

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

อุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใยโดยใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสมโดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) สารเคมีที่ใช้จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์พอลิเมอร์ และสารอินทรีย์ โดยที่ความเข้มข้นของสีย้อมที่ปล่อยออกจะมีความเข้มข้นน้อยแต่ก็พบว่ามีผลต่อคุณภาพการมองเห็นสูง ซึ่งสีที่ใช้ทางการค้ามีมากกว่า 100,000 ชนิด ดังนั้นจึงส่งผลให้มีการผลิตสีย้อมมากกว่า 7×10^7 ตัน ของทุกปี โดยโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมทนต่อแสง น้ำ และสารเคมี โดยส่วนใหญ่สีย้อมจะกำจัดยากเนื่องจากมีโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่ซับซ้อน โครงสร้างของสีย้อมมีหลายชนิด เช่น สีเอซิด (acid dye), สีเบสิก (basic dye), สีดีสเพิร์ส (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 โดยอัตราความเป็นพิษของสีเบสิกและสีไดเร็กต์ (ไดอะโซ) จะมีสูง (Robinson *et al.*, 2001)

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสียน้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า ขั้นตอนการให้สี และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในปริมาณมาก ซึ่งสิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี กรดด่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำลาย ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูงและเป็นปัญหาคอขวดสิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต 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 ซึ่งจะทำให้เกิดโดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5. น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น มีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างของสารอนินทรีย์ เช่น ด่างและกรดอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต ($2\text{Na}_2\text{OSiO}_2$) โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_3) และสารฟอกขาวธรรมชาติ ส่วนสารอินทรีย์นั้นมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วย กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก (HCOOH) กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดไขมัน พวกสบู่ แป้ง สารอินทรีย์ที่ใช้แทนแป้ง ผงซักฟอก สารที่ทำให้เกิดความอ่อนนุ่ม สีย้อม สารนำพา และสารเคมีอื่น ๆ อีก เช่น สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ซึ่งล้วนแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จทั้งสิ้น

สารเคมีบางตัวอาจมีค่าบีโอดีสูง ซึ่งในขณะเดียวกันสารเคมีอื่น ๆ ที่มีค่าบีโอดีต่ำ และมีคุณสมบัติคล้ายกันก็สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงนิยมใช้สารเคมีที่มีค่าบีโอดีต่ำ เช่น การใช้ คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (carboxylmethyl cellulose) แทนแป้ง ซึ่งมีประโยชน์และไม่เป็นอันตราย หรือหาทางกำจัดออกไปได้ง่ายโดยวิธีทางเคมีหรือฟิสิกส์แต่ทั้งนี้ก็อาจจะมีสารเคมีบางตัวที่ใช้ทดแทนแล้วทำให้เกิดผลต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลเสียต่อสัตว์น้ำหรือการใช้น้ำในอนาคตและทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

เมื่อนำน้ำใช้ไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้น จะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดและปริมาณต่าง ๆ กัน หลังจากนั้นน้ำใช้ผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตแล้วจะกลายเป็นน้ำเสียซึ่งจะต้องนำไปปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ 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 (basic chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ค่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

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

3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปนมาบ้างไม่มากนัก โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมากด้วย เช่น เส้นใยขนแกะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติที่ต้องกำจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 ซึ่งสิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตก็ยังมีสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายเป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และจะหลุดออกมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

4. เศษเส้นใย

ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอันหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีโอลิโกเมอร์ (oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียด้วย

5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ

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

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

วิธีการบำบัดทางกายภาพและทางเคมี

ในการเลือกวิธีการบำบัดขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสี บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องเพิ่มวิธีอื่นร่วมด้วย ซึ่งวิธีการบำบัดสีในน้ำเสียทางกายภาพและเคมีได้แก่

1. โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (coagulation)

ระบบโคแอกกูเลชันเป็นการกำจัดสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมีจำพวกสร้างตะกอน (coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ ($3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น ในกรณีของสารส้มจะเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ใช้กับน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารสี (Pigment) เป็นส่วนใหญ่ สำหรับเฟอริกคลอไรด์และแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ โดยส่วนใหญ่จะใช้กำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีประเภทไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สีแวต (vat dye), สีอะโซอิก (azoic dye) เป็นต้น

2. การดูดติดผิว (adsorption)

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

2.1 ประเภทสารอินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอคติเวทเต็ดชิลิกา 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 จะใช้กระบวนการดูดซับแบบแอคติเวตเต็ดคาร์บอนเพื่อกำจัดสีและกลิ่น ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสีย เนื่องจากแอคติเวตเต็ดคาร์บอนมีพื้นที่ผิว จำเพาะสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย

3. คลอรีเนชัน (chlorination)

คลอรีเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซิง ทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำเสียทำให้สีหายไปหรือลดความเข้มสีลง ความเข้มสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้จะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณคลอรีนที่มากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

4. โอโซนเนชัน (ozonation)

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดซิง ไปทำปฏิกิริยากับสีที่มีอยู่ในน้ำเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซิงสูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า โอโซนเป็นก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง

5. การใช้สารเคมีเฟนต์ัน (fenton's reagent)

การใช้สารเคมีเฟนต์ันในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อม-พิมพ์ เป็นวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการบำบัดสีรีแอคทีฟ สารเคมีเฟนต์ันเป็นสารผสมระหว่าง 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 ($HO^\bullet$) ซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดซ์ค่อนข้างสูง โดยสูงกว่าคลอรีน 2 เท่า และสูงกว่าโอโซน $\frac{1}{4}$ เท่า ทำให้สามารถทำลายพันธะอะโซ (azo bond) ของสีรีแอคทีฟ มีผลทำให้สามารถกำจัดสีได้สูง

6. การกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรน (membrane filtration)

การใช้แผ่นเยื่อเมมเบรนประกอบด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) และรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) วิธีอัลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบ คือ ใช้แผ่นเยื่อเมมเบรน (membrane) พกเซลล์ลูโลสอะซิเตด 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) เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ผ่านแผ่นเหล็ก (Fe) เป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าที่ขั้วบวกจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก ซึ่งทำให้แผ่นเหล็กเกิดการสึกกร่อนและละลายออกมาในรูปเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของ Fe^{2+} จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในขณะเดียวกันที่ขั้วลบจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และทำให้เกิดตะกอนของเฟอร์รัสไอออนและเฟอร์ริกไอออน ซึ่งจะดูดติดและช่วยตกตะกอนของโลหะหนัก สี หรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

วิธีการบำบัดสีในน้ำเสียทางกายภาพและทางเคมีที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าแม้วิธีดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแต่ก็มีข้อจำกัดในการดำเนินงาน เนื่องจากมีต้นทุนสูง ผลิตตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดตะกอนเหล่านี้ ดังนั้นระบบบำบัดทางชีวภาพหรือระบบผสมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่มีปริมาณมากด้วยต้นทุนต่ำ ผลผลิตสุดท้ายถูกสลายอย่างสมบูรณ์ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Robinson *et al.*, 2001)

วิธีการบำบัดทางชีวภาพ

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

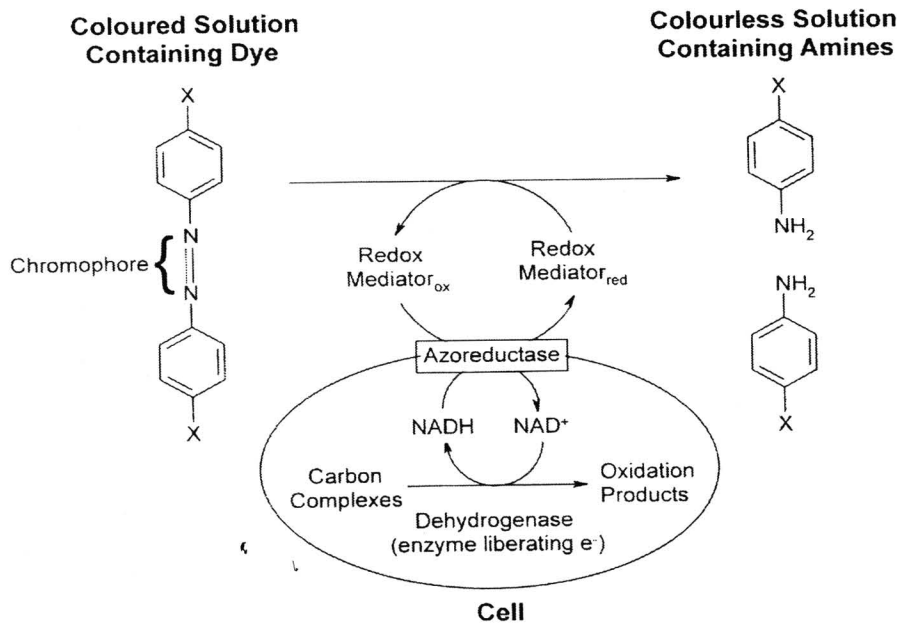
การกำจัดสีโดยใช้เซลล์แบคทีเรีย

การกำจัดสีโดยใช้เซลล์แบคทีเรียเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการกำจัดสีซึ่งจะการใช้การสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในการลดสีที่ปนเปื้อน โดยมีการศึกษาความสามารถของแบคทีเรียที่สลาย สีอะโซ พบว่าภายใต้สภาวะแอโรบิกสีอะโซจะไม่สลาย ส่วนภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกแบคทีเรียส่วนใหญ่จะสลายพันธะอะโซในโมเลกุลสีซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ azoreductase ผลที่ได้จากการสลายพันธะอะโซ คือ อะโรมาติกเอมีนที่ไม่มีสี ซึ่งจะทนต่อการสลายแบบแอนแอโรบิกและทำให้เกิดความเป็นพิษหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมกับสัตว์ (Pearce *et al.*, 2003)

กลไกในการกำจัดสีอะโซโดยแบคทีเรีย

กลไกในการกำจัดสีอะโซโดยแบคทีเรียอย่างง่าย คือ การที่แบคทีเรียนั้นดูดซับสีเข้าสู่ชีวมวลเซลล์ของตัวเอง แต่การกำจัดสีด้วยกระบวนการนี้มีความคล้ายคลึงกับกระบวนการทางกายภาพ คือ จะไม่มีความคงตัวในการกำจัดสีในระยะยาวเพราะว่าเมื่อเวลาผ่านไปภายในตัวเซลล์แบคทีเรียจะอิ่มตัวไปด้วยสี ด้วยเหตุนี้จึงมีการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสีอะโซและแบคทีเรียในทางการบำบัดแบบชีววิทยาด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะแอโรบิกและแอนแอโรบิก

การกำจัดสีอะโซส่วนใหญ่แบคทีเรียที่เจริญภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่าเนื่องจากแบคทีเรียที่เจริญภายใต้สภาวะใช้ออกซิเจนที่เป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ azoreductase ในการย่อยสลายพันธะอะโซทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในสภาวะที่มีออกซิเจนมีประสิทธิภาพน้อยเมื่อเทียบกับสภาวะไร้ออกซิเจน จากภาพ 1 แสดงให้เห็นถึงกลไกในการกำจัดสีอะโซซึ่งจะเกิดขึ้นที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียโดยที่ NADH ที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมสังเคราะห์พลังงานภายในเซลล์แบคทีเรียจะไปช่วยให้เอนไซม์ azoreductase ทำปฏิกิริยามีการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากภายในเซลล์ไปสู่บริเวณ chromophore ($N=N$) หรือพันธะอะโซในโมเลกุลของสี ซึ่งมีผลทำให้พันธะขาดออกจากกันกลายเป็นสารประกอบจำพวกอะโรมาติกเอมีน ด้วยเหตุนี้ทำให้ความเข้มข้นสีลดลงหรืออาจลงนั่นเอง จากที่กล่าวในข้างต้นว่าออกซิเจนจะมีผลยับยั้งให้เอนไซม์ azoreductase ไม่ให้สามารถทำงานได้ดีนั้น เนื่องมาจากสาเหตุที่ออกซิเจนจะไปรับอิเล็กตรอนอิสระที่ปลดปล่อยจากในเซลล์แทนที่จะมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนด้วย redox mediator กับบริเวณพันธะอะโซ ($N=N$) จึงเป็นเหตุทำให้การกำจัดสีลดลงได้ไม่ดีเท่ากับสภาวะแอนแอโรบิก (Pearce *et al.*, 2003)



ภาพ 1 กลไกในการกำจัดสีอะโซโดยแบคทีเรีย

ที่มา: Pearce *et al.* (2003)

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสี

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น พารามิเตอร์ในการดำเนินงานมีความสำคัญมาก เช่น ระดับการให้อากาศ อุณหภูมิ พีเอช และพลังงานศักย์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ของระบบจะต้องเหมาะสมเพื่อจะทำให้อัตราการกำจัดสีเกิดขึ้นสูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของตัวให้อิเล็กตรอน และตัวกลางในปฏิกิริยารีดอกซ์ต้องสมดุลกับปริมาณของชีวมวลเซลล์ในระบบและปริมาณของสีที่มีในน้ำเสีย ความสามารถของแบคทีเรียในการกำจัดสีจากประเภทสีที่ต่างกัน เช่น สีเอซิด เบสิด ไคเร็กซ์ ดิสเพรส เมทัลคอมเพล็กซ์ รีแอคทีฟ ซัลเฟอร์ และแว็ต จะต้องมีการทดสอบชนิดของน้ำเสียที่สามารถบำบัดได้โดยระบบ โดยองค์ประกอบของน้ำเสียสิ่งทอมีความหลากหลายซึ่งประกอบด้วย สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สารอาหาร เกลือ องค์ประกอบของซัลเฟอร์ และความเป็นพิษของสี ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจมีผลไปยับยั้งกระบวนการกำจัดสี ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาผลกระทบแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดสีก่อนที่จะใช้ระบบชีวภาพบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

1. ออกซิเจน เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดเพราะออกซิเจนมีผลต่อการเจริญของเซลล์และการลดสี โดยในระหว่างที่เซลล์มีการเจริญเติบโตออกซิเจนจะมีความสำคัญคือมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของเซลล์ส่วนในระหว่างการกำจัดออกซิเจนจะมีผลยับยั้งเอนไซม์ azoreductase ไม่ให้สามารถทำงานได้ดี เนื่องจากสาเหตุที่ออกซิเจนจะไปยับยั้งอิเล็กตรอนอิสระที่ปลดปล่อยจาก ในเซลล์แทนที่จะมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนด้วย redox mediator กับบริเวณพันธะอะโซจึงเป็นเหตุทำให้การกำจัดสีลดลงได้ไม่ดี (Yoo *et al.*, 2001)

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

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

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

5. โครงสร้างสี จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างสีที่ประกอบด้วยพันธะอะโซเดี่ยว (monoazo) แบคทีเรียสามารถกำจัดสีได้ดีและรวดเร็วกว่าสีที่มีองค์ประกอบของพันธะอะโซสองแห่ง (diaz) และสามแห่ง (triaz) ในโมเลกุลของสี

6. ตัวให้อิเล็กตรอน จากการศึกษาพบว่าตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาการกำจัดสีอะโซด้วยเอนไซม์ azoreductase ได้คือ โคแฟกเตอร์ชนิด NADH และได้มีการยืนยันจากการทดลองที่มีการนำ p-chloromercuribenzoate ไปยับยั้งการสร้าง NADH ภายในเซลล์แบคทีเรียพบว่าการกำจัดสีนั้นลดลง (Gingell and Walker, 1971)

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



8. ตัวกลางในปฏิริยารีดอกซ์ จากการศึกษาพบว่านอกจากพลังงานศักย์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการกำจัดสีมากขึ้นยังมีตัวกลางในปฏิริยารีดอกซ์ที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันด้วย (Van *et al.*, 2001)

ระบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetlands)

พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands) คือ พื้นที่ซึ่งน้ำท่วมถึงหรือชุ่มไปด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ในระยะเวลานานพอที่จะทำให้พื้นที่นั้นคงสภาวะการอิ่มตัวด้วยน้ำไว้ ซึ่งความลึกของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีระดับแตกต่างกันไป (โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่า 0.6 เมตร) และน้ำจะไหลผ่านเข้าไปในพืชที่ขึ้นกันอยู่หนาแน่นอย่างช้าๆ พืชที่มักพบในบึงส่วนใหญ่ ได้แก่ พืชจำพวกธูปฤาษี กก หรือ แผล ตัวอย่างพื้นที่ชุ่มน้ำทางกายภาพ เช่น ห้วย หนอง เป็นต้น (EPA, 1993)

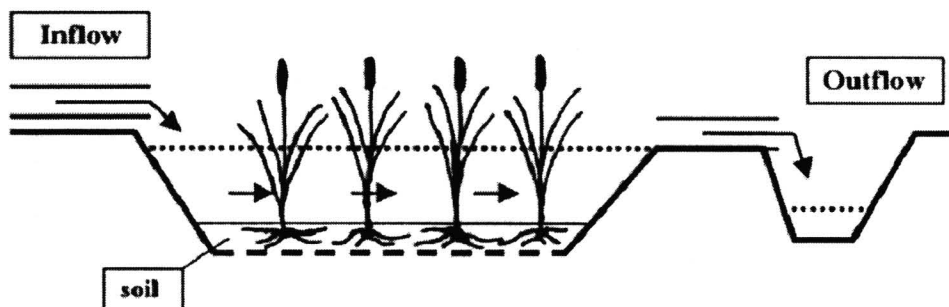
บึงประดิษฐ์ (constructed wetlands) ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชต่างๆ เช่น พืชจำพวกอ้อ (*Phragmites*) กก (*Scirpus*) และธูปฤาษีหรือก้านรูป (*Typha*) บอนทราย กรวดหรือดิน ซึ่งใช้เป็นตัวกลาง (กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546)

การบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ใช้สารตัวกลาง พืช จุลชีพ และบรรยากาศมาเกี่ยวพันกันคือ มาช่วยกันบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำที่มีสารปนเปื้อนลดน้อยลง โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรต่างๆ มาทำการบำบัดน้ำเสีย วิธีนี้จะอาศัยกลไกธรรมชาติมาบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก (เกรียงศักดิ์, 2539) ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการก่อสร้างและดูแลรักษาค่า สูญเสียพลังงานน้อย ทนต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งคุณภาพและปริมาณของของเสียได้มาก (Todorovics *et al.*, 2005) ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้กันโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (free water surface flow system, fws)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดินประกอบด้วยบ่อตื้นๆ ซึ่งสร้างด้วยดินที่มีการซึมผ่านได้น้อยหรืออาจปูด้วยวัสดุกันซึม มีระดับน้ำลึก 0.2-0.4 เมตร ปล่อยน้ำเสียเข้าระบบช้าๆ ผ่านต้นพืช ดังภาพ 2 ขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้คือ การเติมอากาศในระบบมาจากพืช ลมพัด และขณะที่น้ำไหลผ่านพืชทำให้ความเร็วของน้ำลดลงจึงเกิดการตกตะกอน และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ พืชที่มักใช้ในระบบมักเป็นพวกที่มีรากยึดเกาะดิน เช่น กก ต้นอ้อ และธูปฤาษี (เกรียงศักดิ์, 2539) ประสิทธิภาพของระบบ fws จะเป็นการบำบัดน้ำเสียทั่วไปซึ่งเกี่ยวกับการกำจัดมลพิษ โลหะหนัก และสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน ซึ่งโดยทั่วไประบบ fws จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากขั้นที่ 2 นอกจากนี้ระบบ fws ยังมีความเหมาะสมสำหรับเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต

โดยเฉพาะสำหรับนก จุลินทรีย์เชื้อก่อโรคบางชนิด โดยเฉพาะ Fecal Coliform, *Streptococci* และ *Salmonella* เป็นต้น (Ghermandi *et al.*, 2007)



ภาพ 2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

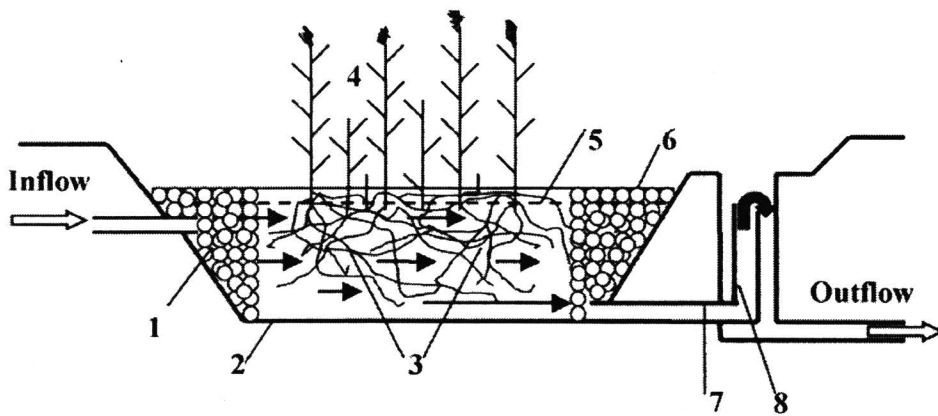
ที่มา : Vymazal (2007)

2. บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow system, sfs)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินนี้ภายในบรรจุชั้นตัวกลางเพื่อให้รากพืชยึดเกาะ เช่น ดิน ทราย กรวด หรือหินบด มีความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 0.3-0.6 เมตร ด้านล่างคาดด้วย ดินเหนียว วัสดุกันซึมอื่นๆ หรือแผ่นโพลีเอทิลีน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำรั่วซึมไปปนเปื้อนน้ำใต้ดินส่วนกันบึงมีความลาดชันประมาณร้อยละ 1 เพื่อให้ น้ำไหลได้โดยไม่มีการกักขังเกิดขึ้น ทางด้านน้ำเข้าจะมีท่อกระจายน้ำเข้าสู่ระบบ และมีท่อรวบรวมน้ำออกที่ข้างใต้ชั้นตัวกลาง ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศด้วยพืชเป็นหลัก น้ำเสียจะถูกบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากพืช (เกรียงศักดิ์, 2539) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 การไหลตามแนวนอน (horizontal subsurface flow, hsf)

ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้จะมีการออกแบบให้ชั้นที่ปลูกพืชเป็นรูปสี่เหลี่ยม พืชที่ใช้กันโดยทั่วไปจะเป็นกก (*P. australis*) และจะปลูกเป็นแนวเพื่อเป็นผนังป้องกันการซึมผ่าน กลไกการบำบัดของระบบคือ จะปล่อยน้ำเสียไหลเข้าไปช้าๆ ผ่านตัวกรองที่อยู่ใต้ผิวของชั้นหิน จนกระทั่งถึงบริเวณทางออก ในระหว่างที่น้ำเสียไหลผ่านพืชและชั้นหินน้ำเสียจะสัมผัสกับบริเวณที่เป็นแอโรบิก แอนอกซิก และแอนแอโรบิก (Vymazal, 2005) (ภาพ 3)

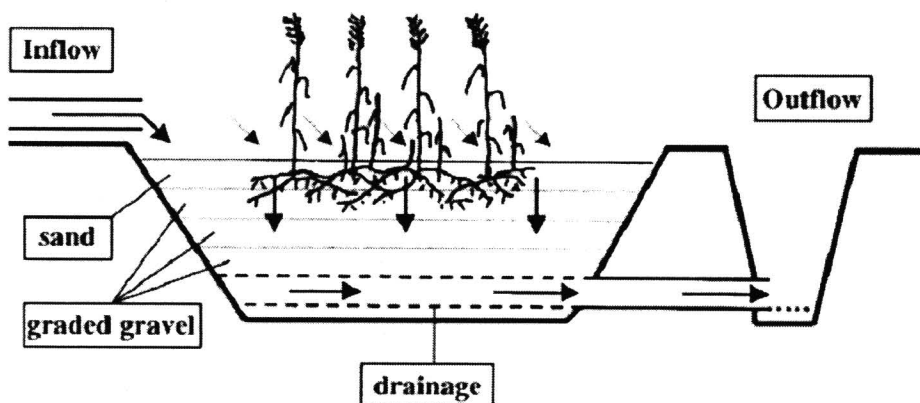


ภาพ 3 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินการไหลตามแนวนอน

ที่มา: Vymazal (2005)

2. 2 แบบการไหลตามแนวดิ่ง (vertical subsurface flow, vsf)

บึงประดิษฐ์ประกอบด้วยชั้นตัวกลางหลายชั้น ซึ่งอาจมีขนาดต่างกันก็ได้ มีการกระจายน้ำเข้าทั่วบริเวณผิวน้ำชั้นตัวกลาง และมีระบบที่รับน้ำออกอยู่ใต้ผิวน้ำชั้นตัวกลาง น้ำเสีย จะเข้าระบบเป็นครั้งคราว (intermittent loading) เพื่อให้เกิดสภาพมีอากาศในช่วงหยุดเติมน้ำเสีย โดยอากาศจะแพร่ผ่านเข้าไปในช่องว่างของชั้นตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ตัวกลางและรากพืชจะทำหน้าที่ลดสารอินทรีย์ในน้ำ (สุรศักดิ์, 2550) (ภาพ 4)



ภาพ 4 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินการไหลตามแนวดิ่ง

ที่มา: Vymazal (2007)

องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ (wetland component)

องค์ประกอบของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมีดังต่อไปนี้

1. ชั้นกรอง (substrata)

ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไปโดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในชั้นกรองเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชและที่ซัดเกาะสำหรับจุลินทรีย์แล้วชั้นกรองยังเป็นพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่างๆ ด้วยลักษณะทางกายภาพของชั้นกรองก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วย ตัวอย่างเช่น ชั้นกรองที่เป็นทรายหรือกรวดนิยมนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียเพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบและพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย

ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับแยกตามปริมาณของออกซิเจน ดังแสดงในรูป ซึ่งได้แก่

1.1 บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic) เป็นบริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ บริเวณนี้น้ำเสียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได้

1.2 บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (mildly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่มีออกซิเจน (aerobic) ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่ อย่างไรก็ตามระบบรากของพืชที่ซัดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถปล่อยออกซิเจนออกมาสู่ชั้นกรองได้บางส่วน

1.3 บริเวณที่ไร้ออกซิเจน (strongly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือล่างสุดของชั้นกรอง และในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไร้อากาศ

2. จุลินทรีย์ (microorganisms)

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ซึ่งภายในบึงประดิษฐ์นี้สามารถแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 แบคทีเรียชนิดแขวนลอย คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในบริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ

2.2 แบคทีเรียชนิดเกาะติด คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช (ราก, ลำต้น) ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับบึงประดิษฐ์

แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน นอกจากนี้จุลินทรีย์ต่างๆ ยังสะสมอยู่ในชั้นตะกอนบริเวณด้านล่างของระบบ บึงประดิษฐ์ด้วย

โดยทั่วไปจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และพลังงานสำหรับการดำรงชีพ ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลินทรีย์ คือ สารอินทรีย์และ คาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะมีการ จัดสถานะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ บึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการกำจัดของเสียที่ดี

3. พืชในบึงประดิษฐ์

พืชในระบบทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน จากบรรยากาศสู่รากพืช (root-zone) ทั้งยังช่วยให้แสงแดดกระทบผิวน้ำน้อยลง ซึ่งถือเป็นการ ป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย (algae) ในน้ำทางอ้อม เนื่องจากพืชสามารถนำสารอาหารใน น้ำเสียไปใช้ได้เพียงเล็กน้อยจึงไม่มีน้ำที่หลักในการย่อยสลายและดูดซึมสารอาหาร

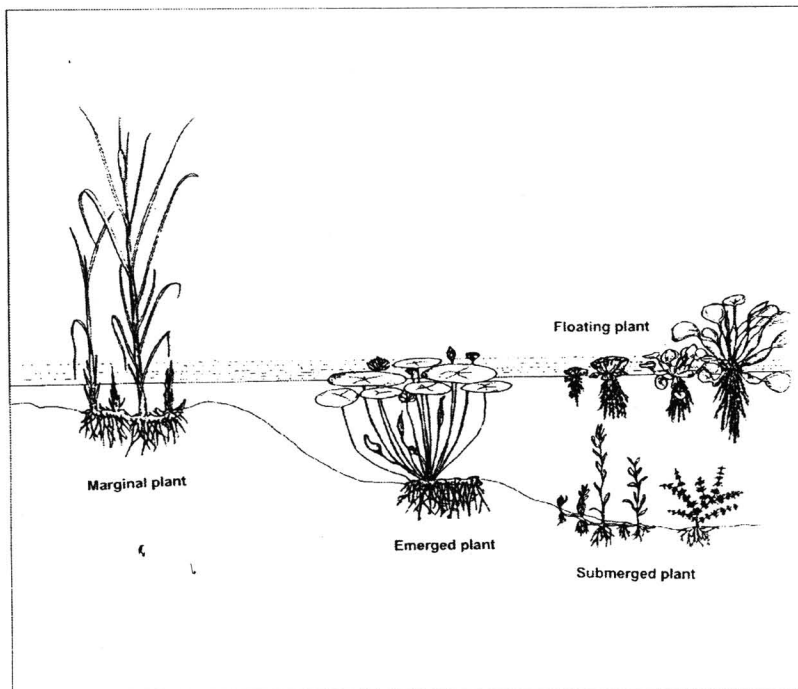
หน้าที่ของพืชในบึงประดิษฐ์

หน้าที่หลักของพืชในบึงประดิษฐ์ คือการลำเลียงออกซิเจน ระบบรากพืชใน บึงประดิษฐ์ จะเจริญเติบโตอยู่ในชั้นดินหรือแทรกตัวเข้าไปในชั้นกรองที่ระดับต่ำกว่าผิวน้ำ ประมาณ 50-150 เซนติเมตร โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบและลำเลียง ออกซิเจนซึ่งใช้หลักการแพร่ (diffusion) และการไหลพาของอากาศ (convective) ลงไปยังระบบ ราก ทำให้สามารถลำเลียงออกซิเจนได้ดีกว่าการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (เทคโนโลยีแห่ง เอเชีย, มปป)

ชนิดและลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์

ประเภทของพืชที่นำมาใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ สามารถแบ่งตามลักษณะทาง นิเวศวิทยาที่พรรณไม้น้ำนั้นขึ้นอยู่ และสามารถเติบโตในแหล่งน้ำที่มีลักษณะต่างๆ กัน คือ

การจัดจำแนกพรรณไม้น้ำตามลักษณะทางนิเวศวิทยาที่พรรณไม้น้ำนั้นขึ้นอยู่ โดย พรรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตในแหล่งน้ำตามลักษณะต่างๆ กัน (ภาพ 5) คือ



ภาพ 5 การจำแนกพรรณไม้น้ำออกตามลักษณะทางนิเวศวิทยา

ที่มา : สุชาดา (2542)

พืชใต้น้ำ (submerged plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด อาจจะมีรากยึดกับพื้นดินใต้น้ำ หรือไม่ยึดก็ได้ บางชนิดทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ มีลำต้นบางส่วนและใบเจริญอยู่ใต้ระดับน้ำ พืชใต้น้ำบางชนิดจะส่งดอกเจริญที่ผิวน้ำ หรือเหนือน้ำ พืชใต้น้ำมีประโยชน์มากเพราะจะคายก๊าซออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำโดยตรง ขณะเดียวกันก็จะดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของสัตว์น้ำ ทำให้แหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาพสมดุล เช่น สาหร่ายหางกระรอก

พืชโผล่เหนือน้ำ (emerged plants) พรรณไม้น้ำประเภทที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ ส่วนส่วนของใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ พืชพวกนี้บางชนิดพบว่าที่โคนต้นมีเนื้อเยื่อโปร่งๆ สีขาว เรียกว่า aerenchymatous tissue ทำหน้าที่เก็บสะสมอากาศไว้เพื่อช่วยในการหายใจ เช่น พวกต้นเทียนนา บางชนิดพบว่ามีทั้งใบใต้น้ำและใบเหนือน้ำ เช่น พวกบัวสายบางชนิด

พืชลอยน้ำ (floating plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญลอยอยู่ที่ระดับน้ำ มีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ ส่วนต้น ใบ และดอก เจริญปริ่มน้ำหรือเหนือน้ำ บางชนิดลำต้นตั้งขึ้น รากอาจจะยังยึดพื้นดินใต้น้ำก็ได้ พรรณไม้น้ำที่มีขนาดเล็กมักลอยตัวได้อย่างอิสระ เช่น พวกแหนต่างๆ พวกที่มีขนาดใหญ่มักจะมีส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงให้ต้น

พืชลอยน้ำอยู่ได้ เช่น ผักตบชวา มีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นท่อน (buoyancy leaf) ต้นผักบุ้งมีลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ ช่วยพยุงให้ต้นพืชลอยน้ำอยู่ได้

พืชชายน้ำ (marginal plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง ชายคลอง หนองน้ำ สระน้ำหรือทะเลสาบ ลักษณะโดยทั่วไปนั้นมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ใต้ดิน ส่วนบางส่วนของต้น ใบและดอกเจริญเหนือน้ำ พรรณไม้น้ำประเภทนี้ใกล้เคียงกับพวกพืชใต้อบเหนือน้ำมาก หรือบางอย่างก็เป็นทั้งพืชใต้อบเหนือน้ำ และพืชชายน้ำ เช่น ต้นกกบางอย่างเป็นต้น

พรรณไม้น้ำทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่าการจัดแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะแหล่งที่อยู่ของพืชนั้นๆ ซึ่งทุกประเภทที่กล่าวมานี้ค่อนข้างจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ยกเว้นพวกพืชใต้อบเหนือน้ำและพืชชายน้ำเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีพืชบางอย่างที่พบว่าสามารถเจริญอยู่ได้ทั้งบนบกและในน้ำ เช่น ต้นผักแว่น เป็นต้น (สุชาติ, 2542)

ความสัมพันธ์ของพรรณไม้น้ำกับปัจจัยทางด้านกายภาพ

พรรณไม้น้ำโดยทั่วไปนั้นจะเจริญได้ดีหรือมีการแพร่กระจายได้มากและรวดเร็วอย่างไรนั้น จำเป็นต้องมีปัจจัยบางอย่างมาเกี่ยวข้องด้วย ปัจจัยทางด้านกายภาพมีความสัมพันธ์กับพรรณไม้น้ำอย่างมาก และสภาพของแหล่งน้ำที่พืชขึ้นอยู่ก็มีผลต่อพรรณไม้น้ำเช่นกัน ปัจจัยต่างๆ นั้นมีดังต่อไปนี้คือ

1. แสง เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับพรรณไม้น้ำมาก การสังเคราะห์แสงทำให้พืชสามารถสร้างอาหารเพื่อการเจริญเติบโต พืชลอยน้ำ พืชใต้อบเหนือน้ำ และพืชชายน้ำ จะได้รับแสงโดยตรง พืชใต้น้ำจะได้รับแสงสว่างผิวดินจากความเป็นจริง พืชที่อยู่ในระดับความลึกต่างกันก็จะได้รับปริมาณแสงต่างกันไปด้วย และถ้าในบริเวณที่แสงส่องไม่ถึงจะไม่ค่อยพบพรรณพืชเลย
2. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญกับพรรณไม้น้ำเช่นกัน พรรณไม้น้ำชนิดต่างๆ ที่เจริญอยู่ในแหล่งน้ำเดียวกันนั้นมักไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากนัก พรรณไม้น้ำบางอย่างชอบขึ้นในที่อุณหภูมิต่ำ ถ้านำมาปลูกในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิสูงมักจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีนัก ขณะเดียวกันพรรณไม้น้ำบางอย่างที่ในประเทศร้อนมักจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีหรือไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้านำไปปลูกในประเทศหนาว แต่พรรณไม้น้ำบางอย่างก็สามารถปรับตัวได้ทั้งในที่อุณหภูมิสูงและที่อุณหภูมิต่ำ

3. ปริมาณก๊าซ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับพรรณไม้น้ำ ก๊าซที่สำคัญคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะพืชจำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์แสงขณะเดียวกันพืชก็จะคาย ก๊าซออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับสัตว์น้ำต่างๆ จะพบว่าถ้าอัตราการคายก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ของสัตว์และอัตราการคายก๊าซออกซิเจนของพรรณไม้น้ำอยู่ในลักษณะ ที่พอเหมาะ จะทำให้แหล่งน้ำนั้นมีสภาพที่สมดุล ในแหล่งน้ำเล็กๆ ปริมาณก๊าซออกซิเจนจะมีน้อย หรือเกือบไม่มีเลย สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ก็เกือบจะอยู่ไม่ได้เลย

4. ความกระด้างของน้ำ พรรณพืชบางอย่างชอบขึ้นในน้ำที่มีหินปูนมาก คือ ชอบ ขึ้นในน้ำกระด้าง ดังนั้นจะเห็นว่าพืชชนิดนี้ไม่ขึ้นในน้ำที่มีหินปูนน้อย ในขณะเดียวกันพรรณพืชที่ ชอบขึ้นในน้ำอ่อนก็จะไม่ขึ้นในน้ำที่มีหินปูนด้วย โดยลักษณะเช่นนี้จะมีผลต่อพรรณไม้น้ำในแง่ ของชนิดของพืชที่ชอบความกระด้างของน้ำต่าง ๆ กัน

5. พีเอชของน้ำ จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของพรรณไม้น้ำ โดยทั่วไปพืชมักชอบน้ำที่มีค่าพีเอชกลางๆ คือระหว่าง 6.5-7.5 แต่ก็มีพืชบางอย่างที่สามารถขึ้นได้ ในที่ที่น้ำมีค่าค่อนข้างเป็นกรด

6. ความขุ่นของน้ำ น้ำที่มีตะกอนของดินทรายหรือแร่ธาตุมาก เช่น ในลำธารหรือ หนองน้ำที่มีตะกอนขุ่น พืชใต้น้ำจะได้รับแสงสว่างไม่เต็มที่ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ บางครั้งถึงกับเน่าตายไป

7. ธาตุอาหารในน้ำ ถ้าในน้ำมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพรรณพืช เป็นผลทำให้พืชทุกประเภท ทั้งพืชลอยน้ำ พืชโผล่เหนือน้ำ และพืชใต้น้ำเจริญเติบโตได้ดี แหล่งน้ำ ที่รับน้ำเสียจากชุมชนจะมีพืชลอยน้ำเจริญอย่างหนาแน่น ทั้งนี้เพราะในน้ำเหล่านั้นมีธาตุอาหารที่ พืชต้องการอยู่เป็นจำนวนมาก

8. สภาพของพื้นดินใต้น้ำ ผิวพื้นล่างของแหล่งน้ำนั้นมีทั้งที่เป็นกรวด ทราย หิน ดินโคลน และดินที่เกิดจากซากพืชตายทับถมกัน ลักษณะเช่นนี้มีผลต่อพรรณไม้น้ำ ทั้งต่อชนิดของ พืชและต่อการเจริญเติบโตของพืช

9. การเคลื่อนที่ของน้ำ ในแหล่งน้ำที่เป็นสระ บ่อ บึง หรือทะเลสาบ การเคลื่อนที่ ของน้ำเกิดจากกระแสลม ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ แต่ในลำธารหรือแม่น้ำ การเคลื่อนที่ของ น้ำเกิดจากการไหลของกระแสน้ำ ซึ่งจะไหลช้าหรือเร็วก็ตามจะมีอิทธิพลต่อพรรณพืชที่ขึ้นอยู่ พืชบางอย่างชอบขึ้นในที่น้ำไหลเพื่อจะได้รับแร่ธาตุและก๊าซที่มากับกระแสน้ำ พืชพวกนี้จะมีราก ยึดแน่นกับพื้นดิน ใบมักเหนียวและพลิ้วไปตามกระแสน้ำได้ พืชบางอย่างชอบขึ้นในน้ำนิ่งเพื่อใบ จะได้รับแสงได้เต็มที่ ใบมักเปราะบางฉีกขาดได้ง่าย เป็นต้น

กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการธรรมชาติทางกายภาพ ทางเคมีและชีวภาพ ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมของดินและน้ำ กล่าวคือ การบำบัดน้ำเสียที่สมบูรณ์ จะต้องใช้วิธีทางชีวภาพ กายภาพ และเคมีร่วมกับพืช ตัวกลาง และจุลินทรีย์ในบึงประดิษฐ์ โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียนี้สามารถกำจัดหรือแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียได้ระดับหนึ่ง ซึ่งสิ่งปนเปื้อนในที่นี้ ได้แก่ ของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ ในโตรเจน ฟอสฟอรัส เชื้อก่อโรค เป็นต้น (เกรียงศักดิ์, 2539 ; Ayaz and Akca, 2001) โดยกลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์มีดังนี้

1. **การกำจัดของแข็งแขวนลอย** ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ไหลผ่านบนดิน สามารถถูกกำจัด หรือแยกออกจากน้ำเสียได้ไม่ยากนัก โดยอาศัยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นดิน หรือการกรองผ่านรากพืชต่างๆ สำหรับการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นอย่างได้ผลในบึงประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบนี้คือ fws และ sf ส่วนใหญ่จะถูกกรองออกในช่วง 2-3 เมตรแรก หลังจากที่น้ำเสียไหลผ่านช่องทางน้ำเข้า เข้าสู่ระบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับความนิ่งและความลึกของระดับน้ำด้วย ในการควบคุมการกระจายน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยการติดตั้งท่อกระจายน้ำนั้นสามารถควบคุมความเร็วในการไหลของน้ำให้ลดลง โดยทั่วไปแล้วความเร็วการไหล ณ จุดใดๆ ของทางน้ำเข้าไม่ควรมีค่ามากกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะช่วยให้การกำจัดของแข็งแขวนลอยและช่วยลดภาระของเสียที่เข้ามาในระบบได้ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันไม่ให้สภาวะไร้อากาศ (anoxic condition) เกิดขึ้นที่ส่วนต้นของช่องทางการไหลของน้ำอีกด้วย (กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546)

2. **การกำจัดสารอินทรีย์** สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจำเป็นต้องถูกกำจัดออก ซึ่งวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติสามารถกำจัดได้โดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ คือ พืชจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามผิวเม็ดดินต่างๆ จะอาศัยออกซิเจนจากอากาศดำรงชีพอยู่ได้ และจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็มีบางส่วนเกิดขึ้นภายในชั้นดินบ้างแต่ก็มีไม่มากนัก ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในระบบคือปริมาณออกซิเจนถ่ายเทเข้าสู่ระบบจะต้องมีมากกว่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในระบบ

3. การกำจัดไนโตรเจน (nitrogen) โดยส่วนใหญ่แล้วไนโตรเจนจะถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยานิไตรฟิเคชัน (nitrification) และดีไนไตรฟิเคชัน (denitrification) ส่วนกลไกอื่น ในการกำจัดไนโตรเจน เช่น การดูดซึมไนโตรเจนเข้าไปในพืช และการระเหยของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ไม่มากนักเมื่อเทียบกับกลไกแรก ในระบบบึงประดิษฐ์ส่วนมากจะพบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ในสภาวะที่มีพีเอชและอุณหภูมิสูงกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) ไปเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) เป็นขั้นตอนแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นจะเกิดกระบวนการนิไตรฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ไปเป็นไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยมีไนไตรท์ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) เป็นตัวกลางที่อยู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยานี้ ปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันจะเกิดในน้ำหรือดินที่มีออกซิเจนเพียงพอ (aerobic) ซึ่งจะรวมถึงบริเวณรอบๆรากพืชด้วย แต่ถ้ำระบบอยู่ในสภาพที่ไร้อากาศหรือออกซิเจน (anoxic) กระบวนการดีไนไตรฟิเคชัน (denitrification) จะเกิดขึ้นและไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) และก๊าซไนโตรเจนในที่สุด (N_2) (กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546)

จากตาราง 1 จะเป็นการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ซึ่งกลไกในการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียประกอบด้วย การระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) ดีไนไตรฟิเคชัน (denitrification) การนำไปใช้โดยพืช (plant uptake) การดูดซับแอมโมเนีย (ammonia adsorption) การออกซิไดซ์แบบแอนแอโรบิกของแอมโมเนีย (anaerobic ammonia oxidation) และการทับถมของสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen burial) ส่วนกระบวนการอื่นๆ เช่น ammonification หรือ นิไตรฟิเคชัน (nitrification) เป็นเพียงการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนไม่ใช่การกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสีย (Vymazal, 2007)

ตาราง 1 การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์

Nitrogen transformation in (constructed) wetlands	
Process	Transformation
Volatilization	ammonia-N (aq) → ammonia-N (g)
Ammonification	organic-N → ammonia-N
Nitrification	ammonia-N → nitrite-N → nitrate-N
Denitrification	nitrate-N → nitrite-N → gaseous N ₂ , N ₂ O
N ₂ Fixation	gaseous N ₂ → ammonia-N (organic-N)
Plant/microbial uptake (assimilation)	ammonia-N, nitrite-N, Nitrate-N → organic-N
Ammonia adsorption	
Organic nitrogen burial	
ANAMMOX (anaerobic ammonia oxidation)	ammonia-N → gaseous N ₂

ที่มา: Vymazal (2007)

4. การกำจัดฟอสฟอรัส (phosphorus)

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีตั้งแต่ 0-90% ส่วนใหญ่การกำจัดเกิดขึ้นที่ชั้นดินส่วนพื้นบึง ถ้าหากดินมีส่วนผสมของเหล็ก อลูมิเนียมและแคลเซียม ก็จะช่วยส่งเสริมการกำจัดให้ดีขึ้น ส่วนพืชน้ำจะนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการสร้างเซลล์ผ่านทางราก เมื่อพืชตายและย่อยสลายจะคายฟอสฟอรัสบางส่วนออกมา ส่วนที่เหลือจะจมอยู่กับซากพืช นอกจากนี้ กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสจะเป็นการดูดไปใช้โดยพืชและต่อมาจะมีการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบ ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสสามารถกำจัดออกโดยการเก็บเกี่ยวพืชเหล่านั้นแต่ก็เป็นเพียงการกำจัดฟอสฟอรัสเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เข้าไปในระบบ นอกจากนี้ฟอสฟอรัสอาจติดอยู่กับตัวกรองของพืชที่อยู่ชั้นล่าง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของการดูดซับและการตกตะกอนกับ แคลเซียม อะลูมิเนียม และเหล็ก ในทรายหรือหิน (ศักดิ์ชัย, 2547 ; Arias et al., 2000)

5. การกำจัดเชื้อโรค (pathogen) เชื้อโรคส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ หนองพยาธิ แบคทีเรีย และไวรัส (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) วิธีการกำจัดเชื้อโรคในบึงประดิษฐ์ ประกอบด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การกรอง การถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต วิธีทางเคมี ได้แก่ ปฏิกริยาออกซิเดชัน การดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุ และสารพิษที่พืชบางชนิดปล่อยออกมา ส่วนวิธีทางชีวภาพประกอบด้วย การตายลงตามธรรมชาติ (Natural Die-Off) การกินกันเอง (predation) และสารปฏิชีวนะที่สิ่งมีชีวิตอื่นปล่อยออกมา (ประนัศดา, 2548)

พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์

พืชที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ต้นกกกรังกา (*Cyperus* spp.) ลักษณะโดยทั่วไปของกกกรังกา คือ ลำต้นสั้นอยู่ใต้ดิน มีลักษณะเป็นเหง้า สามารถแตกกอได้สูงส่วนของลำต้นเหนือดินสูงประมาณ 1-1.5 เมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมที่ค่อนข้างมนกลม ใบจะเป็นแผ่นบางเป็นกระจุก หุ้มอยู่ที่ส่วนโคนของลำต้น ใบมีลักษณะเรียบบางปลายตัดยาวประมาณ 20 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร สีเขียวสด ออกดอกจากโคนต้นตามซอกใบ เป็นช่อดอกเล็กๆ ช่อหนึ่ง 2 ชั้น ดอกมีขนาดเล็กสีขาวอมเขียว เมื่อแก่จะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ก้านช่อดอกสีเขียวอ่อน และมีใบประดับจำนวนมากติดผลรูปไข่ ยาวเกือบเป็น 2 เท่าของช่อดอก สามารถพบตามที่ที่มีน้ำขัง และตามทุ่งขึ้นและทั่วไป ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดและการแตกกอ (ภาพ 6)



ภาพ 6 ลักษณะต้นกกกรังกา

หญ้าแฝกเป็นพืชตระกูลหญ้าที่ขึ้นเป็นกอหนาแน่น อยู่ตามธรรมชาติทั่วทุกภาคของประเทศไทยจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria zizanioides* Linn. Nash เจริญเติบโตโดยการแตกกอ เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูง ประมาณ 0.5-1.5 เมตร ใบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ใบกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็ง เจริญเติบโตในแนวตั้งมากกว่าเจริญออกทางด้านข้าง และมีจำนวนรากมาก จึงเป็นพืชทนแล้งได้ดีรากจะประสานติดต่อกัน หนาแน่นเหมือนม่านหรือกำแพงใต้ดินสามารถกักเก็บน้ำและความชื้นได้ ระบบรากยังลึก 1.5-3.0 เมตร และแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้นไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียงซึ่งสามารถนำมาปลูกเพื่อใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ วิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ดินมีความชุ่มชื้นและรักษาหน้าดิน รักษาสภาพแวดล้อมและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติสามารถนำไปปลูกบนพื้นที่สองข้างขอบทางชลประทาน อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำ ป่าไม้ขอบ ตลิ่ง คอสะพาน และไหล่ถนนเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายได้ (ภาพ 7)

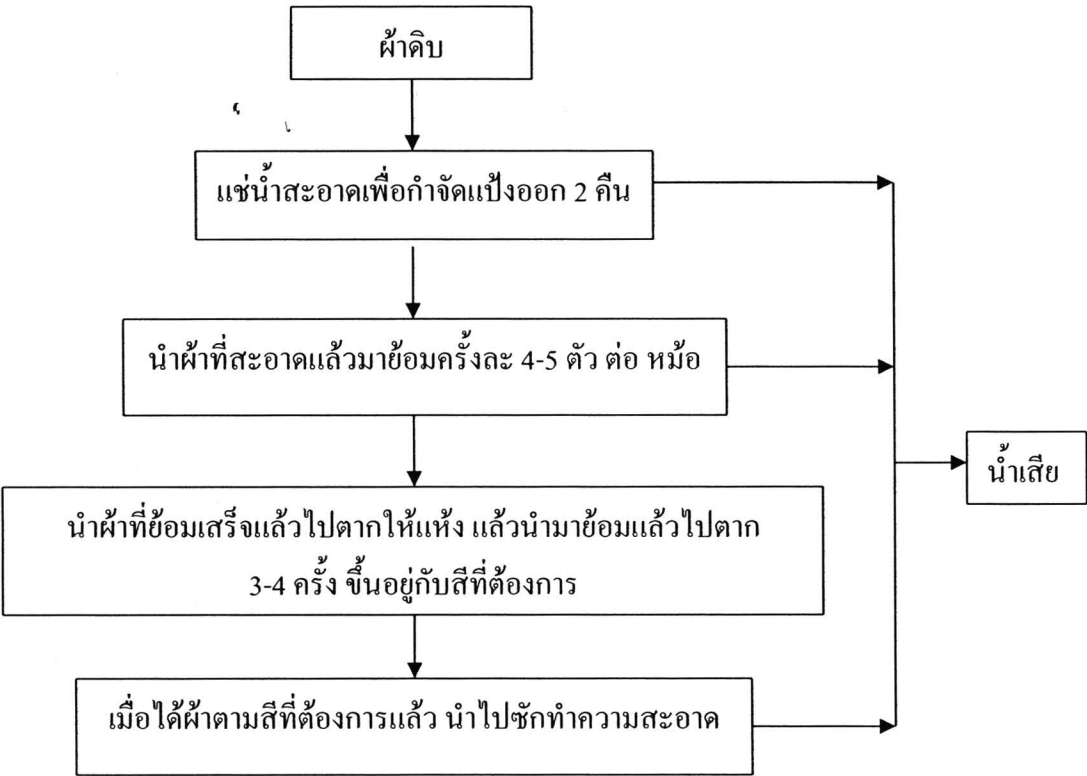


ภาพ 7 ลักษณะต้นหญ้าแฝก

ขั้นตอนการย้อมผ้าหม้อฮ่อม และน้ำเสียจากการผลิต

ขั้นตอนการผลิต

จากการสำรวจพื้นที่ที่มีการผลิตผ้าหม้อฮ่อม คือ พื้นที่หมู่ที่ 2 ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นการผลิตผ้าหม้อฮ่อมในรูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือน พบว่ามีขั้นตอนการผลิต และน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต โดยมีรายละเอียดดังภาพ



ภาพ 8 ขั้นตอนการย้อมผ้าหม้อฮ่อมและน้ำเสียจากการผลิต

ขั้นตอนการขจัดแป้งออกจากผ้าโดยการแช่

นำผ้าผืนมาตัดเย็บเป็นตัวจนเสร็จเรียบร้อยแล้วก็นำไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำเปล่า ใช้น้ำประมาณ 30 ลิตรต่อการแช่ผ้าประมาณ 10 ตัว แช่นจนกระทั่งเนื้อผ้านิ่มและมีสีเหลืองของแป้งละลายออกมาในน้ำหลังจากนั้นใช้ไม้พลองทุบผ้าเพื่อให้แป้งหลุดออกจากผ้าและผ้ามีความนิ่มมากยิ่งขึ้น บิดขึ้นจากน้ำ นำมาแช่เป็นครั้งที่ 2 โดยใช้น้ำปริมาณเท่าเดิม แช่นจนกระทั่งแป้งละลายออกมาปนกับน้ำจนหมด บิดขึ้นตาก แล้วจึงนำไปย้อมตามปกติ

ขั้นตอนการย้อมผ้าหม้อห้อม

นำหัวครามที่ได้มาผสมกับน้ำค้าง (น้ำค้างที่ได้มาจากการกรองน้ำขี้เถ้าที่ได้จากการหุงต้ม) และปูนขาวใส่ลงไปในหม้อ น้ำผ้าที่ต้องการย้อม (ผ้าฝ้าย) มาทำความสะอาดเอาเป้งออกโดยการแช่น้ำไว้ 2 คืน นำผ้าที่ทำความสะอาดแล้วมาย้อมในหม้อโดยใส่ผ้าครั้งละ 4-5 ตัว ต่อ หนึ่งหม้อ จากนั้นนำผ้าที่ย้อมเสร็จแล้วไปตากให้แห้งแล้วขยี้ให้ทั่วเนื้อผ้าประมาณ 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) ได้ศึกษาการกำจัดสีอะโซที่แตกต่างกันโดยใช้กลุ่มแบคทีเรียคือ *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

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

Jadhav *et al.* (2008) ได้ศึกษาการกำจัดสี brilliant blue G โดยการสลายของ *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 ที่แยกจากบริเวณทางออกของอุตสาหกรรมสิ่งทอภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกพบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี คือ พีเอช 8 และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีคือ 35 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการกำจัดสี Reactive Red RB, Reactive Black B และ Remazol 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) ได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์กำจัดสีรีแอคทีฟในระบบแอนแอโรบิก ร่วมกับระบบแอโรบิก พบว่าสีรีแอคทีฟจะลดลงภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกและเกิดอะโรมาติกเอมีนขึ้นซึ่งจะถูกสลายต่อในสภาวะแอโรบิก และ Isik and Spoza (2004) ได้ศึกษาการใช้ระบบ UASB ร่วมกับระบบ CSTR ในการกำจัดสีและกำจัดพิษของสี C.I. Direct Black ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีกลูโคสเป็นสับสเตรทร่วมโดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเกิดภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก ในขณะที่อะโรมาติกเอมีนและสารอินทรีย์อื่นๆจะถูกกำจัดภายใต้สภาวะแอโรบิก

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



งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการใช้บึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ พบว่าบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินมีประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี ซีโอดี ซี และของแข็งแขวนลอย เป็นต้น ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ ประนัสดา (2548) ที่ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมไหมด้วยบึงประดิษฐ์ โดยในการทดลองใช้บ่อที่ไม่ปลูกพืช บ่อที่ปลูกธูปฤาษี และบ่อที่ปลูกกกกลม พบว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษีและบ่อที่ปลูกกกกลมมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยประสิทธิภาพการกำจัดซีในบ่อที่ปลูกธูปฤาษีเท่ากับร้อยละ 53.16 ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีในบ่อที่ปลูกกกกลมเท่ากับร้อยละ 72.50

สุรศักดิ์ (2550) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเยื่อกระดาษสาโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานที่มีการไหลใต้ผิวดินและปลูกกกกลม โดยใช้ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของบ่อ ที่มีการไหลในแนวดิ่ง/แนวนอน เท่ากับ 5.0/1.26, 13.4/3.45 และ 76.0/59.67 เซนติเมตรต่อวัน พบว่า อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของบ่อที่มีการไหลในแนวดิ่งต่อแนวนอน 5.01/1.26 เซนติเมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และซี ร้อยละ 72.9, 94.4 และ 84.2 ตามลำดับ และ Bulc and Ojstrsek (2008) ได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียสิ่งทอที่บรรจุด้วย ทราย หิน และปลูกพืชเส้นใย (*Phragmites australis*) พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด ซีโอดี บีโอดี และซี เท่ากับ ร้อยละ 84, 66 และ 90 ตามลำดับ

นอกจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีแล้วบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ตัวกลางและพืชในบึงประดิษฐ์ในการลดสารปนเปื้อน และสารอินทรีย์ต่างๆ ดังปรากฏในงานวิจัยของ รุจิรา (2547) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการซักридด้วยการระบายเป็นครั้งคราวในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินผ่านทราย เทียบกับทรายร่วน พบว่าสารกรองประเภททรายร่วนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 94 และมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีและไนเตรทได้ประมาณร้อยละ 50

ศักดิ์ชัย (2547) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียบ้านเรือนโดยใช้บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินร่วมกับระบบการระเหยโดยพืช ซึ่งการทดลองมีการปรับเปลี่ยนอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกัน 2 ค่า คือ 8.23 และ 16.46 เซนติเมตรต่อวัน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินร่วมกับระบบการระเหยโดยพืชจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 8.23 เซนติเมตรต่อวัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี ของแข็ง

แขวนลอย สารอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนียในโตรเจน และฟอสฟอรัสเท่ากับ ร้อยละ 91.81, 92.08, 91.05, 98.27, 96.48 และ 96.67 ตามลำดับ

นอกจากนี้ Konnerup *et al.* (2009) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวนอนที่ปลูกต้นพุทธรักษาและเฮลิโคเนีย พบว่ามีอัตราการกำจัด TSS สูงกว่าร้อยละ 88 ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 440 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนอัตราการกำจัดซีโอดีจะอยู่ระหว่างร้อยละ 42 และ 83 ขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยอินทรีย์ ส่วนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะต่ำ แต่การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดในระบบที่ปลูกพุทธรักษาจะสูงกว่าในระบบที่ปลูกเฮลิโคเนีย เนื่องจากต้นพุทธรักษามีอัตราการเจริญเติบโตสูง

Kyambadde *et al.* (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบกกอีเป้และ *Miscanthidium violaceum* ที่ปลูกในบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย พบว่า กกอีเป้จะกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและ total reactive phosphorus (TRP) ได้เท่ากับร้อยละ 75.3 และ 82 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า *Miscanthidium violaceum* ที่กำจัดได้ร้อยละ 61.5 และ 48.4 ตามลำดับ และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้ร้อยละ 27.9 และไม่พบการกำจัด TRP บริเวณทางออก ส่วนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) กกอีเป้จะกำจัดได้สูงกว่า *Miscanthidium violaceum*

Calheiros *et al.* (2009) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยใช้บึงประดิษฐ์ที่ปลูกธูปฤาษี และ *Phragmites australis* พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียโรงฟอกหนังได้สูง คือ กำจัด บีโอดี ได้เท่ากับร้อยละ 88 ซีโอดี เท่ากับร้อยละ 92 และสารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน โดยจะทำงานที่เวลากักเก็บ 2, 5 และ 7 วัน โดยที่การทำงานของพืชทั้งสองชนิดไม่ต่างกัน เช่นเดียวกับ Vymazal (2002) ได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวนอนสำหรับบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ตัวกรองหินและ crushed rock และปลูกพืชเสี้ยนใบ (*Phragmites australis*) พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และของแข็งแขวนลอยเท่ากับ ร้อยละ 88 และ 84.3 ตามลำดับ ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมดโดยเฉลี่ยจะต่ำเท่ากับ ร้อยละ 51 และ 41.6 ตามลำดับ

Karathanasis *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลของพืชต่อการกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย บีโอดี และของแข็งแขวนลอย ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยบึงประดิษฐ์ พบว่า ระบบที่ปลูกพืชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี มากกว่าร้อยละ 75 และของแข็งแขวนลอยมากกว่าร้อยละ 88 ซึ่งสูงกว่าระบบที่ไม่ปลูกพืชที่มีประสิทธิภาพการกำจัด เท่ากับร้อยละ 63 และ 46 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Naralla *et al.* (2000) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์

แบบน้ำไหลได้ผิวดิน พบว่าสามารถลดบีโอดีของน้ำเสียชุมชนได้ร้อยละ 80 – 90 และลดโคลิฟอร์ม
แบคทีเรียได้ร้อยละ 90 – 99