี้ยงเชื้อมาวิเคราะห์ด้วยการนำมาปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำส่วนใสปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 563 นาโนเมตร วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่า COD

ผลการวิจัย

การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม

เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม 2 ประเภท คือ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า และน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย มาวิเคราะห์ค่าซีโอดี บีโอดี พีเอช และความเข้มสี (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม

คุณลักษณะ	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า	น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	7442	1326
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3700	580
พีเอช	6.37	9.24
ความเข้มสี (OD 563 nm)	4.18	2.04

การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมร่วมกัน

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกัน

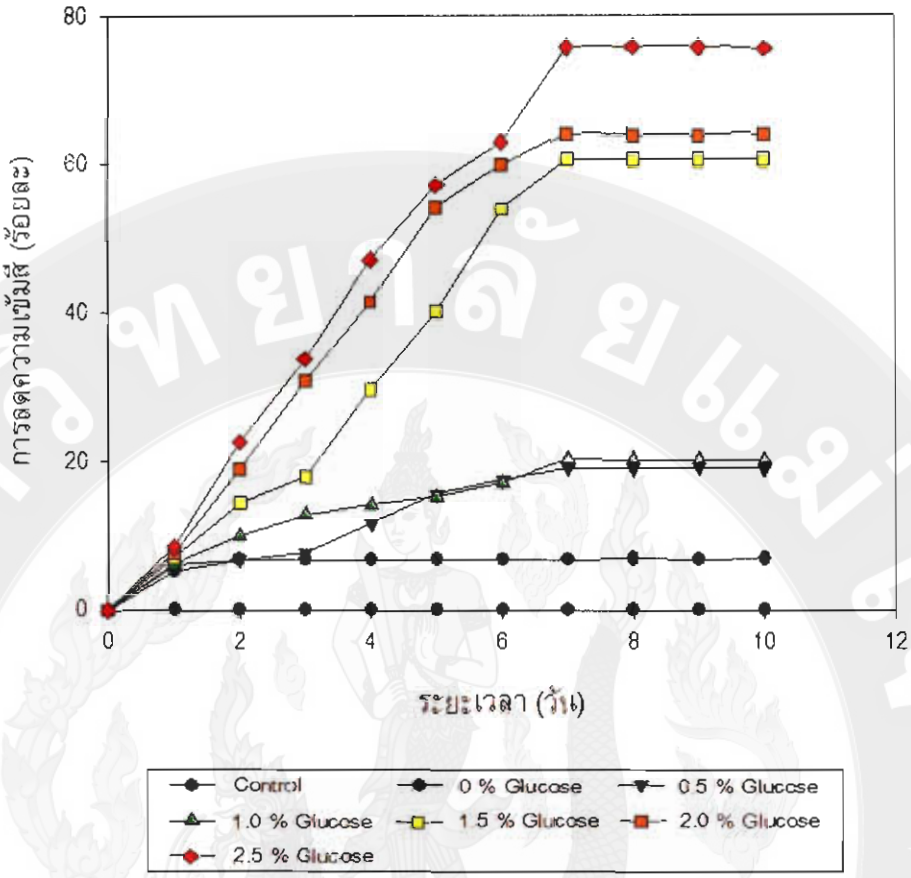
1.1 แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม

เมื่อนำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงร่วมกันในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีแหล่งคาร์บอนต่างๆ คือ กลูโคส กาแลกโตส ฟรุกโตส และซูโครส ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนต่างชนิด และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน โดยสามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดร้อยละ 75.91 ที่มีกลูโคสร้อยละ 2.5 เป็นแหล่งคาร์บอนในวันที่ 8 ของการทดลอง ในขณะที่แหล่งคาร์บอนต่างๆ คือ กาแลกโตส ฟรุกโตส และซูโครส สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุด คือ ร้อยละ37.11, 57.80 และ 10.08 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0, 2.5 และ 2.0 ในวันที่ 8, 9 และ 8 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

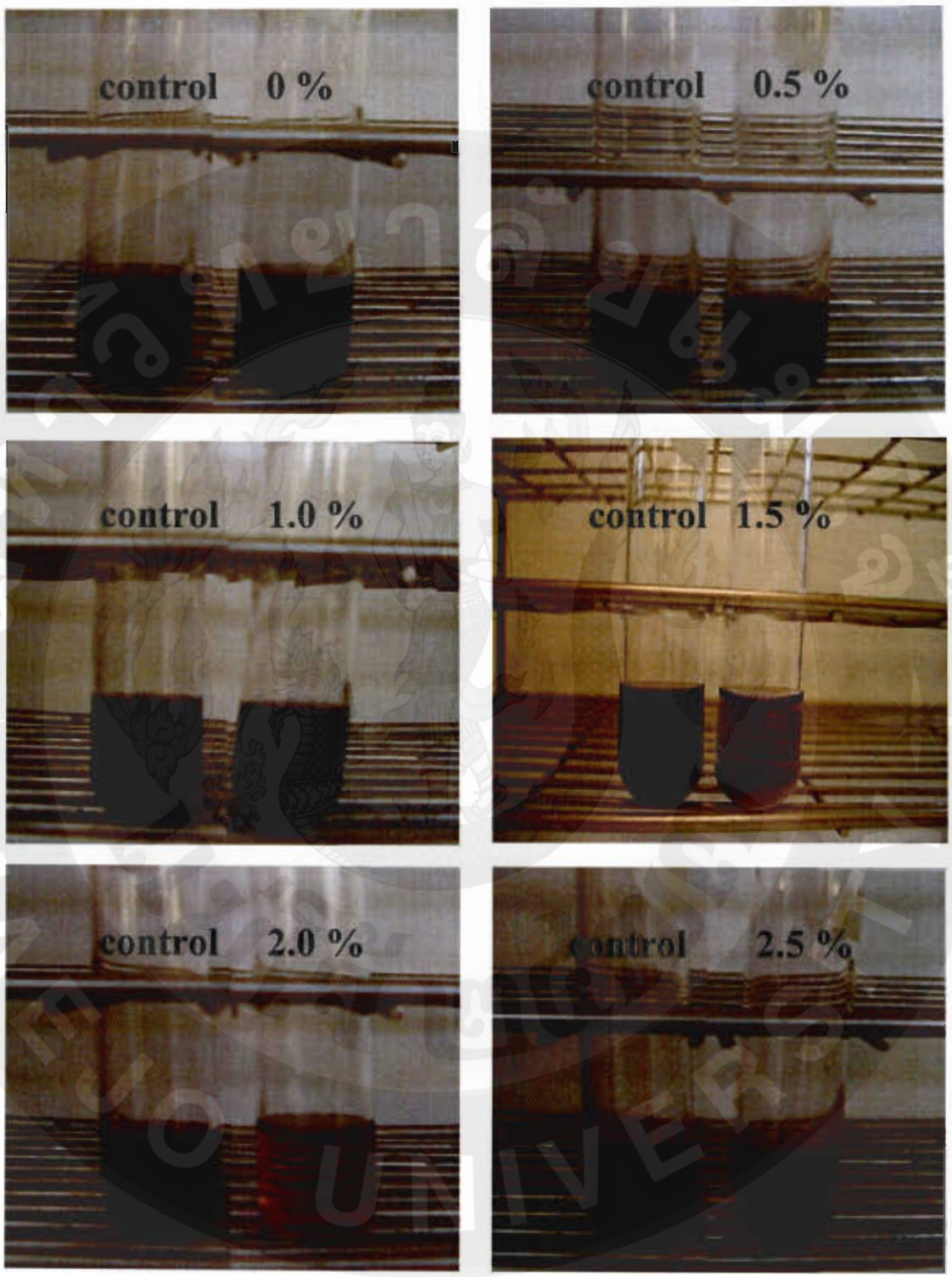
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันภายใต้สภาวะที่มีแหล่งคาร์บอนต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในวันที่มีการลดความเข้มสีสูงสุด

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดความเข้มสี (แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม)			
	กลูโคส	กาแลกโตส	ฟรุกโตส	ซูโครส
0	6.86	6.73	6.75	8.07
0.5	19.10	27.29	22.10	9.43
1.0	20.32	29.66	25.20	9.54
1.5	60.77	29.81	27.85	9.61
2.0	64.24	37.11	36.09	10.08
2.5	75.91	34.86	57.80	9.43

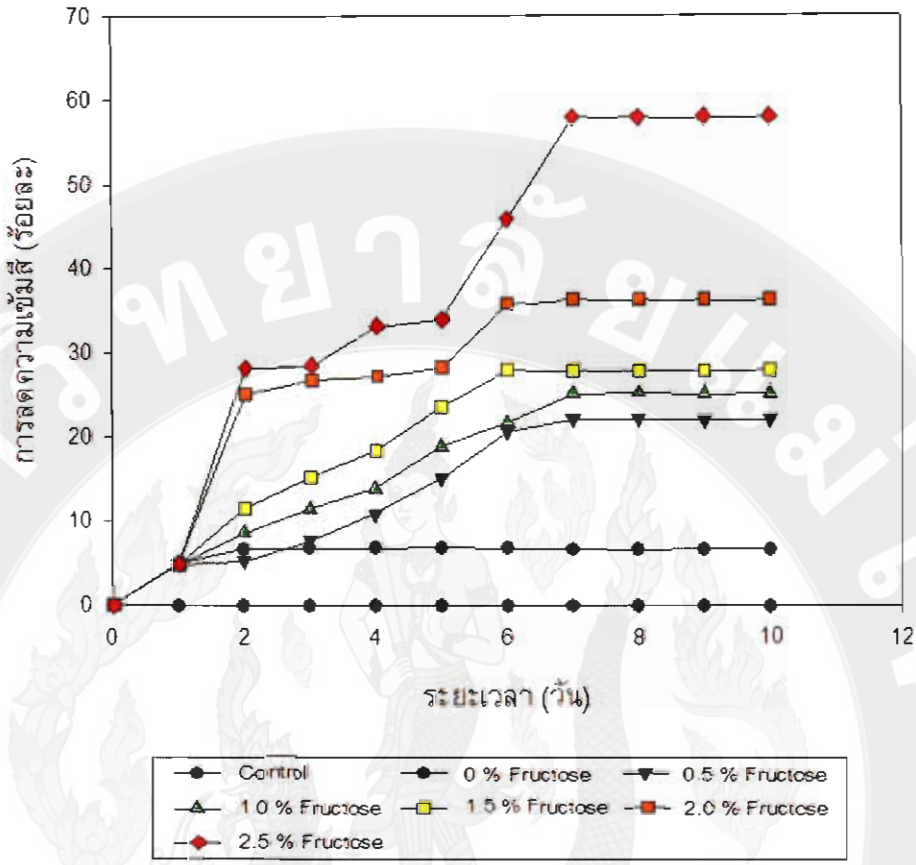
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้



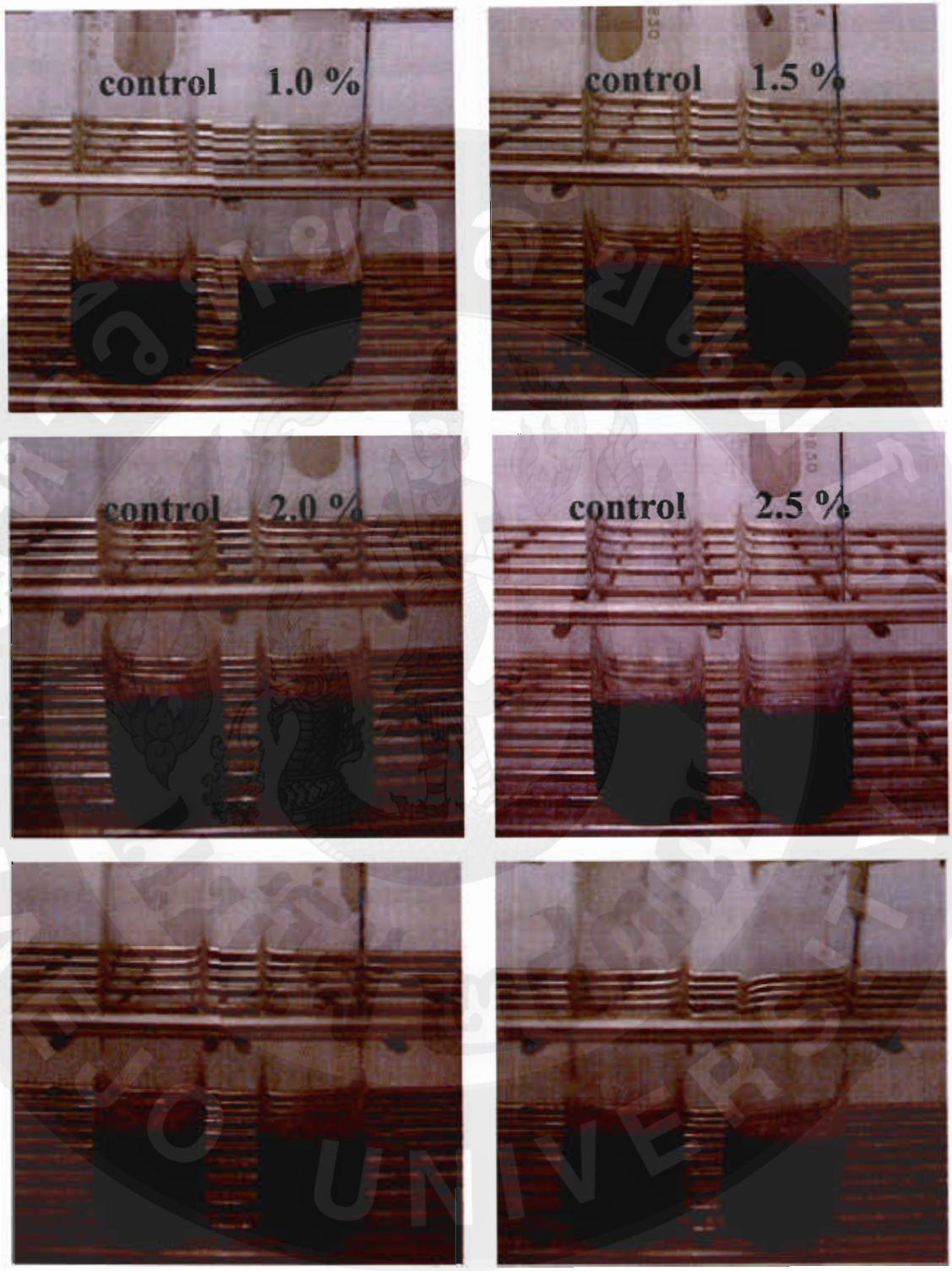
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



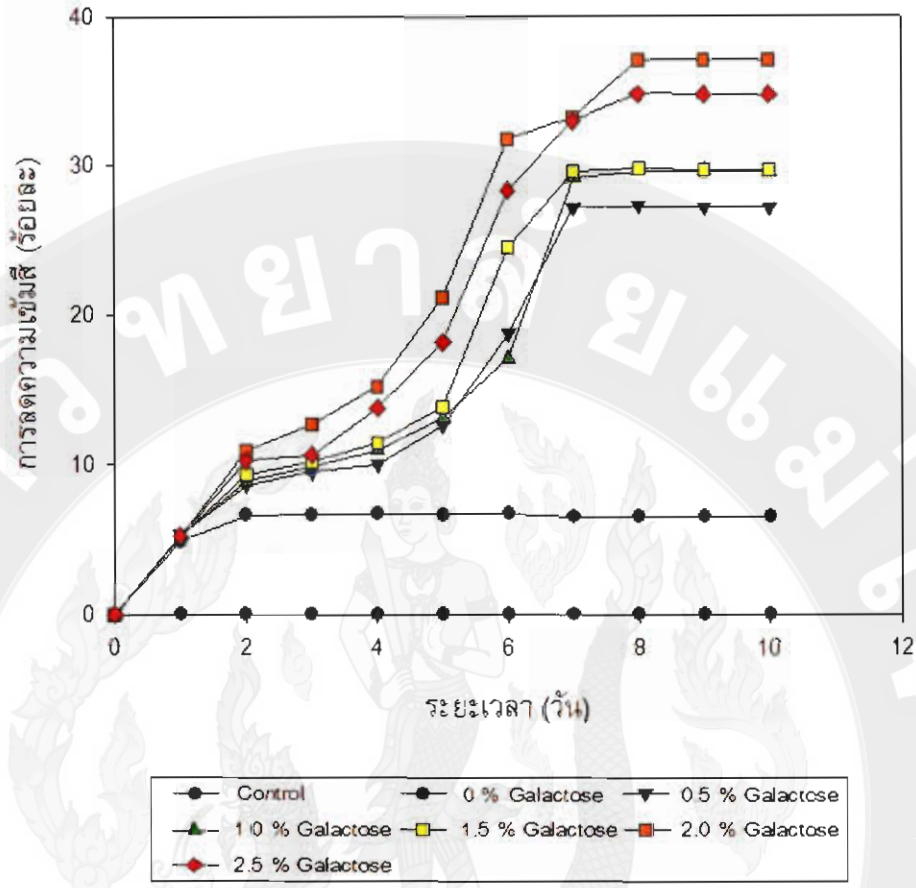
ภาพที่ 5 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม คือ น้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



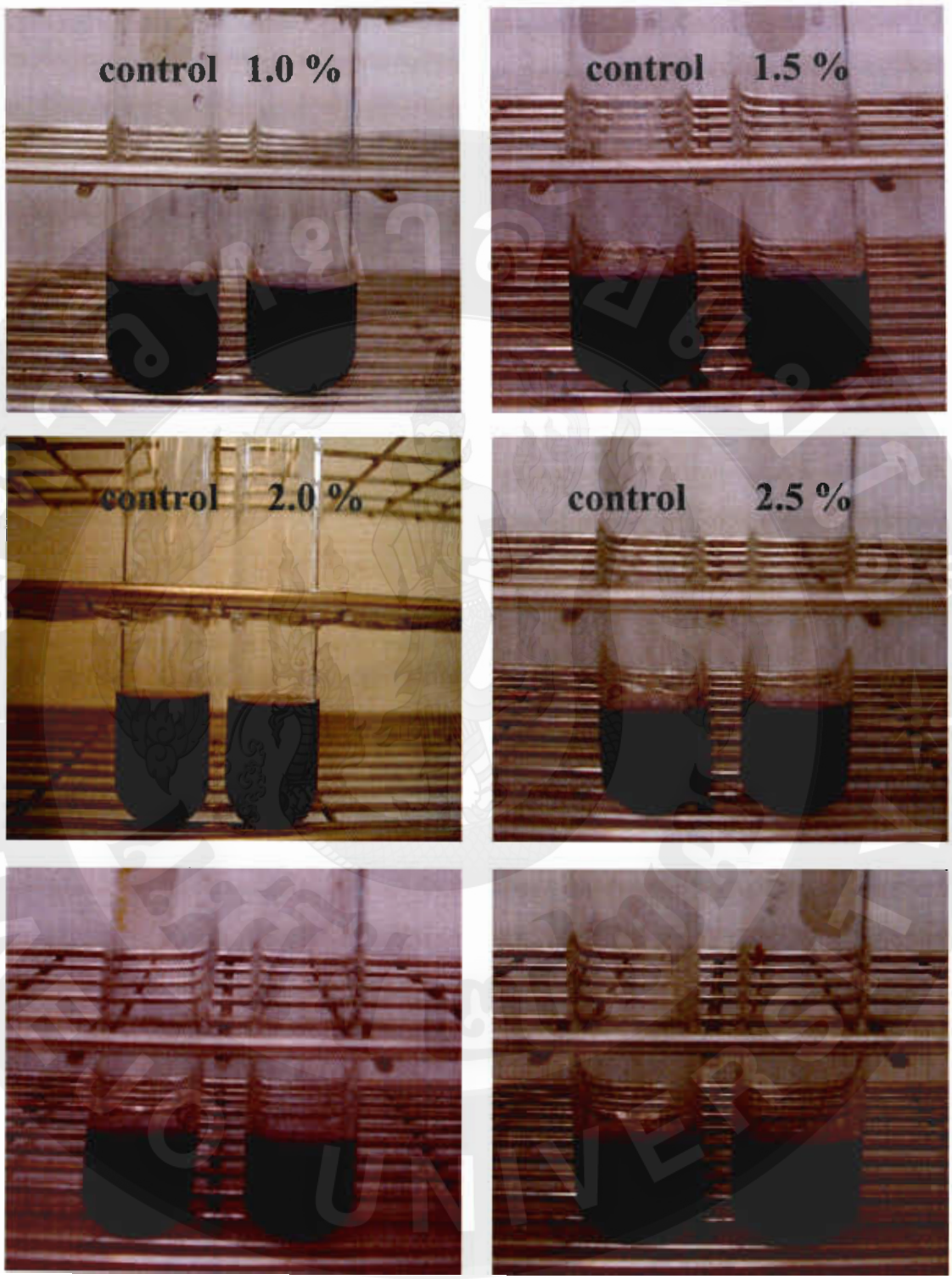
ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



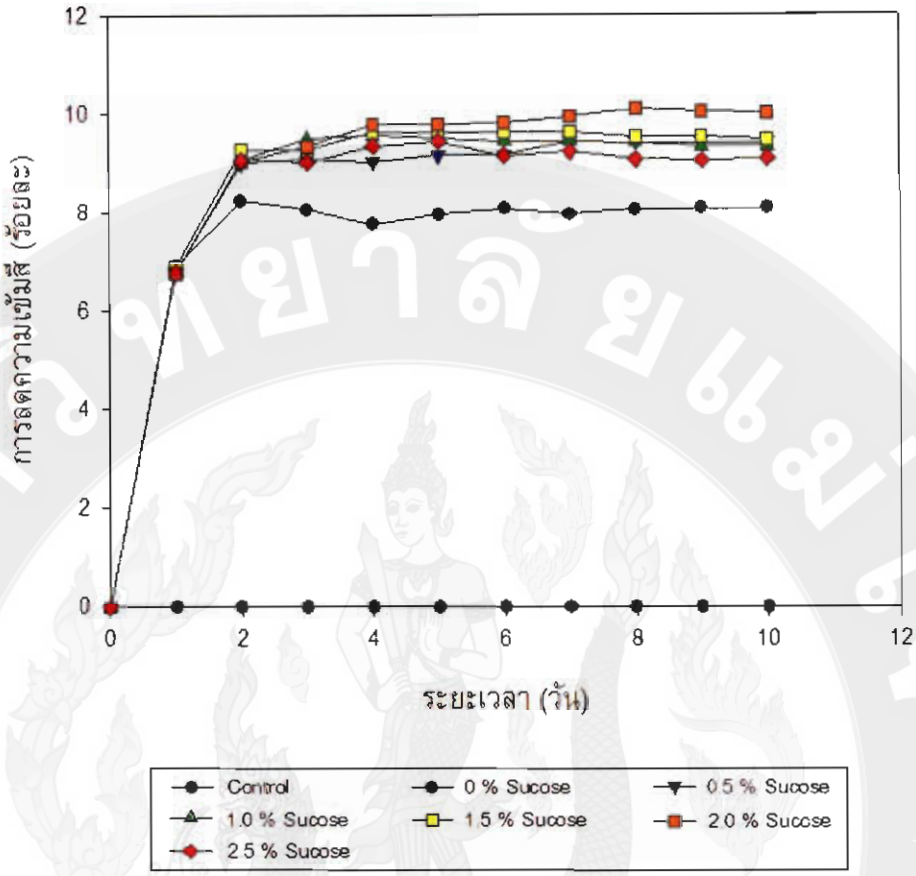
ภาพที่ 7 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม คือ น้ำตาลฟรุกโตสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



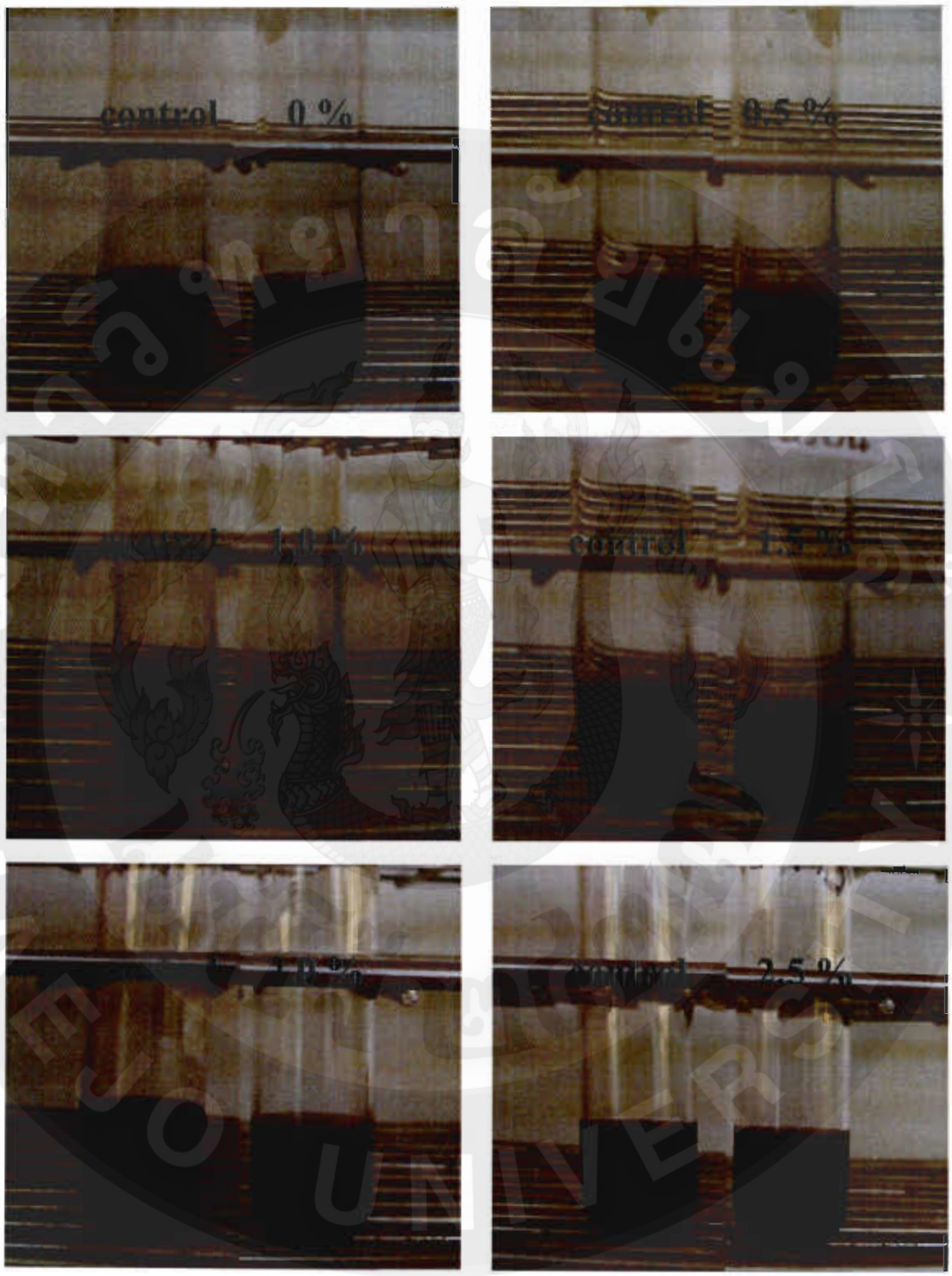
ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลกาแลกโตสเป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



ภาพที่ 9 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม คือ น้ำตาลกาแลกโตสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



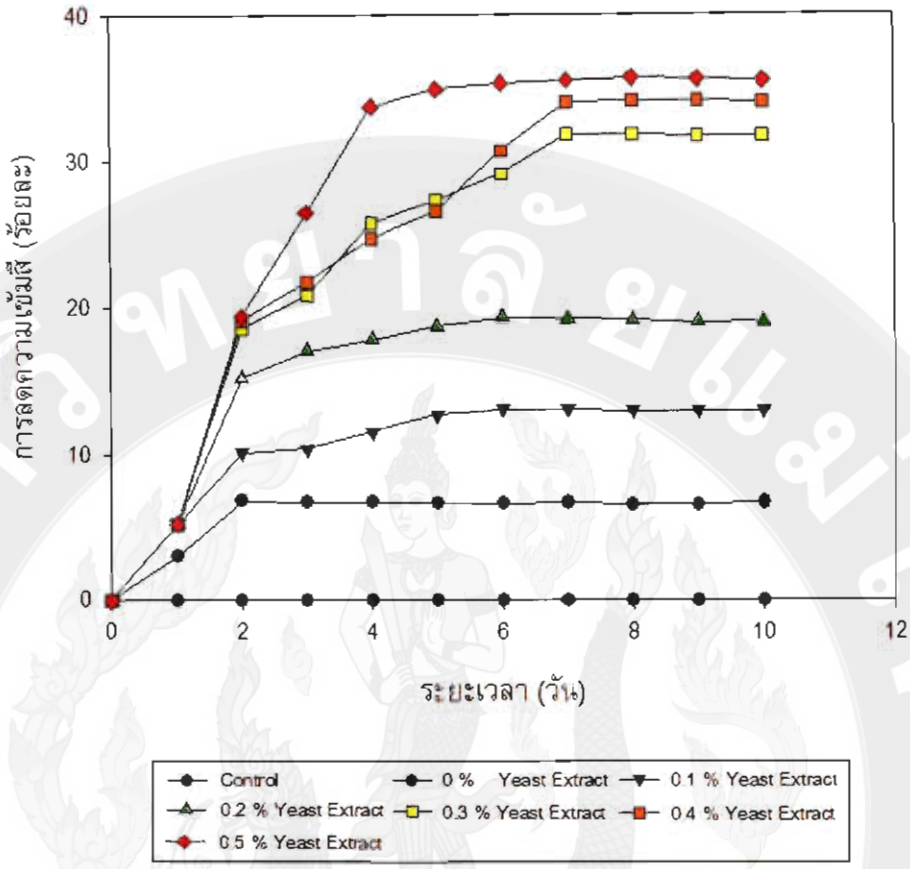
ภาพที่ 11 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม คือ น้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง

1.2 แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม

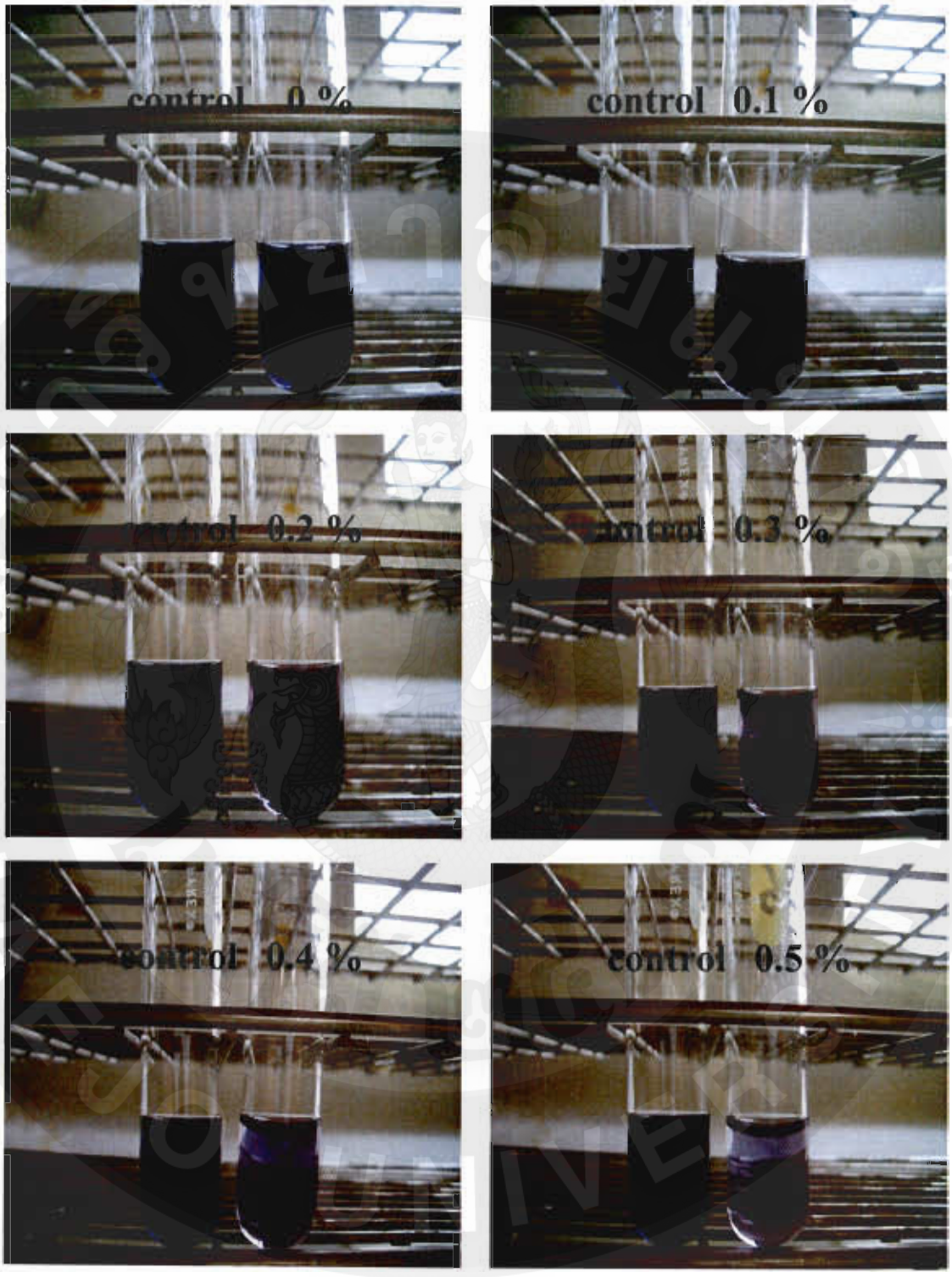
เมื่อนำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงร่วมกันในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีแหล่งไนโตรเจนต่างๆ คือ urea, peptone, yeast extract และ $(NH_4)_2SO_4$ ที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างชนิด และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน โดยสามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดร้อยละ 35.72 ที่มี yeast extract ร้อยละ 0.5 เป็นแหล่งไนโตรเจนในวันที่ 8 ของการทดลอง ในขณะที่แหล่งไนโตรเจนต่างๆ คือ peptone, $(NH_4)_2SO_4$ และ urea สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุด คือ ร้อยละ 34.89, 16.40 และ 5.10 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 0.5 และ 0.4 ในวันที่ 9, 9 และ 7 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันภายใต้สภาวะที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในวันที่มีการลดความเข้มสีสูงสุด

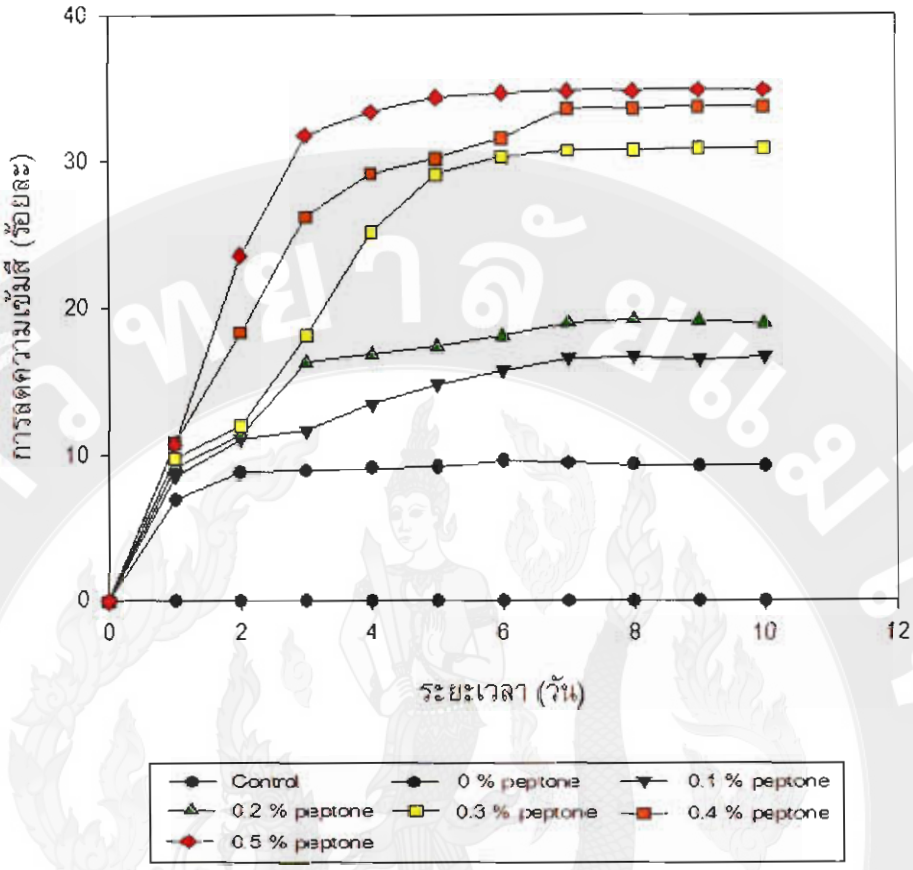
ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดความเข้มสี (แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม)			
	urea	peptone	yeast extract	$(NH_4)_2SO_4$
0	3.71	9.54	6.69	6.69
0.1	5.46	16.67	13.06	8.58
0.2	4.89	19.18	19.30	10.37
0.3	4.77	30.92	31.88	13.16
0.4	5.10	33.72	34.18	13.51
0.5	4.86	34.89	35.72	16.40



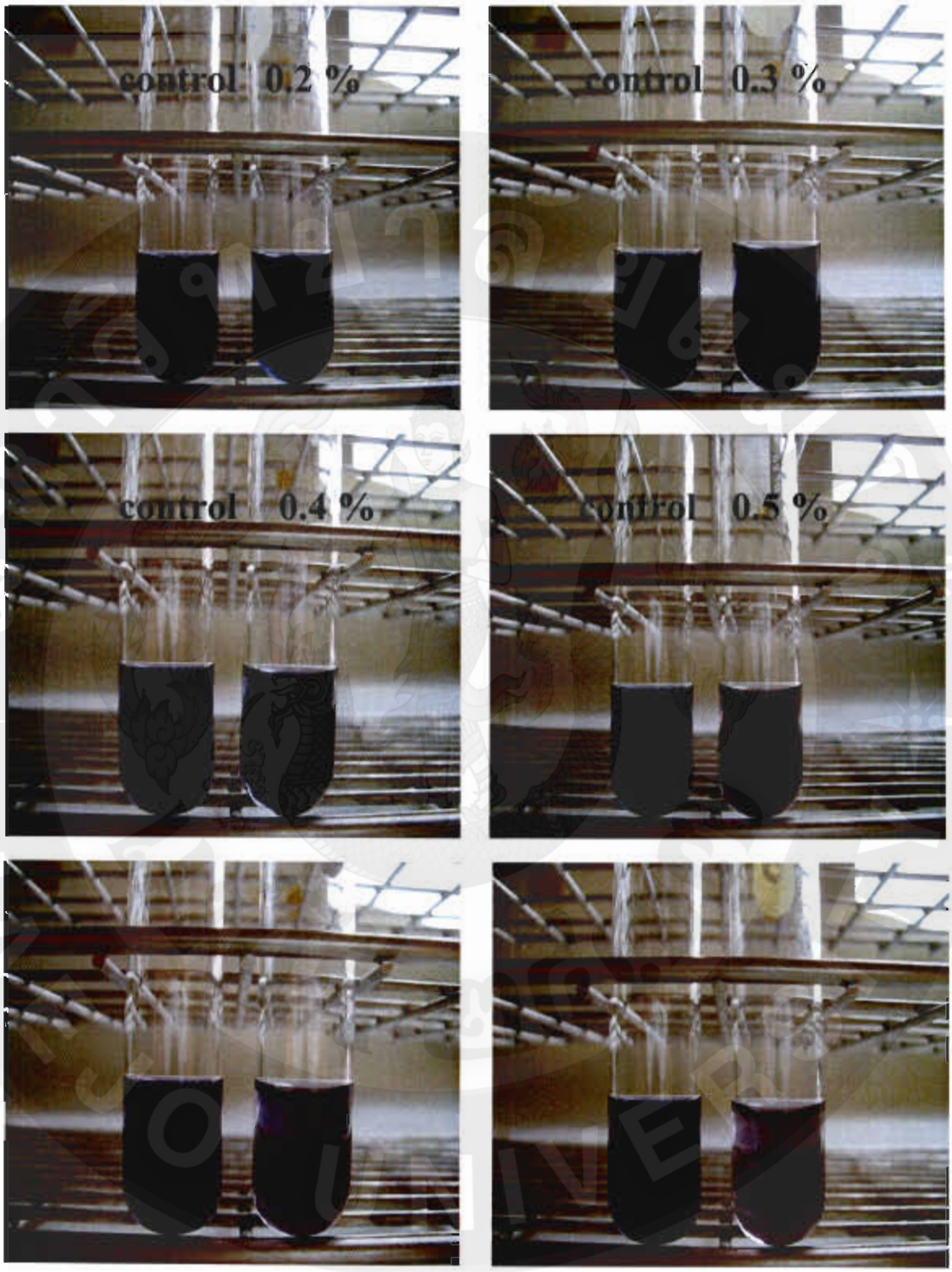
ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี yeast extract เป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



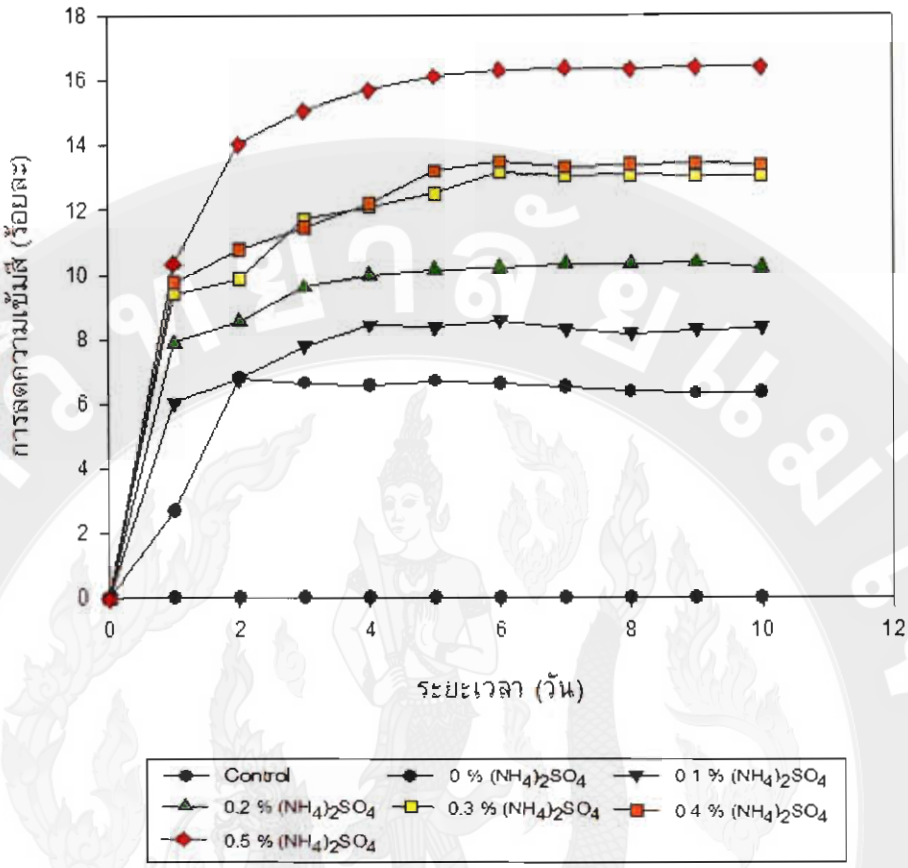
ภาพที่ 13 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม คือ yeast extract ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



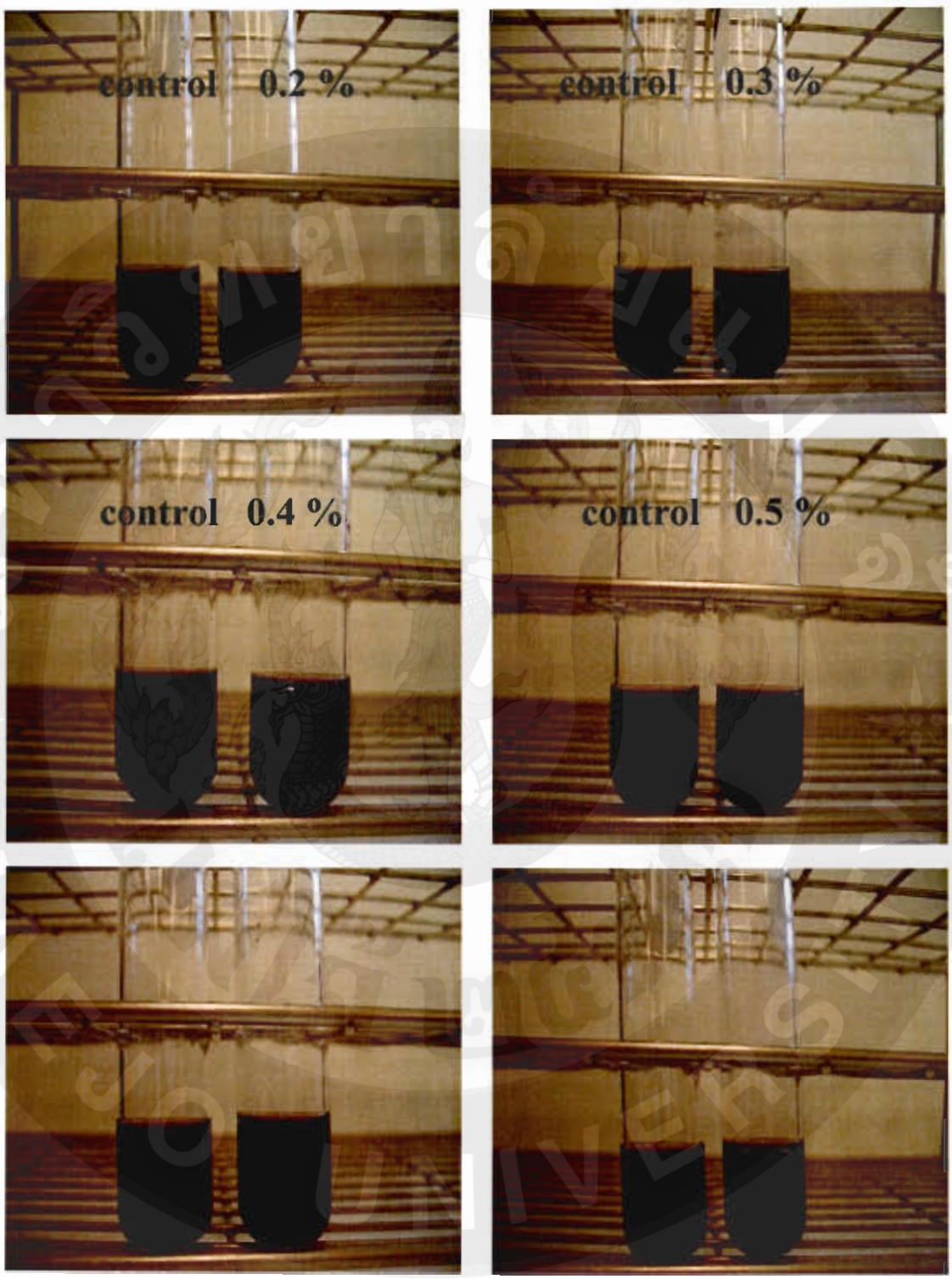
ภาพที่ 14 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี peptone เป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



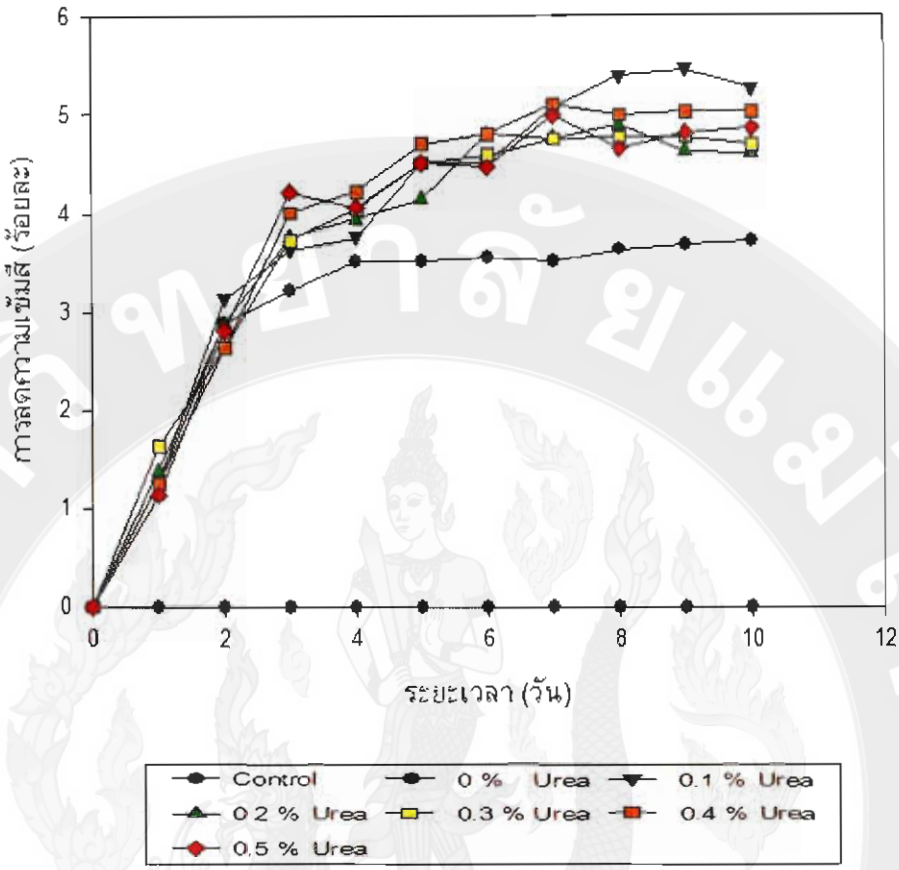
ภาพที่ 15 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม คือ peptone ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



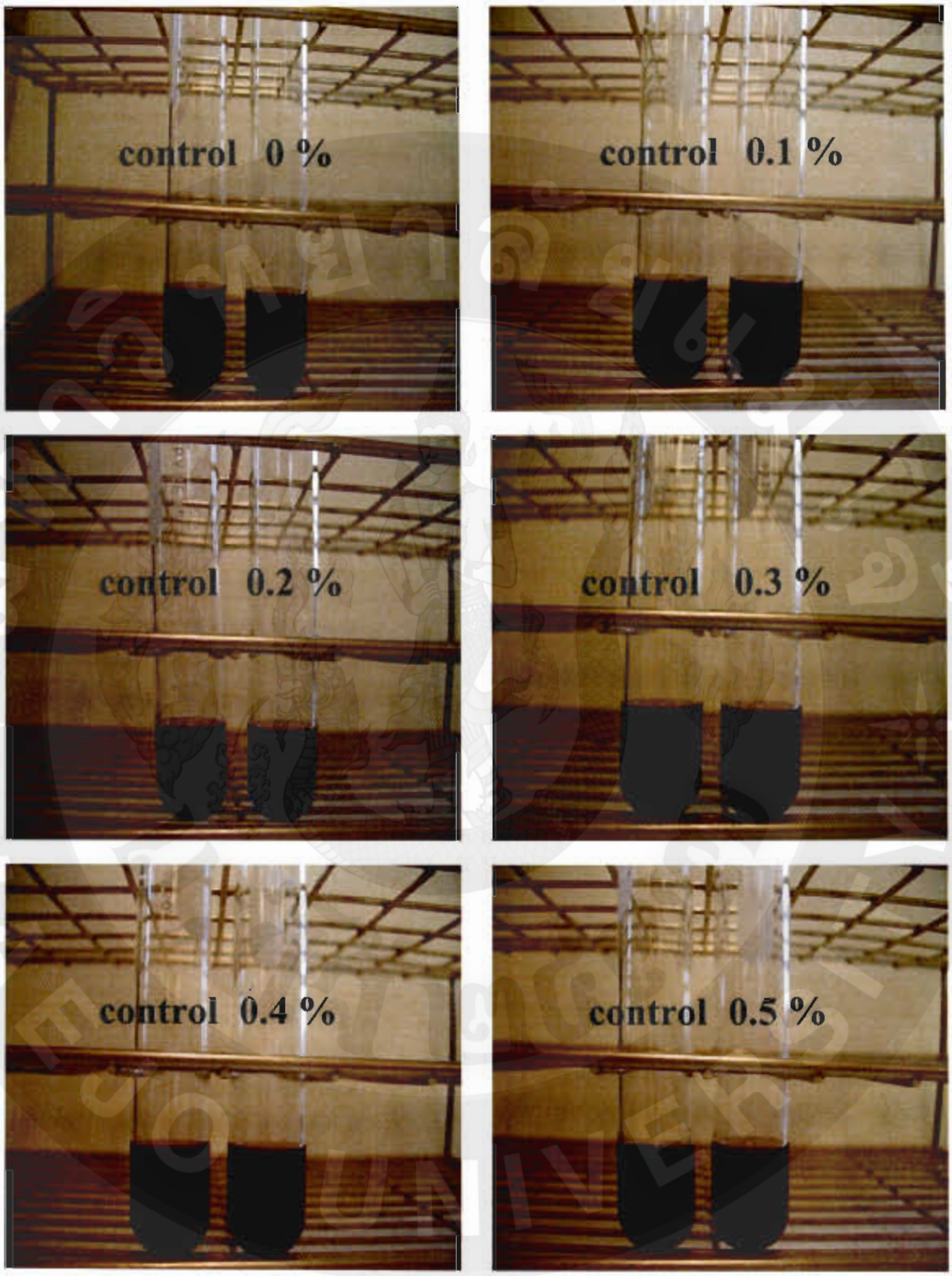
ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี $(NH_4)_2SO_4$ เป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



ภาพที่ 17 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม คือ $(NH_4)_2SO_4$ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



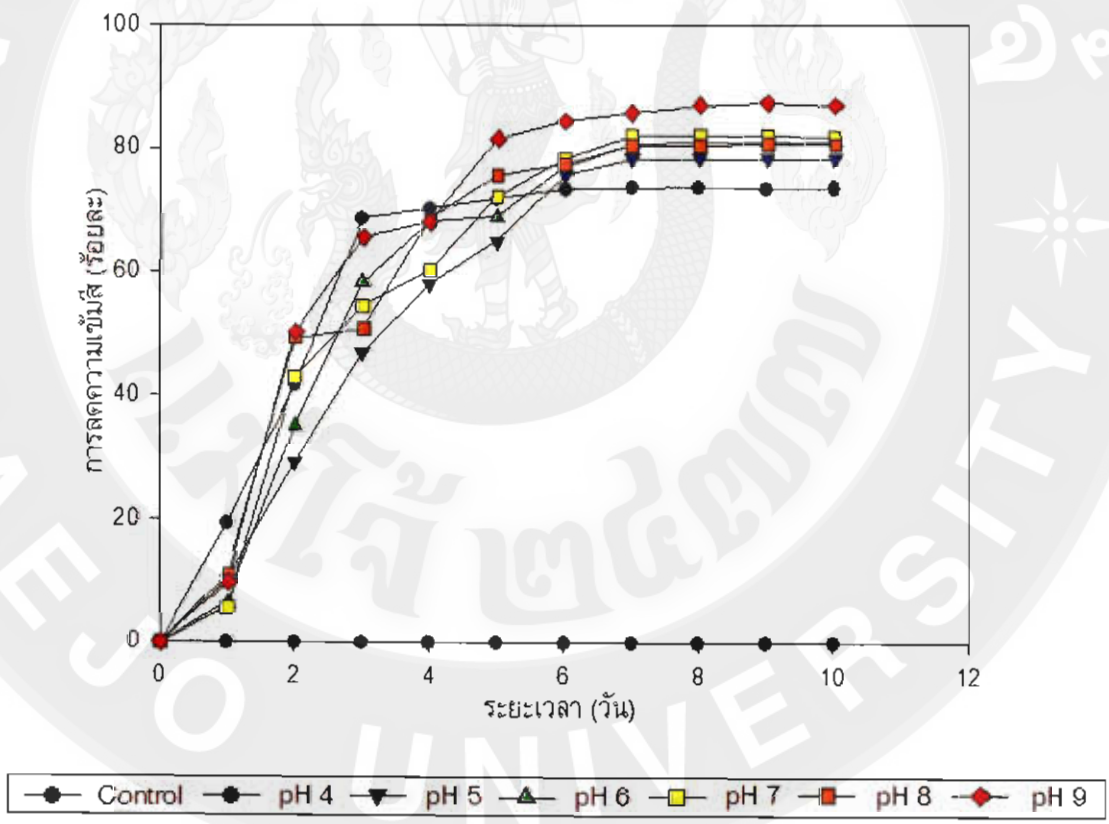
ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี urea เป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกัน



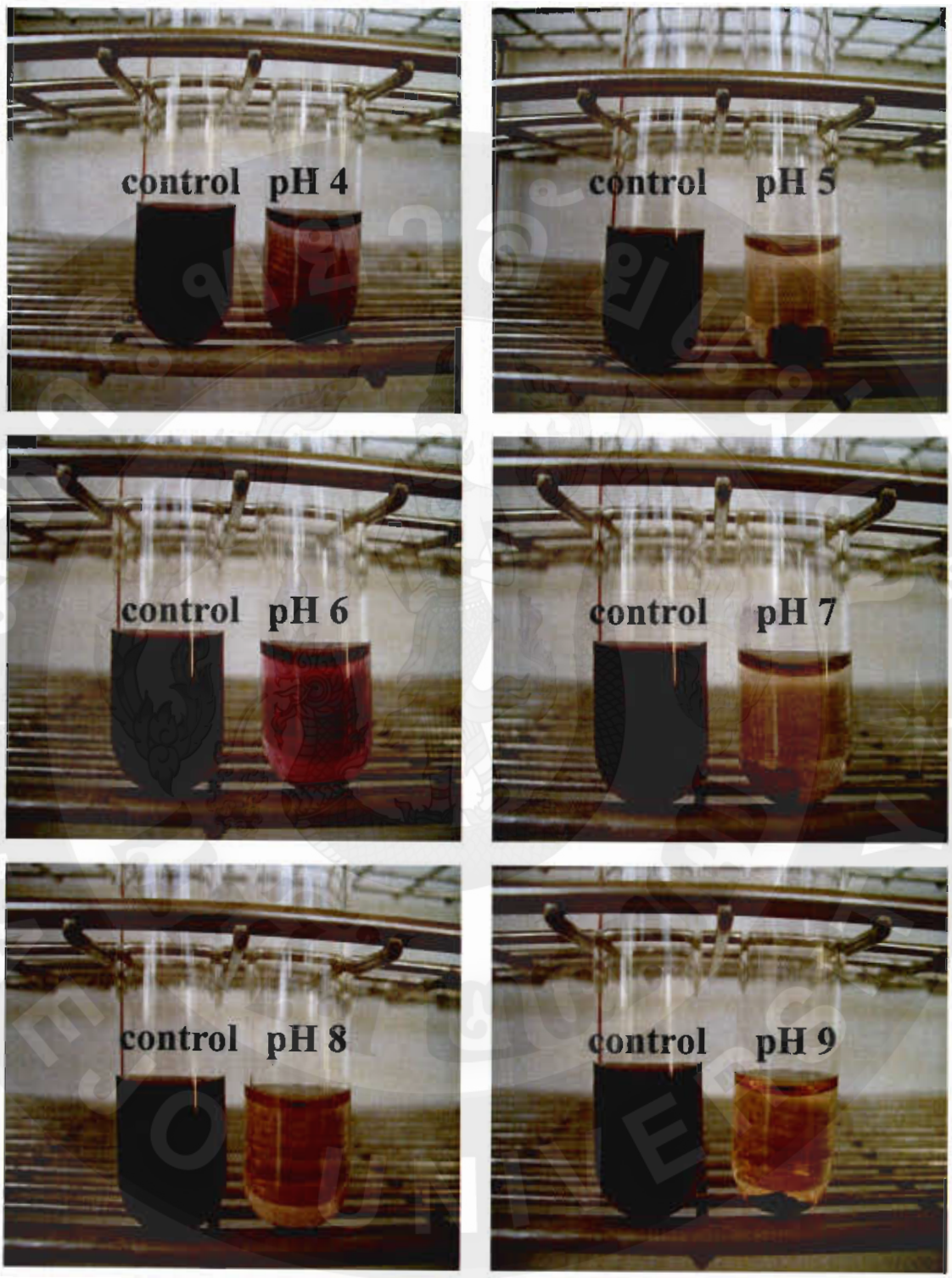
ภาพที่ 19 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม คือ urea ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ในวันที่ 10 ของการทดลอง

1.3 ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

เมื่อนำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงร่วมกันในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 2.5 (แหล่งคาร์บอน) yeast extract ร้อยละ 0.5 (แหล่งไนโตรเจน) และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น คือ 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น มีผลต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันได้สูงสุดร้อยละ 87.21 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ได้ในวันที่ 9 ของการทดลอง ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น คือ 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุด คือ ร้อยละ 73.70, 78.43, 80.71, 82.31 และ 80.59 ในวันที่ 8, 8, 7, 10 และ 9 ของการทดลองตามลำดับ (ภาพที่ 20 และภาพที่ 21)



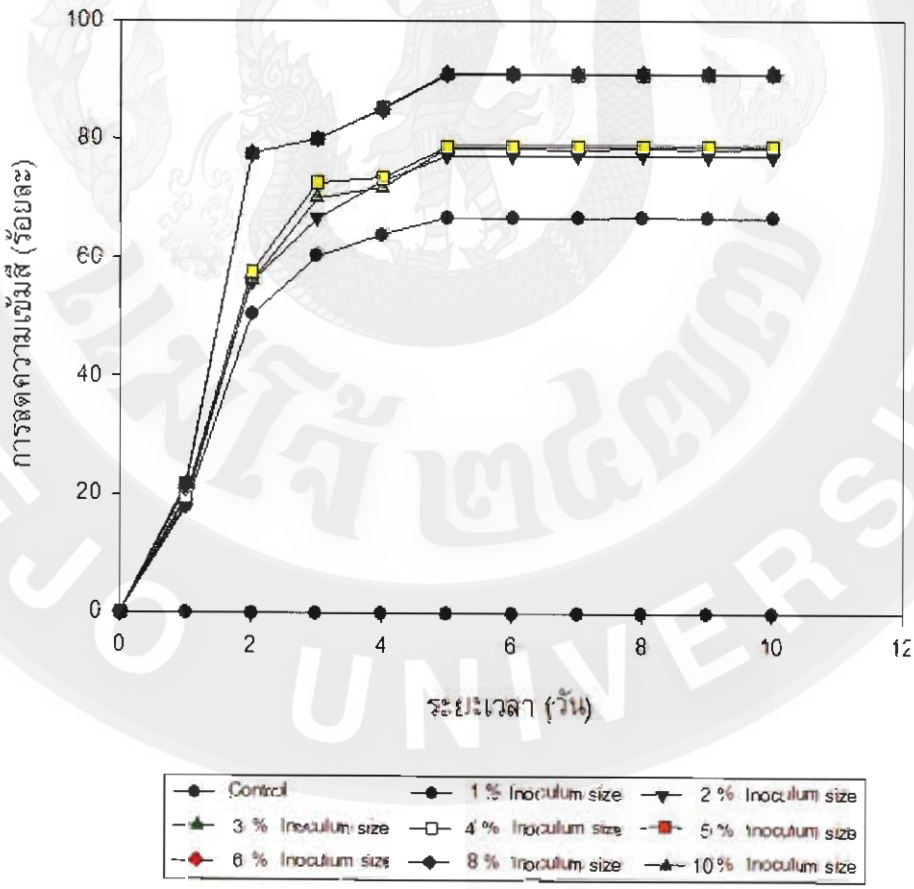
ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นที่ระดับต่างๆ ร่วมกัน



ภาพที่ 21 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่ 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 ตามลำดับ ในวันที่ 10 ของการทดลอง

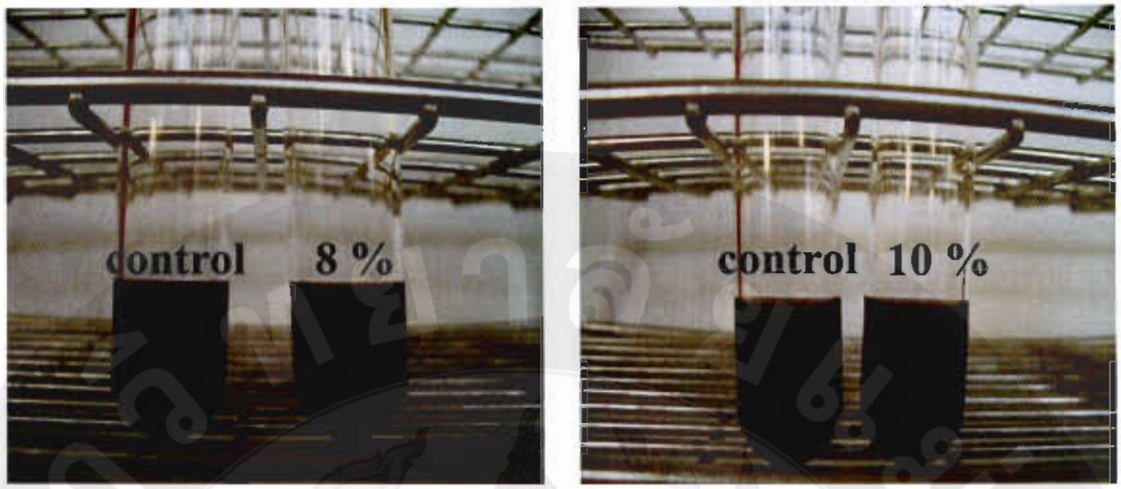
1.4 ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม

เมื่อนำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงร่วมกันในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 2.5 (แหล่งคาร์บอน) yeast extract ร้อยละ 0.5 (แหล่งไนโตรเจน) ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 9.0 และควบคุมเชื้อเริ่มต้นของเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ให้มีปริมาณร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 พบว่า การลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จะสูงที่สุดเมื่อมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร โดยสามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดร้อยละ 91.08 ในวันที่ 6 ของการทดลอง ในขณะที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุด คือ ร้อยละ 66.76, 77.24, 78.47, 78.90, 91.06, 91.08 และ 91.05 ในวันที่ 5, 6, 5, 8, 6, 7 และ 5 ของการทดลองตามลำดับ (ภาพที่ 22 และภาพที่ 23)



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ระดับต่างๆ ร่วมกัน

ภาพที่ 23 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมที่ร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ ในวันที่ 10 ของการทดลอง

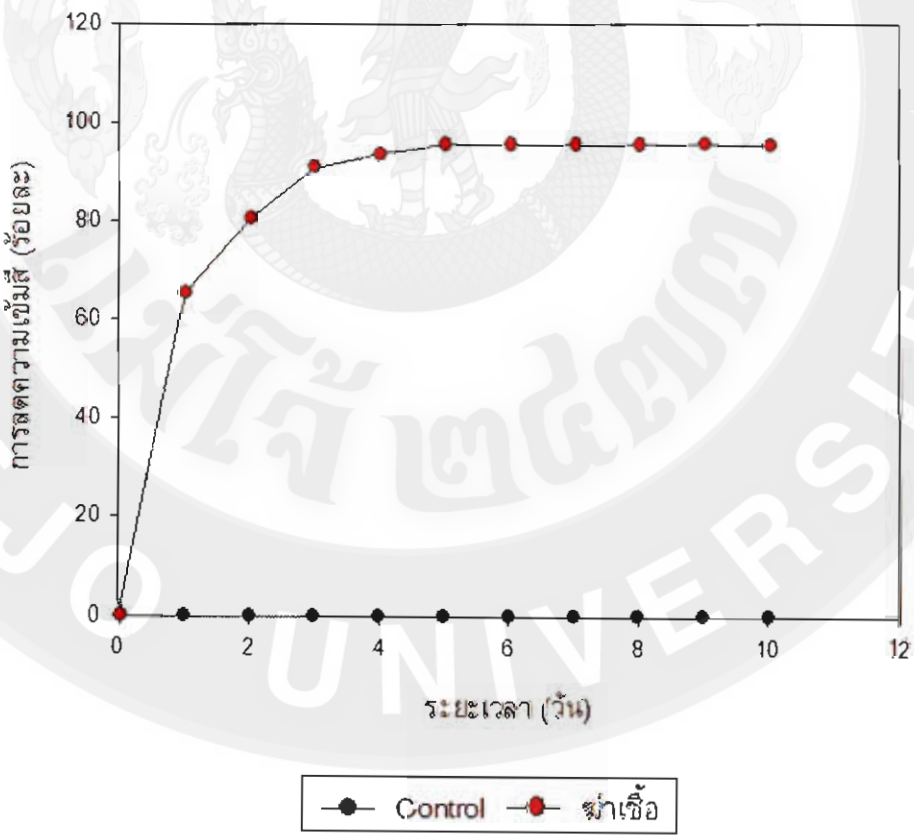


ภาพที่ 23 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกันของการทดลองหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมที่ร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ ในวันที่ 10 ของการทดลอง **(ต่อ)**

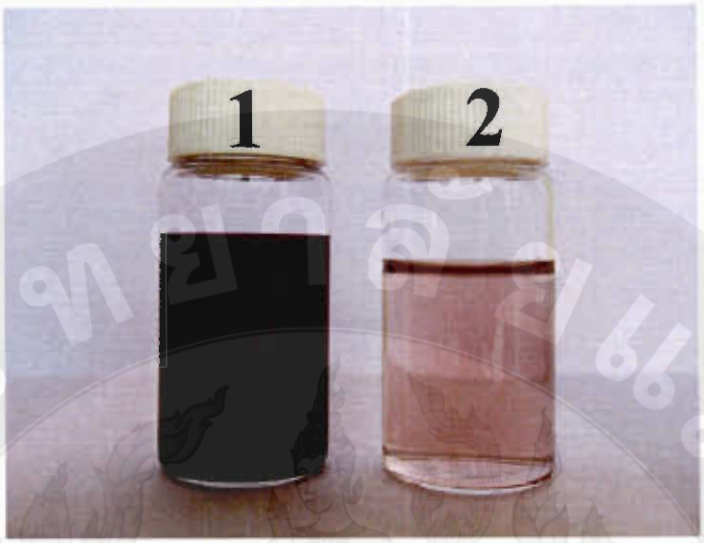
การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกัน

2. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกัน

เมื่อนำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตรร้อยละ 5 (10 มิลลิลิตร) มาเติมในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่มีน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 2.5 yeast extract ร้อยละ 0.5 ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 9.0 พบว่าสามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดร้อยละ 95.48 ในวันที่ 5 ของการทดลอง (ภาพที่ 24 และภาพที่ 25) และลดค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 40.74 ในวันที่ 5 ของการทดลอง



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมร่วมกัน

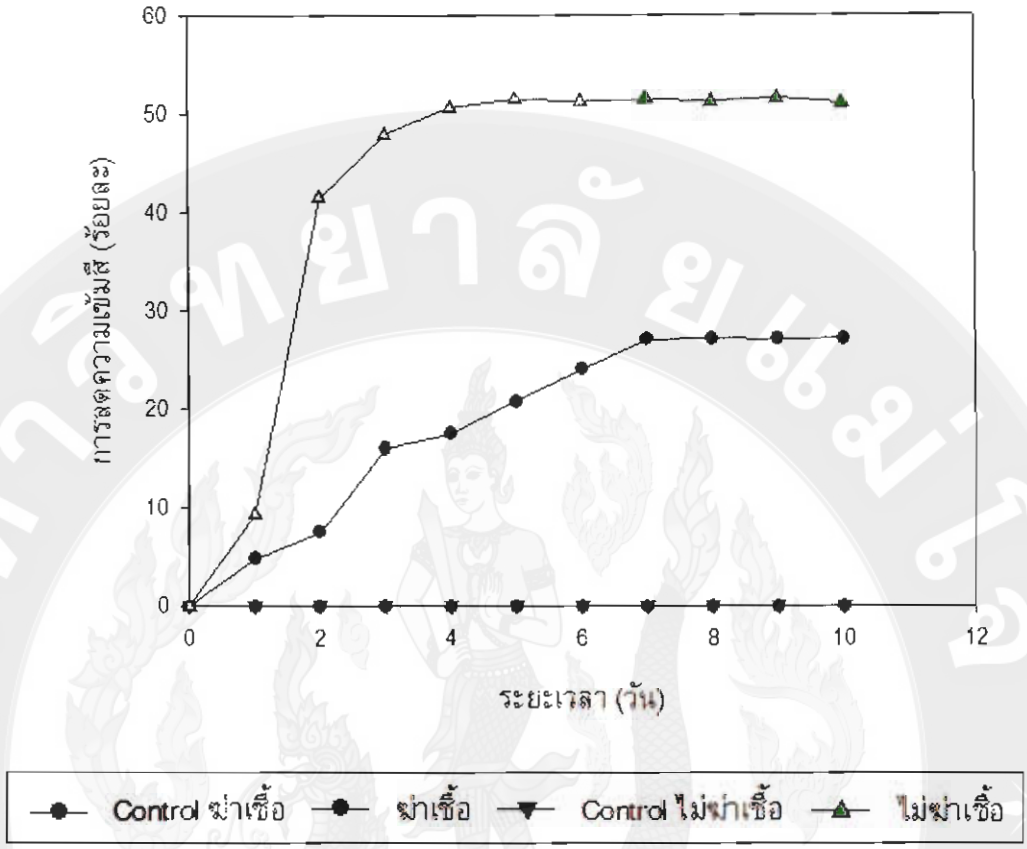


ภาพที่ 25 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมร่วมกัน
: (1) control (2) สภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงร่วมกัน

3. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงร่วมกัน

เมื่อนำสารละลายเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และสารละลายเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตรร้อยละ 5 (10 มิลลิลิตร) มาเติมในน้ำเสียจริง ที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 500 มิลลิลิตร โดยส่วนที่ 1 มีการฆ่าเชื้อ สำหรับส่วนที่ 2 ไม่มีการฆ่าเชื้อ โดยมีการเติมน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 2.5 yeast extract ร้อยละ 0.5 และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ทั้ง 2 ส่วน พบว่า ประสิทธิภาพการลดความเข้มสีในน้ำเสียจริงส่วนที่ 1 (มีการฆ่าเชื้อ) และส่วนที่ 2 (ไม่มีการฆ่าเชื้อ) คิดเป็นร้อยละ 27.02 และ 51.40 ในวันที่ 7 และ 5 ตามลำดับ (ภาพที่ 26 และภาพที่ 27) ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีพบว่าส่วนที่ 1 (มีการฆ่าเชื้อ) และส่วนที่ 2 (ไม่มีการฆ่าเชื้อ) คิดเป็นร้อยละ 43.33 และ 45.84 ในวันที่ 7 และ 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการลดความเข้มสีน้ำเสียจริงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่มีการฆ่าเชื้อในน้ำเสียและไม่มีการฆ่าเชื้อในน้ำเสียร่วมกัน

ภาพที่ 27 สีน้ำเสียจริงที่ผ่านการลดความเข้มสีด้วยเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมร่วมกัน
: (1) ฆ่าเชื้อน้ำเสีย (2) ไม่ฆ่าเชื้อน้ำเสีย

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม

จากการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อม (ตารางที่ 1) พบว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีค่าซีโอดี และบีโอดี เท่ากับ 7,442 และ 3,700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าซีโอดี และบีโอดี เท่ากับ 1,326 และ 580 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า มีค่าซีโอดี และบีโอดีสูงกว่าน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการฟอกย้อมมีการใช้สารเคมีช่วยย้อม มีแป้งบางส่วนที่ติดมากับผ้าซึ่งแป้งจะเป็นตัวหนึ่งที่ทำให้ค่าซีโอดี และบีโอดีมีค่าสูง ส่วนน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียรวมส่วนใหญ่จะเป็นน้ำจากขั้นตอนการล้างซึ่งจะมีส่วนประกอบของสีและสารเคมีปนเปื้อนต่างๆ ติดมาน้อยจึงมีผลให้ค่าซีโอดีและค่าบีโอดีมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้าเนื่องจากน้ำเสียถูกเจือจางมาแล้ว

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีค่าพีเอชเท่ากับ 6.37 น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าพีเอชเท่ากับ 9.24 น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าพีเอชสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้าเนื่องจากน้ำเสียในถังพักน้ำเสียรวมถูกเจือจางในการล้างแต่ละครั้งและถูกรวบรวมไว้ในถังพักน้ำเสียรวมจึงทำให้ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้น

ส่วนความเข้มสีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีค่าเท่ากับ 4.18 น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 2.04 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีความเข้มสีสูงกว่าน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย เนื่องจากน้ำเสียในถังพักน้ำเสียรวมมีสีที่เกิดขึ้นในปริมาณน้อยกว่าขั้นตอนการฟอกย้อมซึ่งน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างของแต่ละขั้นตอน ดังนั้น สีจากการฟอกย้อมจึงถูกเจือจางเป็นลำดับ ส่งผลให้น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีความเข้มสีน้อยกว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานสีในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่แน่นอนว่าควรอยู่ในเกณฑ์ใดเพียงแต่ระบุว่าสีของน้ำต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจเท่านั้น ซึ่งปัญหาปัจจุบันที่สำคัญของสีย้อมในน้ำทิ้งไม่ได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีย้อมแต่อยู่ที่สีของน้ำทิ้ง (Shaw *et al.*, 2002) ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดสีก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อไม่ให้ส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น ไปบดบังความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ ลดการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำและแพลงตอนก์พืช ซึ่งจะส่งผลต่อระบบออกซิเจนละลายทำให้พืชบางชนิดและสิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ (ประนัดดา, 2548)

การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมร่วมกัน

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกัน

1.1 แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันได้ดีที่สุด และรองลงมา คือ น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลกาแลกโตส และน้ำตาลซูโครส ตามลำดับ เนื่องจากเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถสร้างเอนไซม์ hexokinase ที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ให้กลายเป็น glucose-6-phosphate และ fructose-6-phosphate เพื่อใช้ในกระบวนการไกลโคไลซิสได้ (Walker. 1998) นอกจากนี้การย่อยสลายสีรีแอกทีฟในน้ำเสียดังกล่าวที่เกิดโดยกระบวนการ co-metabolism ต้องการแหล่งคาร์บอนสำหรับเป็น co-substrate ที่เหมาะสมอยู่ร่วมด้วย ในระหว่างการย่อยสีเพื่อช่วยกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ เช่น การเติมกลูโคสในปริมาณที่เหมาะสม (วีรนุช หลาง, 2551)

1.2 แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถใช้ yeast extract และ peptone ซึ่งจัดเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนและเป็นแหล่งพลังงานในการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการลดความเข้มสีร้อยละ 35.55 และ 34.85 ตามลำดับ และสามารถใช้ $(NH_4)_2SO_4$ และ urea ที่จัดเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจนในการลดความเข้มสีได้ แต่มีประสิทธิภาพการลดความเข้มสีเพียงร้อยละ 16.32 และ 5.46 ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสามารถนำไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนไปใช้ได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen *et al.* (2003) ที่ได้ทำการศึกษาเพื่อคัดแยกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการลดความเข้มสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจากการศึกษา พบว่าเมื่อใช้ yeast extract เป็นแหล่งไนโตรเจน แบคทีเรียสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีโดยมีประสิทธิภาพการลดความเข้มสีร้อยละ 90 ภายในเวลา 2 วัน ของการเพาะเลี้ยง แต่เมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนที่จัดเป็นพวกอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น NH_4Cl, $(NH_4)_2SO_4$ และ $NaNO_3$ เป็นต้น ประสิทธิภาพการลดความเข้มสีมีค่าต่ำลง ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 15

1.3 ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันได้สูงสุดร้อยละ 85.65 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ได้ในวันที่ 7 ของการทดลอง ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น คือ 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้ คือ ร้อยละ 73.70, 78.43, 80.71, 82.06 และ 80.41 ในวันที่ 8, 8, 7, 10 และ 9 ของการทดลอง จากการศึกษาแสดงว่าเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันได้ในสภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chang *et al.* (2001) ซึ่งพบว่าระดับของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์มีการเจริญ และกำจัดสีได้ดีจะอยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.0 - 9.0

1.4 ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าการลดความเข้มสีน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 66.76, 77.24, 78.47, 78.89, 91.08 91.06, 91.01 และ 91.05 ในวันที่ 5, 6, 5, 6, 6, 6, 5 และ 5 ของการทดลองตามลำดับ โดยเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกันได้สูงสุด เมื่อมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป แสดงว่าการเพิ่มปริมาณเชื้อเริ่มต้นของเชื้อทั้ง 2 ชนิด ให้มากขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีผลต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแสดงได้จากค่าประสิทธิภาพการลดความเข้มสีตั้งแต่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 เป็นต้นไป มีค่าประสิทธิภาพการลดความเข้มสีเท่ากัน การลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์จึงไม่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโต ไม่จัดเป็น growth associate ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นจะมีผลต่อขนาดของเซลล์ โดยเมื่อเชื้อเริ่มต้นมีปริมาณน้อย เซลล์จะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าปริมาณเชื้อเริ่มต้นมีปริมาณมาก เซลล์จะมีขนาดเล็กลง (Kockov'a-Kratochv'ilov'a and Anna. 1990) ดังนั้น การลดความเข้มสีของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของขนาดเซลล์มากกว่าปริมาณเชื้อเริ่มต้น จึงได้ใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในการทดลองขั้นต่อไป ส่วนการใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1 ร้อยละ 2 ร้อยละ 3 และร้อยละ 4 นั้น พบว่า การลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์เป็นแบบ growth associate ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นจะมีผลต่ออัตราการลดความเข้มสี ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากค่าการลดความเข้มสีร่วมกันของเชื้อทั้ง 2 ชนิด ยังไม่คงที่

การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกัน

2. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมร่วมกัน พบว่าเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความเข้มสี และการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 95.48 และ 40.74 ตามลำดับ ในวันที่ 5 ของการทดลอง จากการทดสอบประสิทธิภาพการลดความเข้มสีของเชื้อทั้ง 2 ชนิดร่วมกันดังกล่าว พบว่า มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการศึกษาของ Hu. (1998) ที่ทำการศึกษาในการลดสี RP2B โดยใช้เชื้อ *Pseudomonas luteola* ในสภาวะที่มีอากาศภายในระยะเวลา 5 วัน ผลปรากฏว่าสามารถลดสีได้ถึงร้อยละ 95 และยังใกล้เคียงกับ การศึกษาของ สิริกัญญา อุ่นใจ (2547) ทำการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าจังหวัดลำพูน โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Chryseomonas luteola* โดยสภาวะที่มีอากาศ ผลปรากฏว่าสามารถลดปริมาณสีได้สูงถึงร้อยละ 89

การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงร่วมกัน

3. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการลดความเข้มสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิดผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงร่วมกัน

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงร่วมกัน พบว่า ประสิทธิภาพการลดความเข้มสีในน้ำเสียจริงส่วนที่ 2 (ไม่มีการฆ่าเชื้อ) จะมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีสูงกว่าในน้ำเสียจริงส่วนที่ 1 (มีการฆ่าเชื้อ) เนื่องจากการลดความเข้มสีในน้ำเสียจริงอาจมีเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่นๆ ที่มีส่วนช่วยในการลดความเข้มสีดังกล่าวเพิ่มเติมอีก นอกจากเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus*

amyloliquefaciens SP-L1 และการลดความเข้มสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีน้อยกว่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าหม้อห้อมนั้นมีการผสมเกลือลงไปในกระบวนการย้อมผ้าหม้อห้อม ซึ่งจากการศึกษาของ Kincannon. (1968) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือในน้ำเสีย ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อจุลินทรีย์ และประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี

ข้อเสนอแนะ

ควรจะหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดความเข้มสี (แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจน) ให้มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนในเรื่องของสารเคมีที่ใช้

สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากขั้นตอนการฟอกย้อมและน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย พบว่า น้ำเสียจากขั้นตอนการฟอกย้อมมีค่าซีโอดี บีโอดี พีเอช และความเข้มสีที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร เท่ากับ 7,442 มิลลิกรัมต่อลิตร, 3,700 มิลลิกรัมต่อลิตร, 6.37 และ 4.18 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าซีโอดี บีโอดี พีเอช และความเข้มสีที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร เท่ากับ 1,326 มิลลิกรัมต่อลิตร, 580 มิลลิกรัมต่อลิตร, 9.24 และ 2.04 ตามลำดับ

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดความเข้มสีในน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ได้แก่ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน ค่าพีเอช และปริมาณเชื้อเริ่มต้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการการลดความเข้มสีร่วมกันของเชื้อทั้ง 2 ชนิด คือ glucose ร้อยละ 2.5 yeast extract ร้อยละ 0.5 พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 9.0 และปริมาณเชื้อเริ่มต้นของเชื้อ 2 ชนิดที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 5.0 โดยพบว่าเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีและซีโอดี ร้อยละ 95.48 และ 40.74 ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 5 วัน ของการทดลอง

3. เมื่อนำเชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาทดสอบความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมการผลิตผ้าหม้อห้อมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวร่วมกัน พบว่า เชื้อ *Bacillus megaterium* W10 และเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีและซีโอดีในน้ำเสียที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อ ร้อยละ 43.33 และ 45.84 ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 7 และ 5 วัน ของการทดลองตามลำดับ