บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา โดยระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานที่มีการไหลใต้ผิวในแนวดิ่งต่อด้วยแนวราบ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี(BOD), ซีโอดี (COD), ของแข็งแขวนลอย (SS) และความเข้มสี ซึ่งมีอยู่ในน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา โดยผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ระบบบึงประดิษฐ์

ระบบบึงประดิษฐ์(constructed wetland) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่สร้างขึ้น เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับธรรมชาติโดยระบบนี้จะประกอบไปด้วยระบบนิเวศน์ทั้งแบบบนบกและในน้ำผสมกัน มีความหลากหลายในด้านของพืชพรรณไม้ต่าง ๆ ลักษณะในการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาตินี้จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมมากขึ้น โดยที่ระบบบึงประดิษฐ์ สามารถกำจัดมลสารต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบนี้มลสารจะถูกกำจัดหลายกระบวนการด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การดูดซับกับอนุภาคของตัวกลาง และ ชีวภาพเคมี เช่น การนำไปใช้โดยพืช และการเปลี่ยนรูปมลสารโดยจุลินทรีย์ ข้อดีของบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ คือ เป็นระบบที่มีค่าก่อสร้างและบำรุงรักษาต่ำใช้พลังงานน้อย ใช้เทคโนโลยีง่าย ๆ ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรผู้ชำนาญงานในการดำเนินการและเดินระบบ ระบบมีความยืดหยุ่นสูงเมื่อถูกกระทบกระเทือนจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราภาระบรรทุกต่างๆ ดังนั้นจึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษสาในครัวเรือน

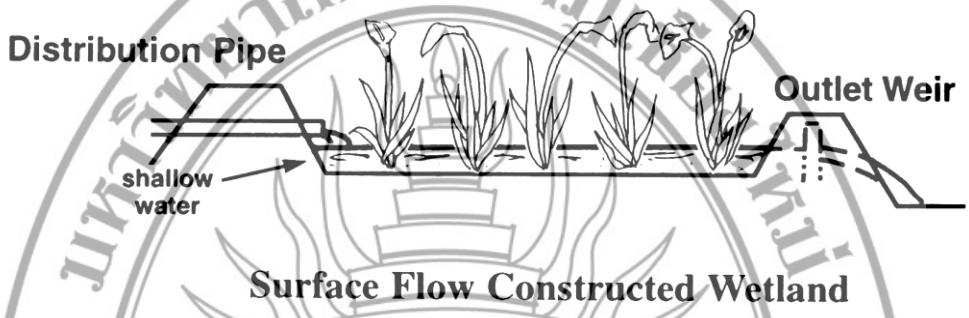
2.1.1 องค์ประกอบบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ที่ใช้ทั่วไปแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำเสีย มี 2 ประเภท คือ

ก) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (free water surface flow system, FWS)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดินประกอบด้วยบ่อตื้น ๆ ซึ่งสร้างด้วยดินที่มีการซึมน้ำได้น้อยหรืออาจปูด้วยวัสดุกันซึม มีระดับน้ำลึก 0.2 – 0.4 ม. ปล่อยน้ำเสียเข้าระบบช้า ๆ ผ่านต้นพืช ดังรูปที่ 2.1 ขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ คือ การเติมอากาศในระบบมาจากพืช ลมพัด และขณะที่น้ำไหลผ่านพืชทำให้ความเร็วของน้ำลดลงจึงเกิดการตกตะกอน และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ โดยทั่วไประบบนี้เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดีปานกลางไม่ควรเกิน 112 กก.บีโอดี/(เฮกแตร์·วัน) ควรมีระยะเวลากักเก็บ 5 – 15 วัน และมีค่าอัตราภาระทาง

ชลศาสตร์เท่ากับ 0.01-0.05 ม.^{3}/(ม.^{2}·วัน) อัตราส่วนความยาว : ความกว้างควรมากกว่า 10 : 1 พืชที่มักใช้ในระบบมักเป็นพวกที่มีรากยึดเกาะดิน เช่น กก (Bulrush : *Scirpus*) ต้นอ้อ (Reed : *Pragmites*) และธูปฤาษี (Cattail : *Typha*) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)



รูปที่ 2.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน
ที่มา: USEPA (1997)

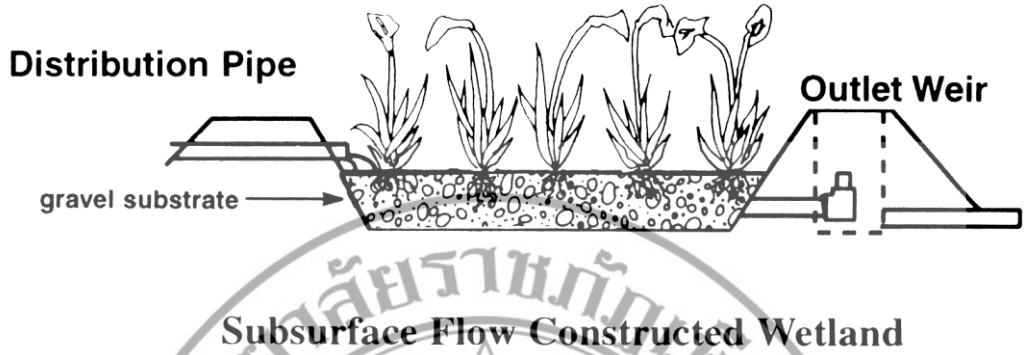
ข) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow system, SFS)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินนี้ภายในบรรจุชั้นตัวกลางเพื่อให้รากพืชยึดเกาะ เช่น ดิน ทราย กรวด หรือหินบด มีความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 0.3 – 0.6 ม. ด้านล่างดาดด้วยดินเหนียว วัสดุกันซึมอื่นๆ หรือแผ่นโพลิเอธิลลีน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำรั่วซึมไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ส่วนก้นบึงมีความลาดชันประมาณ 1% เพื่อให้น้ำไหลได้โดยไม่มีการกักขังเกิดขึ้น ทางด้านน้ำเข้าจะมีท่อกระจายน้ำเข้าสู่ระบบ และมีท่อรวบรวมน้ำออกที่ข้างใต้ชั้นตัวกลาง ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศด้วยพืชเป็นหลัก น้ำเสียจะถูกบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากพืช (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ข.1) การไหลตามแนวนอน (horizontal subsurface flow, HSF)

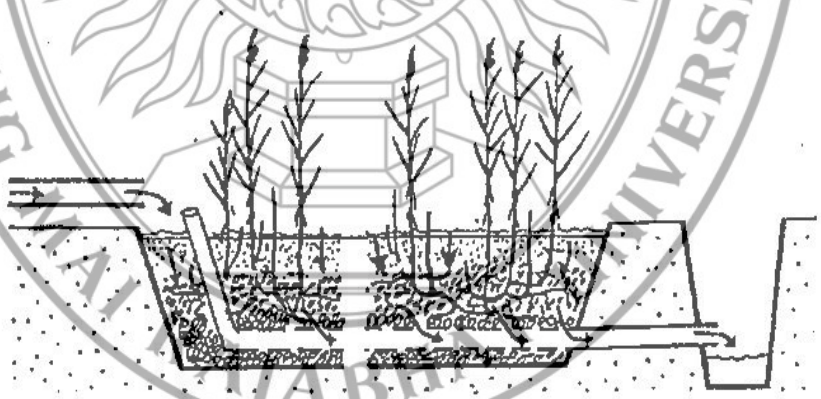
ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ภายในจะบรรจุชั้นตัวกลาง เช่น หิน กรวด หรือทราย และปลูกพืช น้ำเสียจะปล่อยบนผิวด้านหนึ่งของบ่อ และจะไหลอย่างช้าๆ ผ่านตัวกลางและรากพืชในแนวนอนไปตามแนวยาวของบึงจนกระทั่งถึงบริเวณทางออก ซึ่งมีท่อรับน้ำอยู่ข้างใต้ชั้นตัวกลาง ดังรูปที่ 2.2 ระหว่างที่น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ ที่เกาะบริเวณรากและตัวกลาง โดยส่วนที่มีออกซิเจนซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ รากพืช ส่วนที่ลึกลงไปจะมีสภาพขาดออกซิเจน (Cooper et al., 1996)



รูปที่ 2.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินการไหลตามแนวนอน
ที่มา: USEPA(1997)

ข.2) แบบการไหลตามแนวดิ่ง (vertical subsurface flow, VSF)

บึงประดิษฐ์จะประกอบด้วยชั้นตัวกลางหลายชั้น ซึ่งอาจมีขนาดต่างกันก็ได้ มีการกระจายน้ำเข้าทั่วบริเวณผิวหน้าชั้นตัวกลาง และมีระบบท่อรับน้ำออกอยู่ใต้ผิวชั้นตัวกลาง ดังรูปที่ 2.3 น้ำเสียจะเข้าระบบเป็นครั้งคราว (intermittent loading) เพื่อให้เกิดสภาพมีอากาศในช่วงหยุดเติมน้ำเสีย โดยอากาศจะแพร่ผ่านเข้าไปในช่องว่างของชั้นตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ตัวกลางและรากพืชจะทำหน้าที่ลดสารอินทรีย์ในน้ำ



รูปที่ 2.3 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินการไหลตามแนวดิ่ง
ที่มา: Cooper et at. (1996)

ข.3) บึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน (combined system)

เนื่องจากบึงประดิษฐ์แต่ละแบบมีข้อดีแตกต่างกันคือบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลแบบแนวนอนจะกำจัดบีโอดี สารแขวนลอย และการกำจัดไนเตรทไนโตรเจนได้ดี เนื่องจากชั้นตัวกลางมีสภาพอิ่มตัวเสมอทำให้เกิดสภาพแอน็อกซิก (anoxic) และเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ในทางตรงข้ามการไหลในแนวดิ่งจะมีการออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) ปัจจุบันได้มีการศึกษาโดยการนำทั้งสองแบบมาใช้ร่วมกัน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการบำบัด เช่น Cooper et at. (1996) ได้ศึกษาระบบที่มีการไหลในแนวดิ่งวางอยู่ก่อนการไหลในแนวนอนทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการไหลในแนวดิ่งสามารถกำจัดบีโอดี และออกซิไดซ์ไนโตรเจนได้ดี ส่วนการกำจัดไนเตรทไนโตรเจนเกิดขึ้นในระบบที่มีการไหลแนวนอน โดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะใช้แหล่งคาร์บอนจากภายในระบบทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้า แต่จะเกิดดีขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บกักนานขึ้น

2.1.2 พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์

พืชที่นิยมใช้ในระบบบึงประดิษฐ์มักเป็นพืชที่โผล่พ้นน้ำ(emergent plants) ซึ่งมีส่วนของใบ และลำต้น อยู่เหนือผิวดิน มีรากแผ่ขยายอยู่ในดิน เช่น ธูปฤาษี (Cattail : *Typha*) กก (Bulrush : *Scirpus*) อ้อ (Reed : *Phargmites*) เป็นต้น

รากพืชจะเจริญเติบโตอยู่ภายในดินที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 50 – 150 ซม. หรือมากกว่า โดยส่วนใหญ่จะสร้างใบ และลำต้น ให้สัมผัสอากาศมีรากแผ่ขยายในชั้นดิน ออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบ และลงไปทางช่องอากาศไปยังระบบราก โดยการแพร่ (diffusion) และการไหลพาของอากาศ (convective) ออกซิเจนบางส่วนถูกปลดปล่อยออกมารอบชั้นรากพืช ทำให้เกิดสภาพมีออกซิเจน เสริมให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดีขึ้น และยังเพิ่มความสามารถในการดูดฟอสฟอรัสของตะกอนด้วยพืชสามารถรับฟอสฟอรัสได้โดยกระบวนการดูดซับ การรวมตัวทางเคมี หรือการแพร่ผ่านน้ำในช่องว่างเม็ดดิน (Cooper, 1996)

2.1.3 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์

ก) หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์

พืชในระบบบึงประดิษฐ์มีหน้าที่หลายประการ ดังนี้

ก.1) ทางกายภาพ

พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้ตกตะกอนได้ดีขึ้น ลดการฟุ้งกระจายของตะกอน และช่วยเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างน้ำ และพื้นที่ผิวของพืช รากพืชที่หนาแน่น ช่วยลดการกัดเซาะผิวดิน ในระบบการไหลในแนวดิ่ง การให้น้ำเข้าระบบเป็นครั้งคราวจะช่วยป้องกันการอุดตันในตัวกลางได้จากการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในชั้นตัวกลาง ส่วน

ยอดต้นพืชยังช่วย ลดความเข้มของแสงทำให้เกิดสาหร่ายลดลง และป้องกันอุณหภูมิของดินไม่ให้สูง หรือต่ำเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศ

ก.2) สภาพนำทางชลศาสตร์ของดิน (soil hydraulic conductivity)

ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลแนวนอน น้ำจะไหลผ่านตามร่องที่เกิดจากรากพืช และช่องว่างในเม็ดดิน เมื่อรากเจริญมากขึ้นจะทำให้ดินหลวม และเมื่อรากพืช และลำต้นใต้ดินตาย และถูกย่อยสลาย จะทำให้เกิดโพรง หรือร่องซึ่งเพิ่มความเสถียรของสภาพนำทางชลศาสตร์ของดิน (Vymazal, 1998)

ก.3) เป็นพื้นที่สำหรับยึดเกาะของจุลินทรีย์

ส่วนของลำต้นและใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นพื้นที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชเป็นแหล่งที่มีจุลินทรีย์ โปรตัวซัว และสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงอยู่หนาแน่นเช่นเดียวกับราก ลำต้นใต้ดิน รวมถึงซากพืชที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ

ก.4) การดูดซับอาหารโดยพืช

พืชต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ พืชได้รับอาหารจากระบบราก และบางส่วนได้จากการดูดซับจากลำต้นที่อยู่ในน้ำ สามารถลดปริมาณสารอาหารได้โดยการเก็บเกี่ยวแต่พบว่า ปริมาณสารอาหารที่ถูกกำจัดโดยการเก็บเกี่ยวมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับภาระบรรทุกของน้ำเสียที่เข้าระบบ แต่ถ้าไม่มีการเก็บเกี่ยวสารอาหารส่วนใหญ่ที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชจะถูกปล่อยออกมาสู่ระบบเพื่อย่อยสลายต่อไป

ก.5) การปลดปล่อยทางราก

พืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากสู่บริเวณรอบ ๆ ลำต้นใต้ดิน และรากอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน ความต้องการออกซิเจนของตัวกลางโดยรอบ และความพรุนของผนังราก นอกจากนี้การซึมของออกซิเจนที่ปลายรากทำให้เกิดการออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยลดอันตรายของสารพิษได้

ข) กลไกการบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์

ระบบบึงประดิษฐ์สามารถลดค่า บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และเชื้อโรคได้ดี โดยกลไกการบำบัดประกอบด้วยการตกตะกอนของอนุภาคสารแขวนลอย การกรอง การย่อยสลาย และเปลี่ยนรูป รวมทั้งการดูดซับของพืชและจุลินทรีย์ กลไกในการบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์สามารถแยกได้ดังนี้

ข.1) การกำจัดของแข็งแขวนลอย

โดยทั่วไประบบบึงประดิษฐ์ มีระยะเวลาเก็บกักน้ำหลายวัน เนื่องจากต้นพืชช่วยลดความเร็วของน้ำที่เข้าระบบ ทำให้ตกตะกอนได้ดีขึ้น ของแข็งส่วนมากจะถูกกรอง และตกตะกอนตั้งแต่ระยะ 2 – 3 ม. แรกจากทางน้ำเข้า ซึ่งมักทำให้เกิดการอุดตันโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีการไหลใต้ดิน ส่วนของแข็งที่ไม่สามารถตกตะกอนและคอลลอยด์ถูกกำจัดโดยแบคทีเรียและบางส่วนจะชนกัน หรือดูดติดกับวัสดุอื่น ๆ เช่น ลำต้นพืช (Vymazal , 1998)

ข. 2) การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้จะถูกกำจัดในบริเวณใกล้ทางน้ำเข้าระบบโดยการตกตะกอน และ การกรอง ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน การดูดซับสารอินทรีย์ของพืชถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับกลไกการบำบัดอื่นๆ โดย จุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายส่วนใหญ่จะเกาะอยู่กับผิวของตัวกลาง เช่น เม็ดทราย กรวด ลำต้น และรากพืช ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลาย ได้จากการแพร่ผ่านจากบรรยากาศ และจากระบบรากพืช จุลินทรีย์จึงมีความสำคัญในการลดค่าบีโอดีของระบบซึ่งในสภาพที่มีออกซิเจนมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Cooper et al., 1996)

ข.3) การกำจัดไนโตรเจน

กลไกการกำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์มีหลายอย่าง เช่น การเปลี่ยนสถานะของแอมโมเนีย (ammonia Volatilization) การดูดซับ (adsorption) การดูดซึมและนำไปใช้โดยพืช (uptake) แต่กลไกหลักที่ทำหน้าที่กำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์ คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ม, 2543)

ข.4) การกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดซับของพืช การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน และการตกตะกอน ส่วนใหญ่การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นในชั้นดินในส่วนก้นบึงหากดินมีส่วนผสมของเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียม ก็จะส่งเสริมให้การกำจัดดีขึ้น ส่วนพืชจะดูดซับฟอสฟอรัสผ่านราก และส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อนำไปใช้สร้างเซลล์ (Watson et al., 1989)

ข.5) การกำจัดเชื้อโรค

กลไกหลักในการกำจัดเชื้อโรค มีทั้งการตกตะกอนและการกรอง โดยใช้รังสีอัตราไวโอเลตจากแสงแดด การตายตามธรรมชาติ (natural die-off) การถูกกิน (predation) เชื้อโรค และไข่พยาธิจะตกตะกอนและถูกกำจัดหรือถูกดูดซับด้วยอนุภาคในน้ำ นอกจากนี้บางส่วนอาจถูกดูดซับบนผิวของพืชน้ำที่ปลูกในบึงนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อโรค เวลาเก็บกัก และอุณหภูมิ (Cooper et al., 1996)

2.1.4 การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์

ขั้นตอนหลักในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสีย มีดังนี้

- พิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะเลือกใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย
- ศึกษาลักษณะของน้ำเสียว่าจะต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น ก่อนนำเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์หรือไม่
- ทำการเลือกชนิดของพืชที่จะปลูกในบึงประดิษฐ์
- ศึกษาค่าเกณฑ์การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์
- ทำการศึกษาระบบควบคุมแมลงต่าง ๆ ในบึงประดิษฐ์
- ออกแบบรายละเอียดของระบบบึงประดิษฐ์
- พิจารณาการเลือกติดตั้งสถานีตรวจสอบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

ในส่วนของข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ควรทราบถึงข้อมูลเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบบึงประดิษฐ์

ข้อมูลที่ควรทราบ	**รายละเอียด**
1. ชนิดของชั้นดิน	ควรเป็นดินประเภทที่ให้น้ำไหลซึมลงดินได้ช้า
2. เทคนิคการกระจายน้ำเสีย	ใช้หัวกระจายน้ำเสีย หรือท่อเจาะรูด้านข้างเพื่อกระจายน้ำเสีย
3. ภาระปริมาณน้ำเข้า	5 – 18 ม./ปี
4. ขนาดพื้นที่ที่ต้องการ	20 – 66 ม.^{2}/(ม.^{3}/วัน)
5. ความต้องการของพืชบนพื้นที่บำบัด	สามารถเติบโตได้ดีกับสภาพของน้ำเสียของระบบ
6. ความต้องการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น	ควรมีระบบตกตะกอนขั้นต้นก่อนปล่อยลงบนพื้นที่และอาจเติมอากาศเล็กน้อยในน้ำเสียก่อนปล่อยเข้าบึงประดิษฐ์
7. ความลาดของพื้นที่	น้อยกว่า 5%
8. การเก็บเกี่ยวพืชน้ำ	ไม่จำเป็นต้องทำ
9. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำ	โดยทั่วไปควรมีมากกว่า 2 ต่อ 1 จึงจะสามารถกำจัดสารไนโตรเจนได้
10. ค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจน	เมื่อเป็นพืชที่จุ่มในน้ำจะมีปริมาณ 5 – 45 ก.ของ O_2./(ม.^{2}•วัน)
11. ระบบป้องกันน้ำท่วม	ควรมีระบบป้องกันน้ำท่วมสำหรับประดิษฐ์

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2543)

ในส่วนของ Metcalf&Eddy (1991) ได้เสนอแนะค่าที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิว

พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบ	**ค่าแนะนำ**	**หน่วย**
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	< 68	กก.บีโอดี/(เฮกเตอร์.วัน)
อัตราภาระทางชลศาสตร์	1.4 – 4.7	ซม./วัน
ระยะเวลาเก็บกัก	4-15	วัน
ค่าความพรุนของชั้นตัวลาง	0.3 – 0.45	-
ความลึกของน้ำ	0.3-0.8	เมตร
พื้นที่ผิวจำเพาะ	2.14-7.16	เฮกแตร์/(10^3xม.^{3}xวัน)

ที่มา : Metcalf&Eddy (1991)

ในส่วนของระบบแบบไหลใต้ผิวดิน ในแนวดิ่งมักเป็นชั้น โดยมีชั้นบนสุดเป็น ทรายหยาบหนา 8 ซม. กรวดขนาด 6 มม. หนา 15 ซม. กรวดขนาด 12 ซม. หนา 10 ซม. และชั้นล่างสุดใช้กรวดขนาด 30-60 ซม.หนา 15 ซม.(Metcalf&Eddy ,1991) ค่าความลึกของบ่อพิจารณาจากชนิดของพืชและความยาวของรากพืชดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ค่าความลึกของรากพืชแต่ละชนิด

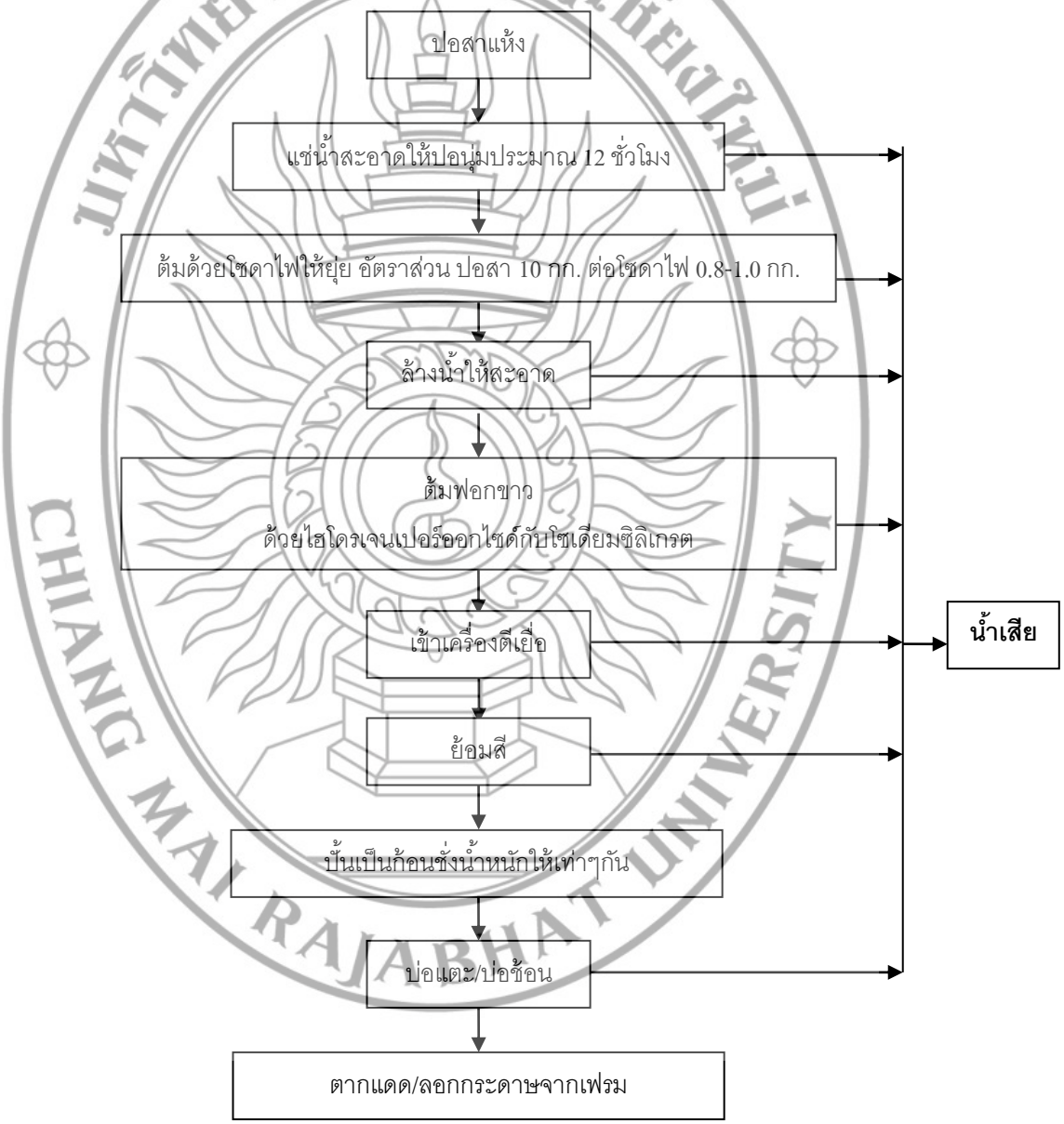
ชนิดพืช	**ความลึกของราก, ม.**
ธูปฤาษี	0.30
อ้อ	0.60
กกสามเหลี่ยม	0.80

ที่มา : Reed and Brown (1992)

2.2 ขั้นตอนการผลิตกระดาษสา และน้ำเสียจากการผลิต

2.2.1 ขั้นตอนการผลิต

การผลิตกระดาษสาในรูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือน จากการศึกษาของพัชราภรณ์ ฤทธิ์อินทรางกูล (2543) พบว่า มีขั้นตอนการผลิต และน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตกระดาษสาและน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต

ก) การคัดเลือกปอสา

ขนาดของกิ่งสาที่จะลอกเปลือกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 – 2 นิ้ว จะเป็นปอสาที่มีคุณภาพดีไม่แก่เกินไป และเมื่อแห้งแล้วจะต้องมีสีขาว ไม่มีเชื้อรา รวมถึงจะต้องไม่มีรอยไหม้สีดำเนื่องมาจากการลอกเปลือก ปอสาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะแบ่งเป็นหลายเกรด คือ เกรด SA , A , B , C และแบบคละเกรด ซึ่งจะแบ่งตามอายุ และคุณภาพของปอสา ถ้าปอสาที่ซื้อมาเป็นเกรด C หรือเป็นแบบคละเกรด ก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นกระดาษสาต้องนำมาตกแต่งคัดแยกปอสาตามอายุและคุณภาพเพราะถ้านำเอาปอสาคละเกรดมาต้มรวมกันจะทำให้สิ้นเปลืองสารเคมี และเชื้อเพลิงในการต้มมาก และจะได้กระดาษสาคุณภาพไม่ดี

ข) การแช่และการทำความสะอาดเปลือกสาในน้ำ

เมื่อได้ปอสาแห้งที่ต้องการแล้วนำไปแช่น้ำโดยใส่น้ำลงไปในถังหรือบ่อแช่ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนใส่เปลือกปอสาแห้งลงไปให้น้ำท่วมปอสาแห้ง ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง หรือ 1 คืน เพื่อให้เปลือกสาอ่อนตัวลง หลังจากนั้นนำมาทำความสะอาดโดยการใช้มีดบางๆ ขูดผิวส่วนที่เป็นสีดำหรือสีน้ำตาลออกและเก็บสิ่งสกปรกต่างๆ ออกให้หมด ก่อนจะนำไปต้มในขั้นตอนต่อไป

ค) การต้มเยื่อปอสา

นำเปลือกปอสาที่แช่ให้อ่อนตัวแล้วมาทำการต้ม เพื่อให้เปลือกสานิ่ม และเยื่อแยกตัวได้ดีก่อน นำไปทุบ การต้มในปัจจุบันใช้โซดาไฟ เป็นวิธีที่สะดวก และประหยัดเวลาทั้งยังให้ผลแน่นอนกว่าใช้ขี้เถ้า(วิธีการต้มในอดีต) เนื่องจากควบคุมปริมาณด่างได้ตามต้องการ แต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีต้มด้วยขี้เถ้าเล็กน้อย วิธีการต้ม นำปอสามาต้มโดยใช้หม้อต้มที่มีฝาปิดได้เพื่อจะกักเก็บความร้อน เมื่อเดือดแล้วเติมโซดาไฟลงไปในอัตราปอสาแห้ง 1 กิโลกรัมต่อโซดาไฟ 100 กรัม น้ำปริมาณ 200 ลิตร หรือให้ท่วมปอสา การต้มใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ในการต้มจะต้องรักษาความร้อนให้สม่ำเสมอคอยดูเชื้อเพลิงที่ต้มตลอดเวลา เพราะถ้าต้มโดยปล่อยทิ้งไว้ อาจจะทำให้ปอสาไม่เปื่อยได้ เปลือกปอสาที่ต้มเปื่อยแล้วจะไม่ล้างน้ำทันทีเพราะจะทำให้เส้นใยของปอสาแข็งกระด้างต้องรอให้ปอสาเย็นลงก่อน จึงนำไปล้างน้ำสะอาดเพื่อกำจัดเศษผง หรือโซดาไฟ ออกก่อนนำไปทุบ โดยการล้างจะต้องล้างจนกระทั่งจับปอสาแล้วไม่รู้สึกลื่นมือ

ง) การฟอกสีหรือการฟอกขาว

เปลือกสาที่ต้มแล้ว โดยทั่วไปจะนำไปทุบเยื่อเลย แต่มีผู้ผลิตบางรายจะทำการฟอกสีเยื่อปอสาเสียก่อนที่จะนำไปทุบ เพื่อให้ได้กระดาษที่ขาวกว่าสีของเยื่อปอสาตามธรรมชาติซึ่งการฟอกขาวมี 2 วิธี ดังนี้คือ

ง.1) การฟอกขาวด้วยผงฟอกขาว (คลอรีน) การฟอกขาวด้วยคลอรีนจะต้องใส่เยื่อปอสาลงในภาชนะที่ไม่ใช่โลหะ เพราะคลอรีนจะกัดกร่อนภาชนะที่เป็นโลหะ ให้ละลายผงคลอรีน

ในอัตราส่วนคลอรีน 100 กรัม ต่อปอสาแห้ง 1 กิโลกรัม ในภาชนะต่างหาก แล้วจึงเทลงไปในภาชนะที่ใส่เยื่อปอสา การฟอกจะทำให้เยื่อปอสาขาวขึ้น ควรทำกลางแสงแดด เพราะความร้อนของแสงแดดจะทำให้เยื่อสาขาวได้ดีและเร็ว และระหว่างการฟอกขาวนี้ต้องพลิกปอสาขึ้นลงเพื่อจะได้ความขาวสม่ำเสมอ เมื่อดูว่าเยื่อสามีความขาวโดยทั่วกันแล้วจึงนำไปล้างน้ำสะอาด (ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมแล้ว)

ง.2) การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับ โซเดียมซิลิเกต วิธีนี้ต้องต้มน้ำให้ได้อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ปอสาแห้ง 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร ใช้โซเดียมซิลิเกรด 40-50 กรัม และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ประมาณ 80-100 กรัม ใช้เวลาในการต้มประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น นำมาล้างน้ำให้สะอาดเพื่อนำไปทุบหรือเข้าเครื่องเยื่อตีต่อไป (ใช้อยู่ในปัจจุบัน) การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ โซเดียมซิลิเกต มีข้อดีกว่าการฟอกขาวสารคลอรีนคือ ฟอกได้ขาวกว่า กระดาษสาที่ได้ไม่แข็งกระด้าง ไม่เป็นอันตรายกับผู้ฟอก

จ) การทุบหรือตีเยื่อ

เยื่อปอสาซึ่งผ่านการต้มให้ยุ่ยและทำความสะอาดแล้วจะถูกนำมาตีหรือทุบเยื่อเพื่อให้เยื่อปอสาแตกละเอียดสม่ำเสมอ สำหรับนำไปทำแผ่นกระดาษต่อไป การทุบเยื่อสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

จ.1) การทุบด้วยมือ โดยนำเยื่อวางบนท่อนไม้แล้วทุบด้วยฆ้อนไม้ 2 มือสลับกัน การทุบนี้จะทำให้เยื่อสาไม่แตกละเอียดจนเกินไป ซึ่งเมื่อนำไปทำเป็นแผ่นกระดาษจะมีความเหนียว วิธีนี้ปัจจุบัน ไม่เป็นที่นิยม เพราะเสียเวลามาก

จ.2) ทุบด้วยเครื่องตีเยื่อ โดยใช้เครื่องตีเยื่อ ซึ่งเครื่องนี้สามารถทำให้เยื่อปอสาแตกละเอียดได้อย่างรวดเร็วกว่าการทุบด้วยมือมาก ปอสาที่ได้จากการตีด้วยเครื่องจะแหลกละเอียดสม่ำเสมอ เมื่อนำไปทำแผ่นกระดาษก็จะได้กระดาษที่มีความหนาสม่ำเสมอ แต่การประสานตัวของเส้นใยจะไม่เหนียวท่ากับการทุบด้วยมือ จึงเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษสาเพราะประหยัดเวลาแต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูง

ฉ) การย้อมสีเยื่อกระดาษสา

ในการย้อมสีเยื่อปอสาจะทำการย้อม โดยเติมสีที่ต้องการลงไปขณะทำการโม่ปอสาในเครื่องตีเยื่อ ซึ่งจะทำให้แผ่นกระดาษสาที่ได้มีสีสม่ำเสมอกันทุกแผ่น สำหรับปริมาณสีที่ใช้ในการย้อมจะมีปริมาณไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า

ช) การทำแผ่นกระดาษสา

เยื่อปอสาที่ผ่านการทุบด้วยมือ หรือเครื่องตีเยื่อจนแตกละเอียดดีแล้ว สามารถนำมาทำเป็นแผ่นกระดาษได้ 2 วิธี คือ

ช.1) การตักช้อน โดยการนำเยื่อที่ทุบแล้วมาละลายลงในบ่อน้ำ ที่เตรียมไว้ใช้ไม้กวนเพื่อให้เยื่อกระจายตัวสม่ำเสมอแล้วใช้ตะแกรงซึ่งอาจเป็นได้ทั้งตะแกรงไนลอนและตะแกรงมุ้งลวดตักช้อนเยื่อปอสาในบ่อขึ้นมา การตักช้อนนี้ถ้าเป็นตะแกรงขนาดเล็ก สามารถตักคนเดียวได้ แต่ถ้าตะแกรงสำหรับผลิตกระดาษขนาดใหญ่ จะต้องใช้แรงงาน 2 คน ช่วยกันความหนาบางของกระดาษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเยื่อปอสาที่ละลายอยู่ในบ่อ และความชำนาญของผู้ตักช้อน โดยทั่วไปกระดาษแผ่นเล็กจะมีน้ำหนักประมาณ 2 กรัม นำเอากระดาษที่ช้อนได้ไปตากแดดทั้งตะแกรงจนแห้งใช้เวลาประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง (ระยะเวลาขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดดในวันนั้นๆ)

ช.2) การแตะ โดยการนำเยื่อปอสาที่ทุบชั่งน้ำหนักให้เท่ากันตามต้องการ ปั้นเป็นก้อนกลม นำแต่ละก้อนละลายน้ำในตะแกรงซึ่งวางในกระบะน้ำตื้น ใช้มือเกลี่ยแตะให้เยื่อกระจายออกไปทั่วตะแกรงอย่างสม่ำเสมอแล้วยกขึ้นวางผึ่งให้สะเด็ดน้ำก่อนไปตากแดดให้แห้ง ความหนาของกระดาษแต่ละแผ่นกำหนดจากน้ำหนักของก้อนปอสา หากต้องการทำกระดาษแบบแตะหน้าเรียบ ต้องรอให้กระดาษตากจนหมาด แล้วใช้ชามกระเบื้องถูให้กระดาษเรียบ

2.2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตเยื่อกระดาษสาในขั้นตอนต่าง ๆ โดยไม่รวมการทำแผ่นกระดาษสาโดยลักษณะของน้ำเสียของการผลิตกระดาษสาจากการสำรวจในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษสาแห่งหนึ่งได้ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ลักษณะน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา

จุดปล่อยน้ำเสีย	พีเอช	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)	Lignin (mg/l)	อัตราการไหล ($ม^3$/วัน)
อ่างแช่ปอสา	4.53	4,795	7,586	216	450	63	10,300	9.6
อ่างต้มปอสา	11.61	14,394	31,148	1,848	1,053	71	50,533	7.2
อ่างล้างปอสาหลังต้ม	7.45	785	681	27	73	2	290	29.6
อ่างฟอกขาว	7.5	-	1844	345	-	-	1.71	8.8
อ่างล้างเยื่อ	7.35	-	187	545	-	-	-	8.8
อ่างตีเยื่อ	7.45	-	269	218	-	-	-	8.8
อ่างย้อมเยื่อ	8.08	-	385	278	-	-	-	24

ที่มา : ชวลิต กิติกาญจน์ และณภัทร จักรวัฒนา (2542)

2.3 ขั้นตอนการผลิตกระดาษสาของผู้ประกอบการที่ทำการศึกษา

การแปรรูปเปลือกปอสาส่วนใหญ่เป็นการทำกระดาษสาด้วยมือ มีขั้นตอนหลัก 4 ขั้น คือ ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การคัดเลือกวัตถุดิบ การตัด การแช่น้ำ การต้ม และการล้าง ขั้นที่ 2 การทำให้เป็นเยื่อ ขั้นที่ 3 การทำเป็นแผ่นกระดาษ ขั้นที่ 4 การลอกแผ่นกระดาษและตกแต่งเพิ่มเติม

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

คัดเลือกเปลือกปอสาที่อ่อนและแก่แยกจากกัน นำไปแช่น้ำประมาณ 3 ชั่วโมงขึ้นไป แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง การแช่น้ำจะช่วยให้เปลือกปอสาอ่อนตัว จากนั้นนำไปใส่ภาชนะต้มใส่โซดาไฟหรือน้ำด่างจากขี้เถ้า เพื่อช่วยให้โครงสร้างของเปลือกปอสาเปื่อยและแยกจากกันเร็วขึ้น ถ้าต้มปอสาอ่อนใช้โซดาไฟน้อย ต้มเปลือกแก่ ต้องใช้มากขึ้น การต้มแต่ละครั้งใช้โซดาไฟประมาณ 2 กิโลกรัม/เปลือกปอสา 25 กิโลกรัม ถ้าใช้มากไปจะทำให้เยื่อถูกทำลายมากในระหว่างต้ม ต้มนานประมาณ 2-3 ชั่วโมง เมื่อต้มเสร็จแล้วนำปอสาล้างน้ำจนหมดด่าง จากนั้นเมื่อล้างด่างออกแล้ว นำไปฟอกเพื่อให้ได้เยื่อสาเป็นสีขาว ซึ่งในการฟอกขาวนั้นจะใส่ไฮโดรเจน 2 กิโลกรัมต่อเปลือกปอสา 25 กิโลกรัม และกาวซิลิเกตประมาณ 1.5 กิโลกรัมต่อเปลือกปอสา 25 กิโลกรัม การใส่กาวซิลิเกตเพื่อป้องกันการตรึงให้ไฮโดรเจนไม่ให้ระเหยเร็ว การฟอกขาวใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.5 จากนั้นเมื่อฟอกขาวเสร็จแล้วนำออกมาแช่ในถังน้ำเพื่อล้างน้ำจนหมดกลิ่นน้ำยา ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.5 การเตรียมเปลือก การต้มปอสา และการฟอกขาว

รูปที่ 2.6 เยื่อสาที่ผ่านการฟอกแล้ว

ขั้นที่ 2 การทำให้เป็นเยื่อ

การทำให้เป็นเยื่อนั้นโดยใช้เครื่องปั่นเยื่อสาใช้เวลาประมาณ 30 นาที โดยการปั่นแต่ละครั้งต้องใส่เพลาหรือเศษกระดาษสาประมาณ 5 กิโลกรัมต่อเปลือกสา 10กิโลกรัม ซึ่งการใส่เพลาหรือเศษกระดาษสาเพื่อช่วยดูดซับสีให้สดและติดเยื่อสาได้อย่างทั่วถึง จากนั้นพอปั่นสาได้ละเอียดแล้วใส่สีตามความต้องการจากนั้นนำเยื่อเตรียมไว้สำหรับทำแผ่นกระดาษดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 การปั่นสาโดยเครื่องปั่นสาให้เป็นเยื่อสา

ขั้นที่ 3 การทำเป็นแผ่นกระดาษ

การทำเยื่อสาให้เป็นกระดาษสาได้นั้น ต้องนำเยื่อสามาปั้นเป็นลูกทรงกลมก่อนนำไปชั่งน้ำหนักโดยให้มีขนาด ลูกละ 2.5 กรัม ดังรูปที่2.9 เพื่อเป็นตัวกำหนดความหนาของแผ่นกระดาษ จากนั้นนำไปแตะ มักใช้ตะแกรงที่ทำจากผ้าใยบัวหรือผ้ามุ้ง ซึ่งมีเนื้อละเอียด นำเยื่อใส่ในอ่างน้ำใช้มือแตะเกลี่ยกระจายเยื่อบนแม่พิมพ์ให้สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 การปั้น และการแตะกระดาษสา

ขั้นที่ 4 การทำแผ่นกระดาษและตกแต่งเพิ่มเติม

นำตะแกรงไปตากแดดประมาณ 1-3 ชั่วโมง กระดาษสาจะแห้งติดกันเป็นแผ่น จึงลอกกระดาษสาออกจากแม่พิมพ์ เปลือกปอสาหนัก 25 กก. สามารถทำกระดาษสาได้ประมาณ 150 แผ่น ดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 การทำแผ่นกระดาษสา

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธาริณี วัฒนเดชาชาญ (2544) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน ปลูกต้นธูปฤษีในตัวกลางทราย ใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีแดง(C.I. Reactive Red 180) ความเข้มข้น 100 มก./ล. ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์1.5, 2.1 และ3.5 ซม/วัน (ระยะเวลาเก็บกัก 3,5,7 วัน) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีย้อมคือที่อัตราส่วนสีย้อมต่อน้ำตาล 1:5 ที่เวลาเก็บกัก 5 วัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 82, 83, 99 และ 98 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกัก และอัตราส่วนสารอาหารประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำระบบดังกล่าวมาทำการทดลองกับน้ำเสียจริง ซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเข้าเท่ากับ 481 มก./ล. และมีความเข้มสีเท่ากับ 72 เอสยู พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด สี ซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และทีเคเอ็น ได้ร้อยละ 65, 82, 58 และ 72 ตามลำดับ ซึ่งการกำจัดสีส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ระยะทาง 1 เมตร

ประนัดดา เจริญราช (2548) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมไหมโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ บำบัดน้ำทิ้งแบบ Batch Reactor ปลูกต้นกกกลม พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซีโอดี และสี ร้อยละ 95.20, 74.18 และ 72.50 ตามลำดับ

Davies et al.(2005) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบที่มีการไหลในแนวดิ่ง ตัวกลางSandy-clay soil ปลูกต้นอ้อ ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 12.8 ซม./วัน สูบน้ำเสียแบบครั้งคราว ซีโอดีน้ำเข้า 224-863 มก./ล. พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี และทีโอซี เท่ากับร้อยละ 74, 64 และ71 ตามลำดับ

Puetpaiboon (2003) ได้ทำการศึกษา การใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอบ/รมยาง น้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควันมีสารอินทรีย์ในปริมาณสูงโดยทดลองบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราภาระบรรทุกซีโอดี ต่างกัน คือ 750, 1,000, 1,250, และ 1,500 กิโลกรัมซีโอดี/(แฮคแตร์·วัน) ระบบบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อประกอบด้วยบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง และตามด้วยบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน โดยปลูกต้นธูปฤาษี จากการทดลอง พบว่า มีเพียงบึงประดิษฐ์แบบไหลในแนวดิ่งที่อัตราภาระบรรทุก 750 และ 1,000 กิโลกรัมซีโอดี/(แฮคแตร์ ·วัน) และบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดินที่อัตราภาระบรรทุก 750 กิโลกรัมซีโอดี/(แฮคแตร์·วัน) เท่านั้นที่น้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วได้มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ทุกตัวแปร หากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5, COD, SS, TKN, และ NH_3-N สูงกว่า 90% สำหรับ TP ซัลเฟต และ TDS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่า 50%นอกจากนี้ ยังพบว่า บึงประดิษฐ์แบบไหลในแนวดิ่งกำจัด BOD_5, COD, SS ซัลเฟต และ TDS ได้ดี ส่วนบึง

ประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน กำจัด TKN, NH_3-Nและ TP ได้ดีกว่า ในการประเมินราคาโดยเปรียบเทียบกันระหว่างระบบบำบัดแบบสระเติมอากาศและบึงประดิษฐ์แบบไหลในแนวดิ่งที่อัตราภาระบรรทุก 1,000 กิโลกรัมซีโอดี/(แฮคแตร์·วัน) พบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ใช้ค่าก่อสร้างและพื้นที่มากกว่าสระเติมอากาศโดยส่วนใหญ่จะเป็นค่าวัสดุตัวกลางที่ใช้ในบึงประดิษฐ์ แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในระยะยาว ในแง่ของค่าใช้จ่ายรายเดือน การเดินระบบที่ง่ายกว่า การลดปัญหาการเรื่องกลิ่น และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ระบบบึงประดิษฐ์ก็คุ้มค่าแก่การพิจารณาลงทุน

พิรัฐพล ตนานนท์ (2544) ได้ศึกษาถึงการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมัน โดยปลูกต้นธูปฤาษี(*Typha Angustifolia*)ในชั้นตัวกลางดินปนทราย และ เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำเสีย เข้าระบบและอัตราการไหลที่ค่าต่างๆ โดยใช้แบบจำลองบึงประดิษฐ์ขนาดห้องทดลองจำนวน 6 ชุดการทดลอง การทดลองนี้ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นน้ำมันในน้ำดิบ 3 ค่า คือ 5,10 และ 25 มก./ล. และปรับเปลี่ยนภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 4 ค่าคือ 1.5, 3, 6 และ 8 ซม./วัน จากผลการทดลอง พบว่า ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน สามารถใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองมาแล้ว โดยมี ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น ทีโอซี และซีโอดีได้ เท่ากับ 86.5,61.7,31.9,28.9 และ 64.1% ตามลำดับ เมื่อน้ำเสียเข้าระบบ มีค่าน้ำมันประมาณ 5 มก./ล. และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3 ซม./วัน นอกจากนี้ ยังพบว่าระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ สูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ น้ำมันในน้ำเสีย และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ ซึ่งภาระน้ำมันสูงสุดในการทดลองนี้ ที่ระบบสามารถกำจัดน้ำมันให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งคือ 149 มก./วัน ที่ค่าน้ำมันในน้ำเสีย เข้าระบบประมาณ 10 มก./ล. และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 6 ซม./วัน ซึ่งระบบ มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมัน ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น ทีโอซี และซีโอดีได้ เท่ากับ 92.2, 81.9, 84.1, 51.6 และ 68.7 % ตามลำดับ

Tjasa,Danijel and Vlasta (1997) ได้ศึกษา การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินขนาด 450 ตร.ม. และปลูกต้นอ้อ น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ทำการทดลองมีความเข้มข้นของซีโอดี 1,240 มก./ล. บีโอดี 60 มก./ล. แอมโมเนียไนโตรเจน 88 มก./ล. ของแข็งแขวนลอย 400 มล./ล. และเหล็ก 10 มล./ล. ป้อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3 ซม./วัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 68 % บีโอดี 46 % แอมโมเนียไนโตรเจน 81 %