

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น (Constructed Wetlands)

พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น (USEPA, 2000) คือ พื้นที่ชุ่มน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อเลียนแบบธรรมชาติ โดยมีจุดประสงค์เพื่อการบำบัดน้ำเสียหลายประเภท ประกอบด้วย น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากเกษตรกรรม คำว่าพื้นที่ชุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ซึ่งมีน้ำขัง อิ่มตัวไม่ลึกนัก และมีพืชน้ำออกงาม ระบบนิเวศวิทยาเป็นไปตามธรรมชาติ พื้นที่ชุ่มน้ำมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชีวเคมี โดยอาศัยพืชทั้งที่เป็นชนิดจมน้ำ และไหลเหนือน้ำ จุลินทรีย์ และดินเป็นตัวบำบัด พืชที่อยู่ในบ่อช่วยเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ และช่วยในการดูดซับมลสารในน้ำเสีย (Metcalf and Eddy,1991) การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียนั้นส่วนใหญ่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว คือ การบำบัดน้ำเสียในขั้นที่สองหรือสูงกว่าดังแสดงใน รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย มีหลักการเหมือนกันกับพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ แต่แตกต่างกันตรงที่พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น สามารถควบคุมอัตราการไหล และระดับน้ำให้คงที่ได้ พร้อมทั้งยังสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้มากขึ้น และข้อได้เปรียบของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำสร้างขึ้น คือ สถานที่ตั้งซึ่งมีความยืดหยุ่นที่ว่าตั้งอยู่ที่ใด หรือมีขนาดใดก็ได้ โดยอาศัยเกณฑ์การออกแบบต่างๆ (Bastain , Shanaghan and Thompson,1989.อ้างถึงใน Kadlec and Knight,1996) พร้อมทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและดูแลรักษาต่ำ และยังช่วยลดการใช้พลังงานลงได้โดยเฉพาะกระแสไฟฟ้าในการเติมอากาศระบบบำบัด

### 2.1.1 ประเภทของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียมี 2 แบบ ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกัน แต่มีข้อแตกต่างกันตรงรูปแบบของการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำแบบแรก คือ ระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน หรือ Free Water Surface (FWS) หรือ Surface Flow Wetlands มีลักษณะและการทำงานเหมือนพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติประกอบด้วย พืชน้ำหลายชนิด น้ำเสียไหลผ่านผิวดินหรือตัวกลางไหลซึมลงสู่พื้นบ่อ โดยที่น้ำเสียสัมผัสกับอากาศโดยตรง ระดับน้ำประมาณ 0.1 ถึง 2.0 เมตร พืชน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบนี้มีส่วนทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ และเป็นที่ยึดเกาะของพอกจุลินทรีย์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น (Reed, Crites and Middlebrooks, 1995) รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน



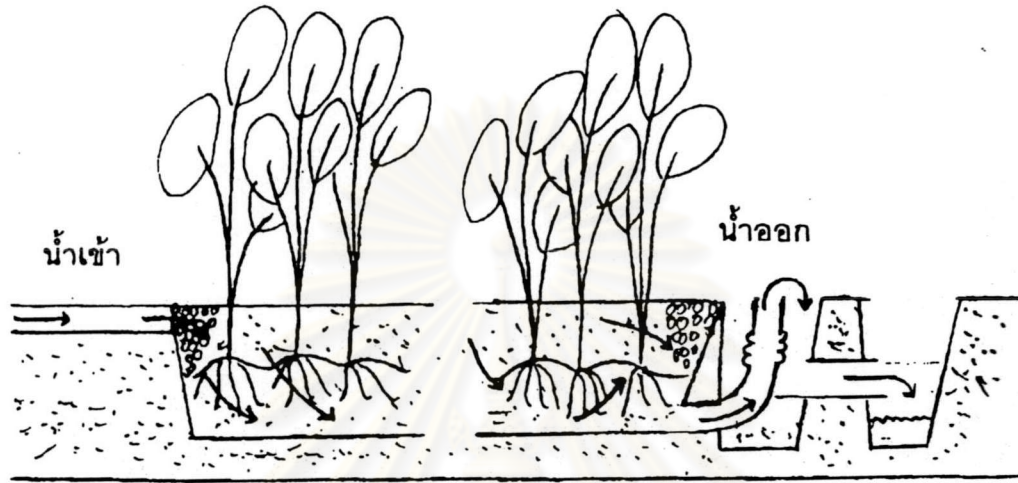
รูปที่ 2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน

(ดัดแปลงจาก Reed, Crites and Middlebrooks, 1995)

พื้นที่ชุ่มน้ำแบบที่สอง คือ แบบไหลผ่านใต้ผิวดินหรือ Subsurface Flow Wetlands (SFW) มีลักษณะไม่เหมือนพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ เนื่องจากไม่มีระดับน้ำสัมผัสกับอากาศโดยตรง เป็นการบำบัดโดยผ่านน้ำเสียลงไปในพื้นที่ตัวกลาง ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกหิน กรวดขนาดใหญ่ หินขนาดเล็ก หวาย หรือดินซึ่งปลูกพืชน้ำขึ้นตัวกลาง โดยรากของพืชเจริญในช่องว่างระหว่างตัวกลาง ชนิดของตัวกลางอาจมีเพียงชนิดเดียวหรือใช้หลายชนิดรวมกัน ระดับของตัวกลาง (media) โดยทั่วไปจะมีระดับความลึกประมาณ 0.3 ถึง 0.6 เมตร น้ำเสีย



ถูกบำบัดภายใต้ตัวกลางระหว่างสัมผัสกับผิวดินของตัวกลาง และรากของพืช รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน



รูปที่ 2.3 พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ระบบน้ำไหลใต้ดิน

(ดัดแปลงจาก Reed , Crites and Middlebrooks, 1995)

การทำงานพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขบวนการบำบัดขั้นต้น ความเข้มข้นของน้ำเข้า อัตราการไหล ชนิดและขนาดของพื้นที่ชุ่มน้ำ มลพิษในพื้นที่ชุ่มน้ำ ถูกบำบัด โดยการรวมกันของกระบวนการทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี รวมถึงการดูดซับของพืช กระบวนการเปลี่ยนแปลงของพวกจุลินทรีย์ ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ และประสบความสำเร็จสูงสุดนั้น ควรต้องผ่านการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นมาก่อน เพื่อลดความเข้มข้นของสารมลพิษต่างๆ เนื่องจากน้ำเสียนั้นอาจมีความเข้มข้นของมลพิษต่างๆ สูง จนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบ ทำให้ระบบไม่ประสบความสำเร็จในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยการบำบัดขั้นต้น เช่น ผ่านบ่อพัก (settling lagoon) เพื่อลดประมาณสารแขวนลอย บ่อตะกอนเร่ง (activated sludge) หรือด้วยวิธีการอื่นๆ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบ ทางเลือกการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำ  
3 แบบ

ประเภทของพื้นที่ชุ่มน้ำ	วิธีการบำบัดขั้นต้น
พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน	น้ำเสียชุมชน , น้ำเสียเกษตรกรรม และน้ำเสียอุตสาหกรรม : ควรเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว เช่น ผ่านบ่อบำบัด (lagoons) , ผ่านบ่อเติมอากาศ หรือ บ่อบึง
พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านตัวกลาง	น้ำเสียชุมชน , น้ำเสียเกษตรกรรม และน้ำเสียอุตสาหกรรม : ควรเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว ควรผ่านบ่อบำบัด เพื่อให้ตกตะกอน เพื่อป้องกันตะกอนสูงจนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบควบคุมน้ำออก
พื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ	น้ำเสียชุมชน,น้ำเสียเกษตรกรรม และน้ำเสียอุตสาหกรรม: ในกรณีต้องการลดปริมาณแอมโมเนีย , ฟอสฟอรัส , และโลหะหนัก ที่มีความเข้มข้นสูงจำเป็นต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อนเช่นกัน

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Kadlec and Knight, 1996

## 2.1.2 องค์ประกอบที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

### 2.1.2.1 ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Soils)

ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นแหล่งสำคัญของการสะสมส่วนประกอบของพื้นที่ชุ่มน้ำ ทั้งที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต ช่วยให้มีการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ ทั้งพืชและจุลินทรีย์จะทำหน้าที่เป็นที่ดูดซับ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการรักษาคุณภาพของน้ำ ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำจึงต้องมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และจุลินทรีย์

ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ ดินซึ่งหากไม่มีการระบายหรือปล่อยน้ำออกแล้ว ดินก็จะอิ่มน้ำ หรือมีน้ำท่วม ซึ่งสภาวะดังกล่าวเกิดขึ้นนานพอที่จะทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน (แอนแอโรบิก) ทำให้พืชที่เจริญเติบโตบนดินชนิดนี้เป็นพืชน้ำ (U.S. Soil Conservation Service, 1987) การรบกวนของส่วนของต้นไม้ หรือสารอินทรีย์ที่ตายแล้ว ในพื้นที่ชุ่มน้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้ระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ดินอินทรีย์ (organic soils) และดินแร่ธาตุ (mineral soils)



การเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินอินทรีย์และดินแร่ธาตุได้แสดงในตารางที่ 2.2 ดินอินทรีย์จะมีความหนาแน่นต่ำกว่า และมีปริมาตรของน้ำที่สามารถอุ้มน้ำได้สูงกว่าดินแร่ธาตุ แต่แม้ว่าจะอุ้มน้ำได้มากกว่าดินอินทรีย์ไม่ค่อยทำให้น้ำไหลผ่านได้ดีนักจึงสามารถที่จะปิดกั้นพื้นที่ชุ่มน้ำ ทำให้น้ำถูกกักเก็บไว้ในพื้นที่ชุ่มน้ำได้นานขึ้น นอกจากนี้ ดินอินทรีย์มักจะมีสารอาหารสำหรับพืชน้อยกว่าดินแร่ธาตุ และมีความสามารถน้อยกว่า ในการสะสมประจุบวก และประจุลบของอนุภาคในน้ำเสีย บนผิวหน้าของดินอาจมีการแผ่ของรากต้นไม้มีลักษณะเป็นผืน และมีส่วนของต้นไม้ได้แก่ ใบไม้ ลำต้น และแม้แต่ว่าที่ร่วงหล่นอยู่ เรียกว่าเป็น litter หรือ detrital layer ซึ่งไม่ใช่ดิน แต่ต่อไปจะกลายเป็นส่วนของดินได้ (รูปที่ 2.4)

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบดินแร่ธาตุ กับดินอินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำ

	ดินแร่ธาตุ	ดินอินทรีย์
ปริมาณสารอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)	น้อยกว่า 20-35	มากกว่า 20-35
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)	น้อยกว่า 12-20	มากกว่า 12-20
ความเป็นกรด-ด่าง	กลาง	กรด
ความหนาแน่น	สูง	ต่ำ
ความพรุนของดิน	ต่ำ ประมาณ 45-55	สูงประมาณ 80
ความสามารถซึมผ่านของน้ำ	เปอร์เซ็นต์ สูง ยกเว้นดินเหนียว	เปอร์เซ็นต์ ต่ำ ถึง สูง
ความสามารถในการอุ้มน้ำ	ต่ำ	สูง
ปริมาณสารอาหารที่ใช้ได้	โดยทั่วไปมีปริมาณสูง	โดยทั่วไปมีปริมาณต่ำ
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	ต่ำ	สูง
ชนิดของพื้นที่ชุ่มน้ำ	หนอง , บึง	บึง

ที่มา : Kadlec and Knight 1996

ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ ๆ บนดินแร่ธาตุจะประกอบด้วยพืชที่กำลังมีการเจริญเติบโต จึงไม่มีการร่วงหล่นของใบ หรือลำต้นลงสู่ก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังนั้นในชั้นของตะกอน และดินจะมีสภาวะเป็นแอนแอโรบิกปานกลาง เนื่องจากแบคทีเรียมีการย่อยสลายออร์แกนิกคาร์บอนปริมาณไม่มาก แต่เมื่อพื้นที่ชุ่มน้ำมีการเจริญเติบโตของพืชเต็มที่แล้ว และมีการร่วงหล่นส่วนของพืช หรือพืชตาย ก็จะมาทับถมเหนือชั้นตะกอน แบคทีเรียจะต้องทำหน้าที่ย่อยสลาย

เศษพืชเหล่านี้เพิ่มขึ้น ศักยภาพของปฏิกิริยา oxidation – reduction จะลดต่ำลงเนื่องจากเกิดสภาวะแอนแอโรบิก ดังนั้นในพืชที่ชุ่มน้ำที่ถูกสร้างขึ้นเป็นระยะเวลานานดินส่วนบนจะเป็นดินอินทรีย์ โดยเฉพาะเมื่อสารอินทรีย์มีอัตราของการเกิดสูงกว่าอัตราของการย่อยสลาย ซึ่งภาวะดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นในที่ซึ่งมีระดับออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ต่ำ ระดับสารอาหารต่ำแต่มีพืช และหรือสาหร่ายที่มีอัตราการจับคาร์บอนสูง อาจแบ่งชนิดของดินอินทรีย์ออกได้ตามระดับของการย่อยสลายดินอินทรีย์ ดินอินทรีย์ซึ่งมีปริมาณของเส้นใยของพืช ถูกย่อยสลายไปประมาณหนึ่งในสาม เรียกว่า peat

คุณสมบัติทางเคมีของดิน ประกอบด้วย ก) ความสามารถในการแลกเปลี่ยน cation ทำให้สามารถจับส่วนประกอบทางเคมีได้สูง ปฏิกิริยาการดูดซับ (sorption) ข) ปฏิกิริยา oxidation-reduction เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของโปรตอน และอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุล เป็นผลให้เกิดโมเลกุลซึ่งมีความแตกต่างกัน สองแบบ คือ แบบที่ถูก oxidize และแบบที่ถูก reduce ศักยภาพของการเกิดปฏิกิริยา oxidation-reduction จะลดลงตามความลึกของชั้นตะกอน ค) pH หรือ อีออนไฮโดรเจน ก่อนที่จะมีน้ำท่วม pH ของดินจะมีค่าระหว่าง 3 ถึง 10 ภายหลังจากน้ำท่วมแล้ว pH จะลดลงในตอนแรกเนื่องจากการย่อยสลายแบบแอนโรบิก ซึ่งจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ค่า pH จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงแต่จะมีแนวโน้มที่จะเป็นกลาง คือมี pH 6.7 ถึง 7.2 ดินอาจได้รับผลกระทบจากสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้แก่ (Kadlec and Knight, 1996)

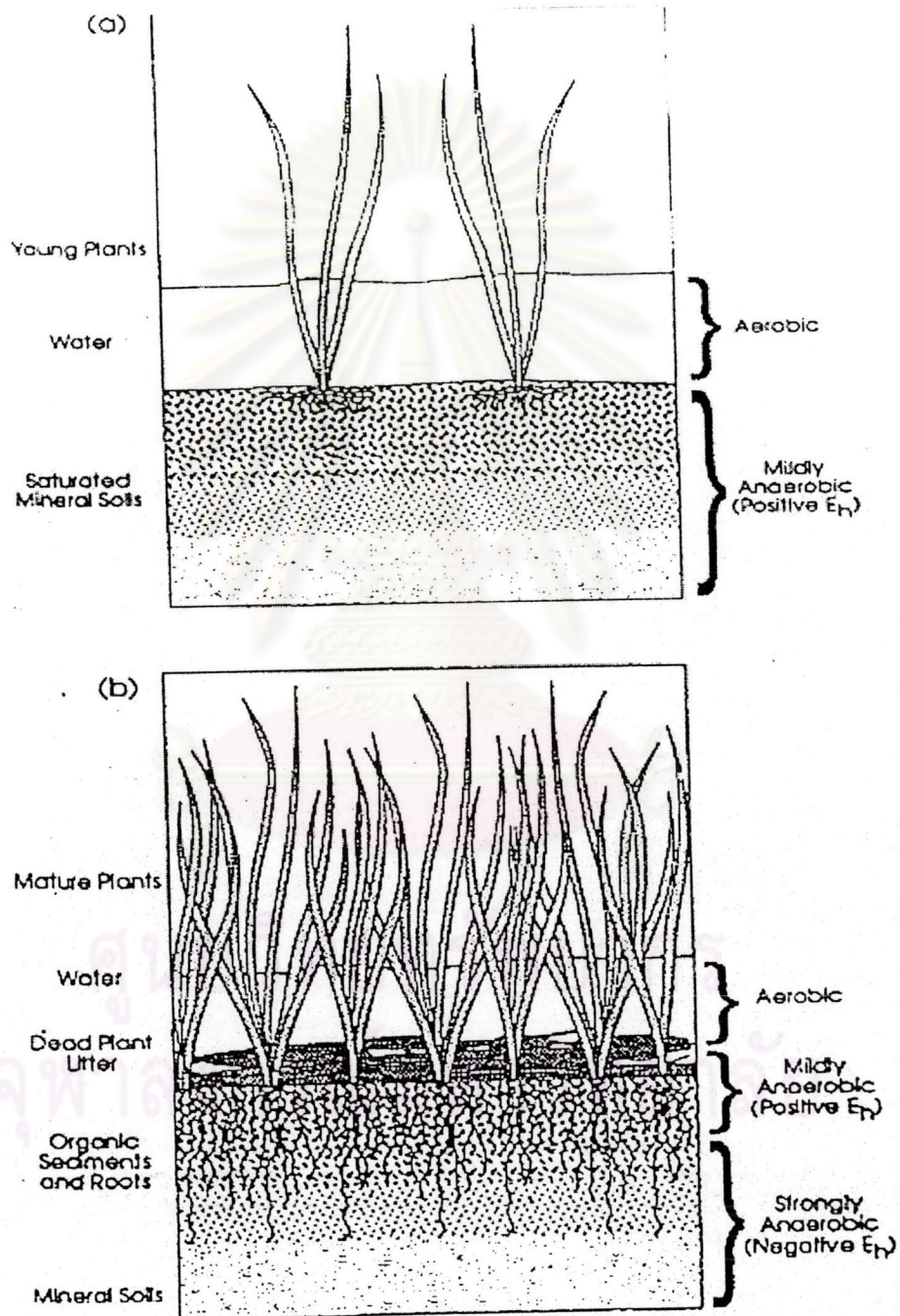
ก) จุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดิน ขบวนการทางเคมีดังกล่าว ได้แก่ ขบวนการแปรสภาพของไนโตรเจน เหล็ก ซัลเฟอร์ และคาร์บอน ปัจจัยที่มีผลต่อขบวนการเหล่านี้ ได้แก่ ศักยภาพของการเกิดปฏิกิริยา oxidation-reduction และค่า pH ของดิน

ข) พืชและสาหร่าย การสะสมของสารอินทรีย์อาจเกิดขึ้นโดยตรงหรือโดยอ้อม จากการจับคาร์บอนของพืชจากบรรยากาศ ส่วนของพืช และเซลล์สาหร่ายที่ตายแล้วเป็นแหล่งของออร์แกนิกคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส บนชั้นของดิน ในรูปของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน โปรตีน และฟอสโฟลิปิด (Reddy and D'Angelo, 1994) กรณีที่พื้นที่ชุ่มน้ำมีสารอาหารน้อย หรืออยู่ในสภาวะแอนโรบิก อาจจะไม่มีการสะสมของสารอินทรีย์ก็ได้

พืชยังสามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน การไหลของน้ำ และคุณสมบัติทางเคมีได้โดยการเจริญเติบโตของราก และการเกิดลำต้นใต้ดิน ลำต้นใต้ดินนี้จะเกิดขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการ diffusion ของก๊าซระหว่างรากและชั้นตะกอนของดิน



นอกจากลักษณะทางกายภาพของดินซึ่งมีความสำคัญแล้ว ความสามารถของดินในการกำจัดหรือเคลื่อนย้ายสารต่างๆ ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับประจุของดิน ซึ่งกระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การตกตะกอน (precipitation) และ การเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) (Crites, 1992)



รูปที่ 2.4 ระยะเวลาต่างๆของการเกิดดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา : Kadlec and Knight, 1996

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่า รูป(a) เป็นระยะที่มีการปลูกพืชใหม่ๆ บนดินแร่ธาตุซึ่งมีออร์แกนิกคาร์บอนต่ำ และมีสภาวะแอนแอโรบิกไม่มาก เนื่องจากแบคทีเรียมีการย่อยสลายออร์แกนิกคาร์บอนปริมาณต่ำ รูป(b) ดินที่มีอายุแล้วมีการย่อยสลายชั้นของ litter และชั้นของตะกอน อัตราการหายใจของจุลินทรีย์สูง ทำให้ศักยภาพของปฏิกิริยา reduction oxidation ต่ำ

### 2.1.2.2 อุทกวิทยาในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Hydrology)

ปัจจัยเกี่ยวกับอุทกวิทยาของพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลอิสระเหนือผิวดินเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการที่จะรักษาโครงสร้างและหน้าที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ (Mitsch and Gosselink, 1993 อ้างใน Kadlec and Knight, 1995) วิธีอธิบายลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญที่สุดคือการอธิบายถึงความสมดุลของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ ความสมดุลของน้ำ คือ ความสมดุลระหว่างน้ำที่ไหลเข้า น้ำที่ไหลออก และการเพิ่ม และการสูญเสียน้ำภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาตรหรือความจุ ของพื้นที่ชุ่มน้ำ แหล่งของน้ำที่เข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำได้แก่ น้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อทำการบำบัด ผ่น และน้ำที่ไหลโดยตรงจากที่กักน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำจะสูญเสียน้ำไปได้หลายทาง ได้แก่ ก) การปล่อยน้ำหลังจากที่รับการบำบัดออกไป ข) การ evapotranspiration คือการสูญเสียน้ำโดยการระเหย ซึ่งเกิดขึ้นได้สองทาง คือ การระเหยจากผิวของน้ำ และการขนส่งน้ำจากรากไปยังใบ และมีการระบายของน้ำออกจากใบ และ ค) การซึมผ่านลงพื้นดิน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้แก่ ความลึกของน้ำ ปริมาตรของน้ำ ช่องว่างภายในพื้นที่ชุ่มน้ำที่จะทำให้ น้ำสามารถไหลผ่านได้ อัตราการไหลเฉื่อย ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ

- 1.) ความลึกของน้ำ (Water Depth, h)

หน่วย : เมตร , เซนติเมตร

$$h = H - G$$

โดยที่ G = ความสูงพื้นระดับ (เมตร)

H = ความสูงของระดับน้ำ (เมตร)

- 2.) ปริมาตรน้ำ (Wetland Water Volume, V)

หน่วย : ลูกบาศก์เมตร

$$V = (A_w)(h)$$

โดยที่  $A_w$  = พื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

h = ความลึกของน้ำ (เมตร หรือ เซนติเมตร)

- 3.) ระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time, HRT)

หน่วย : วัน



$$t = (V_w) E / Q_{ave}$$

โดยที่  $V_w$  = ปริมาตรของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

$Q_{ave}$  = อัตราการไหลเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

$E$  = สัมประสิทธิ์ความพรุนของพื้นที่ชุ่มน้ำ

4.) อัตราการไหลเฉลี่ย (Average Wastewater Flow ,  $Q_{ave}$ )

$$Q_{ave} = \frac{Q_i + Q_e}{2}$$

โดยที่  $Q_0$  = อัตราการไหลของน้ำเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

$Q_e$  = อัตราการไหลของน้ำออก (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

5.) อัตราการบรรทุกของน้ำ (Hydraulic Loading Rate , HLR ) คือ ปริมาณอัตราการไหลน้ำเสียที่ไหลเข้าพื้นที่ชุ่มน้ำต่อหน่วยเวลา

หน่วย : เซนติเมตรต่อวัน , เมตรต่อวัน , เมตรต่อปี

$$HLR = Q/A$$

โดยที่  $Q_i$  = อัตราการไหลของน้ำเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

$A$  = พื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ (ตารางเมตร)

### 2.1.2.3 สิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ

สิ่งมีชีวิตที่สำคัญ และมีบทบาทต่อระบบนิเวศน์ของพื้นที่ชุ่มน้ำได้แก่ พืช (Plant)

สาหร่าย (algae) และ จุลินทรีย์ (microorganism)

#### พืช (Plant)

ประสิทธิภาพที่ดี ในการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ ขึ้นกับระบบนิเวศน์ที่คล้ายคลึงกับธรรมชาติ พืชมีบทบาทสำคัญมากในระบบนิเวศน์ดังกล่าว ผลการวิจัยสนับสนุนว่าการกำจัดของแข็งแขวนลอย TSS และ BOD ในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบอิสระบนพื้นผิวซึ่งมีพืชปลูกอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพดีกว่า พื้นที่ชุ่มน้ำชนิดเดียวกันซึ่งไม่ปลูกพืชใดๆ (Gearheart ,Klopp and Allen,1989) อย่างไรก็ตามกลไกที่พืชทำให้ประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำดีขึ้นนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด

ชนิดของพืชอาจจะแบ่งเป็นพืชลอยน้ำ พืชจมน้ำ และพืชใต้น้ำ ลักษณะและหน้าที่ของพืชทั้ง 3 ชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.5

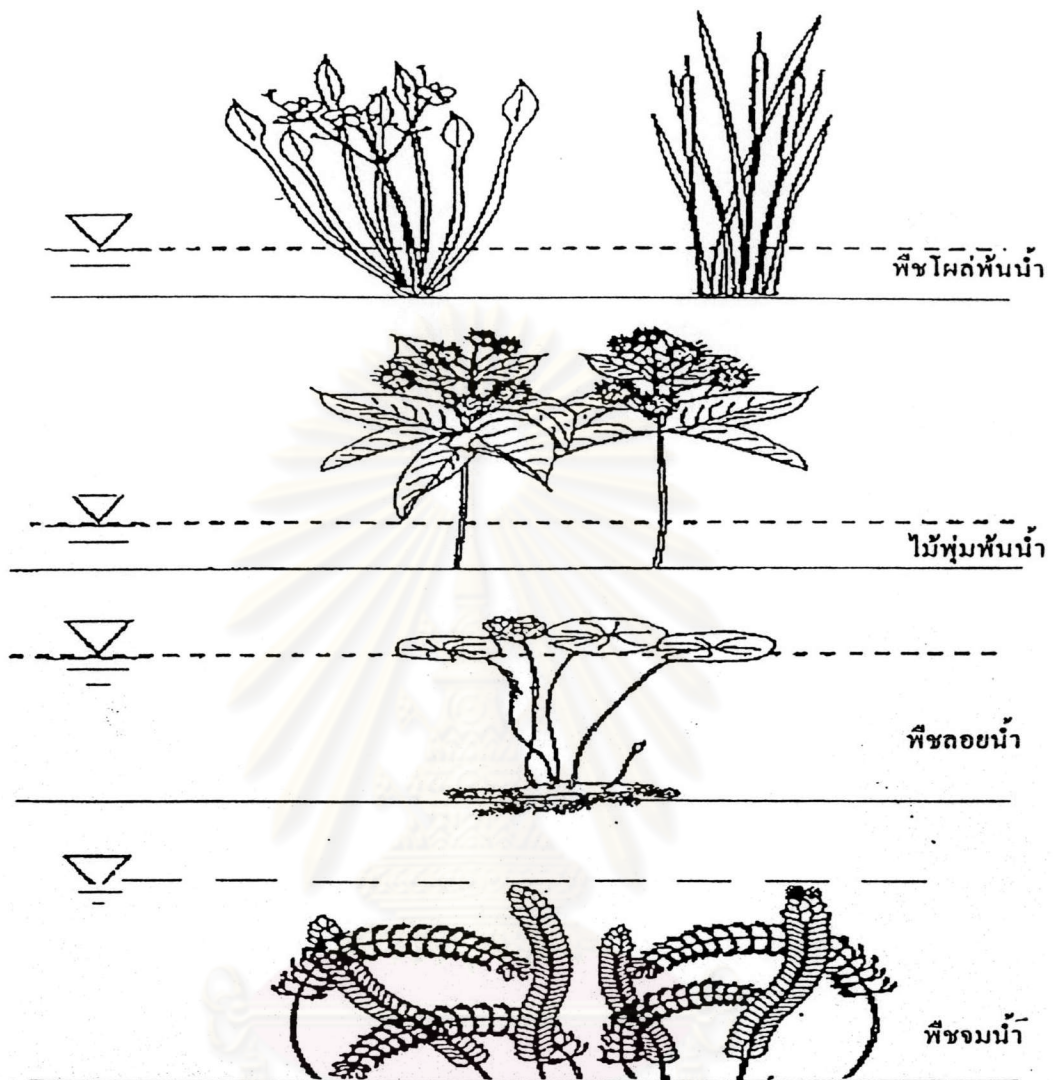
ตารางที่ 2.3 ลักษณะและหน้าที่ของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

ชนิดของพืช โดยทั่วไป	ลักษณะโดยทั่วไปของพืช	หน้าที่ และความสำคัญของ พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ
พืชลอยน้ำ	โครงสร้างของใบและรากติดกัน โดยมีโครงสร้างของใบและลำต้นลอยอยู่เหนือผิวน้ำเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ	ทำหน้าที่ในการดูดซับธาตุอาหาร ให้ร่มเงา ปิดกั้นแสงแดดไม่ให้ผ่านลงไปใต้น้ำ เป็นการช่วยชะลอการเจริญเติบโตของสาหร่าย และช่วยในการกระจายออกซิเจนจากอากาศลงสู่ผิวน้ำ
พืชจมน้ำ	โครงสร้างของใบ และลำต้นลอยอยู่ระหว่างผิวดินด้านล่างของพืชที่ชุ่มน้ำกับผิวน้ำด้านบน	มีโครงสร้างของใบ และรากเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ และช่วยในการเคลื่อนย้ายก๊าซออกซิเจนจากอากาศลงสู่ผิวน้ำ
พืชใต้อ่างน้ำ	มีโครงสร้างรากอยู่ด้านล่าง และลำต้นอยู่เหนือผิวน้ำ สัมผัสกับอากาศโดยตรงเป็นพืชที่ทนต่อสภาวะน้ำท่วมขังได้ดี เช่น ธูปฤๅษี อ้อ เป็นต้น	ลักษณะโครงสร้างของใบ และลำต้น ที่อยู่เหนือผิวน้ำของพืชช่วยในการกระจายการไหลของน้ำและลดความเร็วของน้ำ เป็นการช่วยกรองสารแขวนลอยได้ดี พร้อมทั้งยังมีหน้าที่ในการปิดกั้นแสงไม่ให้ส่องผ่านลงใต้น้ำได้เท่ากับเป็นการชะลอการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้อีกเช่นกัน

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก U.S. Environmental Protection Agency, 2000

พืชใต้อ่างน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำมีการปรับตัว เพื่อให้สามารถเจริญเติบโตได้ในภาวะน้ำท่วมขัง โดยการพัฒนาเซลล์ Aerenchymous tissues ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายก๊าซจากยอดพืชไปยังราก และจากรากไปยังยอดพืชเหนือผิวน้ำและสัมผัสกับอากาศ ทำให้เกิดสภาพออกซิเจนรอบๆ ราก เรียกว่า Rhizosphere นอกจากนี้ยังมี Adventitious Roots ในการดูดซับก๊าซ และสารอาหารโดยตรงจากน้ำจากการที่พืชมีการพัฒนาช่องว่างภายใน สำหรับขนส่งออกซิเจนสู่รากของพืช ช่องว่างของอากาศเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ถึง 60% ของเนื้อเยื่อพืชทั้งหมด และการเคลื่อนย้ายออกซิเจนลงสู่ส่วนรากมีบทบาทสำคัญในการจำกัดบีโอดีและ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยการเกิดปฏิกิริยา oxidation – reduction ในระบบรากใต้ดิน (Reddy and D' Angelo , 1994 อ้างใน Kadlec and Knight, 1996)





รูปที่ 2.5 ลักษณะการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาของรากพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Kadlec and Knight, 1996

บทบาทที่สำคัญของพืชโคล์พื้นน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลอิสระเหนือพื้นผิว คือ ใบ และ ลำต้นของพืชช่วยกระจายการไหลของน้ำ และลดความเร็วของน้ำเข้าเป็นการช่วยกรองสารแขวนลอยได้ดี และรากพืชโคล์พื้นน้ำยังช่วยเพิ่มพื้นผิวสำหรับการยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ซึ่งทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปสารอาหาร อีออนโลหะ สารประกอบอื่นๆ ได้ มีผลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น (Hammer, 1989)

พืชที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำคือ ธูปฤาษี (*Typha* spp.) หญ้าทรงกระเทียม (*Scirpus* spp.) อ้อ (*Phragmites* spp.) และหญ้าน้ำค้าง (*Carex* spp.) ตารางที่ 2.4 แสดงการกระจาย

ของพืชเหล่านี้ในโลก และสภาวะที่ต้องการ พืชเหล่านี้มีความสามารถในการเจริญเติบโตในชั้นดินหลายชนิด และในน้ำเสียหลายประเภท พืชอาจมีบทบาทในการบำบัดน้ำเสียดังนี้

1) การใช้สารอาหารของพืชเป็นบทบาทที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ มลสารอื่นๆ ของน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ย่อยยาก เป็นต้น อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกกำจัดโดยอัตราการเติบโตสุทธิ และความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช ความเข้มข้นของสารอาหารในพืชมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) ในพืชที่มีอายุน้อย และลดลงเมื่อโตเต็มที่ (Reddy and Debusk, 1987) ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อ และการดูดดึง (uptake) ของพืชแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.5 อย่างไรก็ตามการศึกษาในระยะหลังพบว่า การดูดดึงของพืชอาจจะไม่ใช่กลไกสำคัญในการกำจัดมลสารทุกชนิด แต่เป็นกลไกสำคัญในระบบที่มีระดับมลสารไม่สูงมากนักเท่านั้น ในระยะที่พืชมีการเจริญเติบโต การดูดดึงมีความสำคัญสำหรับมลสารหลายอย่าง กลไกการดูดดึงของพืชมีความสำคัญน้อยกว่ากลไกในการกำจัดของจุลินทรีย์ และการแปรสภาพของกายภาพที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำ อย่างไรก็ตามพืชมีความจำเป็นต่อพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสีย เพราะพืชจะเป็นโครงสร้างสำหรับจุลินทรีย์มาเกาะ และจุลินทรีย์เป็นตัวกลางในการแปรสภาพของ มลสารเกือบทุกชนิดในพื้นที่ชุ่มน้ำ

2) การสูญเสียจากการระเหยกลายเป็นไอ (Evapotranspiration loss) เป็นผลรวมจากการระเหยจากผิวน้ำ และการสูญเสียจากพืช (Reddy and Debusk, 1987) การระเหยกลายเป็นไอขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การแผ่รังสี ลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และชนิดของสิ่งปกคลุม การสูญเสียน้ำในช่วงฤดูแล้งจะทำให้ปริมาณน้ำในระบบลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของมลสารในระบบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เพื่อทดแทนการสูญเสียน้ำจากการระเหย และเพื่อรักษาอัตราการไหลที่ออกแบบไว้ จึงควรบ่อนกลับน้ำทิ้งบางส่วนในฤดูแล้ง (Metcalf & Eddy, Inc., 1991 อ้างใน Kadlec and Knight, 1996)

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 2.4 ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ชื่อสามัญและชื่อ วิทยาศาสตร์	บริเวณที่พบ	อุณหภูมิ	ความเค็มสูงสุดที่ทนได้ (สนพ.)	พีเอชที่เหมาะสม
ธูปฤาษี ( <i>Typha</i> spp.)	ทั่วโลก	10-30	30	4-10
อ้อ ( <i>Phragmites</i> spp.)	ทั่วโลก	12-33	45	2-8
Rush ( <i>Juncus</i> spp.)	ทั่วโลก	16-26	20	5-7.5
หญ้าทรงกระเทียม ( <i>Scipus</i> spp.)	ทั่วโลก	16-27	20	4-9
หญ้าคมบาง ( <i>Carex</i> spp.)	ทั่วโลก	14-32	-	5
บอน ( <i>Colocasia esculenta</i> )	ทั่วโลก	16-32	-	5.5-6.5

ที่มา : ดัดแปลงจาก Reed ,Middlebrooks and Crites,1995

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และอัตราการดูดดึง ของพืช

พืช	อัตราการดูดดึง (kg/ha.yr)		ส่วนประกอบในเนื้อเยื่อ (g/kg)		อัตราการเติบโต (ton/ha.yr)
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	
ธูปฤาษี	600-2,630	75-403	5-24	0.5-4	8-61
หญ้าทรง กระเทียม	125	18	8-27	1-3	-
อ้อ	225	35	18-21	2-3	10-60

ที่มา : ดัดแปลงจาก Reddy and Debusk,1987

3) การถ่ายเทออกซิเจน พืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น มีโครงสร้างพิเศษที่ใบ ลำต้น และราก ที่ใช้ในการนำก๊าซจากชั้นบรรยากาศรวมทั้งออกซิเจนลงไปสู่ราก โดยที่รากฝอย จะมีออกซิเจนซึมออกมา จึงทำให้บริเวณโดยรอบของรากฝอยมีออกซิเจนและทำให้เกิดบริเวณที่ เรียกว่าแผ่นฟิล์มอากาศบาง (thin film aerobic region) แต่บริเวณที่อยู่ไกลรากฝอยออกไปซึ่งมี พื้นที่กว้างกว่ามีสภาพไร้อากาศ สภาพที่บริเวณที่ไร้อากาศอยู่ใกล้ชิดกับบริเวณที่มีอากาศ จึงเป็น บริเวณที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุไนโตรเจน และสารอื่น ๆ

### พืชที่ใช้ในการศึกษา

- 1) ฐปถาษี (*Typha angustifolia* L.)
- ชื่อสามัญ Cat-tail, Elephant Grass, Lesser Reedmance, Narrow-leaved Cat-tail
- ชื่ออื่นๆ กกธูป , กกข้าง , เพ็ญ (ภาคกลาง), หญ้าสลาบลหวง( ภาคเหนือ), ปรีอ (ภาคใต้)

ฐปถาษีเป็นไม้ล้มลุกสองปี เหง้ากลม แทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้นๆ ใบเดี่ยว เรียง สลับระนาบเดียว รูปแถบ กว้าง 1.2 – 1.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2 เมตร แผ่นใบด้านบน โค้งเล็กน้อยเพราะมีเซลล์หุ้มตัวคล้ายฟองน้ำหนุนอยู่กลางใบ ส่วนด้านล่างแบน ช่อดอก แบบช่อเชิงลด ดอกมีจำนวนมากติดกันแน่น สีน้ำตาล ลักษณะคล้ายธูปดอกใหญ่ ก้านช่อดอก กลม แข็ง ดอกแยกเพศ แบ่งเป็นตอนเห็นได้ชัด กลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้านรูปทรงกระบอก ยาว 15 – 30 เซนติเมตร และทิ้งช่วงห่างดอกเพศเมีย 0.5 – 1.2 เซนติเมตรดอกเพศผู้มีเกสร เพศผู้ 2 - 3 อัน และมีขนแบนรูปช้อน 3 เส้น กลุ่มดอกเพศเมียรูปทรงกระบอกเช่นกัน แต่ใหญ่ กว่ากลุ่มดอกเพศผู้ ยาว 7 – 28 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร มีใบ ประดับย่อย (bracteole) เป็นเส้นปลายสีน้ำตาลมากมายแซมดอก โคนก้านชูเกสรเพศเมีย (gynophore) มีขนยาวสีเงินหลายเส้น ดอกแก่จะแตกเห็นเป็นขนขาวฟู รังไข่มีข้อเดียว มีโอวูล 1 เม็ด ผลเล็กมาก เมื่อแก่จะแตกตามยาว

ฐปถาษีมีเขตการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยทั่วทุกภาค พบในที่ลุ่มทั้งน้ำจืด และ น้ำเค็ม ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในยุโรป และอเมริกา ปัจจุบันแพร่หลายไปทั่วโลก ใบยาวและเหนียว นิยมใช้ทำเครื่องจักรสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า ใช้มุงหลังคาและทำเชือก ดอกแก่จัดมีขนปุกปุยนุ่ม มีลักษณะคล้ายปุยขน จึงนิยมใช้แทนขน ยอดอ่อนกินได้ทั้งสดและทำให้สุก ช่อดอกบึงกินได้ แบ่งที่ได้จากลำต้นใต้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นเดียวกัน ในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำ



ปากกา และเชื่อว่าลำต้นใต้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เยื่อของรูปฤๅษีนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (fiber) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 9.6 ไซร้อยละ 1.4 และเถ้า (ash) ร้อยละ 2 เส้นใยมีสีขาหรือสีน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์

รูปฤๅษีมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง กากที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้วใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ย่อย จะให้ก๊าซมีเทน (methane) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ผลของรูปฤๅษีมี long chain hydrocarbon 2 ชนิด คือ pentacosane และ I-triacontanol รูปฤๅษีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในทีลุ่มต่ำได้ถึง 690 กิโลกรัมต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

2) บอน - *Colocasia esculenta* (L.) Schott, *Colocasia antiquorum* var. *esculenta* Schott, *Caladium esculentum* Hort.

ชื่อสามัญ - Taro, wild taro, dasheen, elephant ear

ชื่ออื่นๆ - ผือก

บอนเป็นพืชที่มีลำต้นอ่อนงอกตลอดปี มีความสูงประมาณ 1.5 เมตร (4 ฟุต) มีหน่องอกจากหัวขนาดใหญ่ และยังมีลำต้นแบบเลื้อยงอกตามหน่อและหัว ใบมีขนาดยาวประมาณ 60 ซม. (24 นิ้ว) และกว้างประมาณ 50 ซม. (20 นิ้ว) มีรูปร่างคล้ายหัวลูกศร ใบด้านบนมีสีเขียวเข้ม และเป็นก้านหยาบ มีก้านโผล่จากด้านหลังของใบ มีก้านใบขนาดใหญ่ มีลักษณะฉ่ำน้ำมาก และบริเวณปลายของก้านใบมักจะมีสีม่วง มีดอกงอกตามก้านที่มีความสมบูรณ์มากๆ และสั้นกว่าก้านที่เป็นใบ ส่วนของก้านที่มีดอกจะถูกห่อหุ้มด้วยกลีบใบอ่อนรอบดอก ซึ่งมีสีเหลืองและมีขนาดยาว ดอกเป็นดอกเล็กๆ ออกหนาแน่น บริเวณส่วนบนของก้าน ดอกที่มีเกสรตัวเมียจะอยู่ในส่วนที่ต่ำกว่าดอกที่มีเกสรตัวผู้ มีผลเป็นเม็ดเล็กๆ อยู่เป็นกลุ่มบนก้าน

ความสำคัญในเชิงนิเวศวิทยา บอนได้ถูกนำเข้ามาสู่ประเทศอเมริกา จากทวีปแอฟริกา เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับทาส นำเข้าสู่สหรัฐอเมริกา และมลรัฐทางตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา ในปี 1910 โดยองค์การเกษตรกรรมของรัฐ เพื่อใช้เป็นพืชที่ปลูกแทนมันฝรั่ง บางส่วนของประเทศทางตะวันออกเฉียงใต้ ถือว่าเป็นพืชที่มีการรุกรานค่อนข้างสูงในปี 1974 มีอยู่ตามธรรมชาติทั่วไป ในมลรัฐฟลอริดาตามแม่น้ำ บริเวณที่ลุ่มซึ่งเป็นหนองน้ำชายฝั่ง คลอง และท้องร่องในปี 1979

ยังได้รับการสนับสนุนให้เป็นอาหารสำหรับคนและสัตว์ และเป็นเชื้อเพลิงสำหรับในมลรัฐฟลอริดา ในทศวรรษที่ 80 มีรายงานว่าเป็นพืชตามธรรมชาติ ในแหล่งน้ำสาธารณะ 183 แห่งในปี พบในแหล่งน้ำสาธารณะ 235 แห่งในปี 1994 มีขึ้นหนาแน่นตามแม่น้ำ ฝั่งทะเลสาบ แทนที่พืชดั้งเดิมที่มีอยู่ แหล่งที่มีอยู่ในปัจจุบัน บอนพบได้ทั่วไปในเขตร้อนของโลก และพบได้มากในเขตใกล้เขตร้อนของโลกในประเทศเปอโตริโกถือว่าเป็นวัชพืช ในประเทศไทยก็พบได้ทั่วไป บอนสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งที่แห้งและที่น้ำ การแพร่พันธุ์อาจเกิดขึ้นโดยความตั้งใจหรือโดยความบังเอิญ โดยการโยกย้ายส่วนของพืช สามารถปลูกให้ออกงามได้โดยใช้หัวและก้านใบเท่านั้น มักออกดอกเป็นครั้งคราว แต่ไม่ค่อยออกผลมากนัก เมล็ดจะมีประมาณ 2-5 เมล็ดต่อผล ซึ่งไม่ค่อยมีและถ้ามีก็ไม่ค่อยทน รวมทั้งใช้เพาะพันธุ์ยาก

### สาหร่าย (Algae)

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์เดียวหรือมากกว่า อาจเป็นแบคทีเรีย หรือพืชก็ได้ ไม่มีเนื้อเยื่อหรืออวัยวะเช่นเดียวกับสัตว์หรือพืชชั้นสูง และส่วนใหญ่ต้องอาศัยแสงแดดสำหรับ metabolism และการเจริญเติบโต สารประกอบออร์แกนิกที่สร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงโดยสาหร่ายจะมีพลังงานสะสมอยู่ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการหายใจ หรือ เข้าสู่ food chain และเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นในพื้นที่ชุ่มน้ำ นอกจากนี้ยังให้สารคาร์บอน ซึ่งจะกลายเป็นกรดอินทรีย์ที่ทับถมอยู่กับพื้นที่ชุ่มน้ำ เพื่อจะเกิดเป็นตะกอนต่อไป สาหร่ายต้องการคาร์บอน ซึ่งได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำได้และสารอาหาร ถ้ามีแสงแดดและสารอาหารมาก สาหร่ายจะมีการเจริญเติบโตมาก และมีบทบาทเกี่ยวกับวงจรอาหารสูง แต่ถ้าแสงแดดถูกบดบังโดยพืชที่โผล่พ้นน้ำ สาหร่ายจะมีบทบาทเกี่ยวกับวงจรอาหาร และพลังงานในพื้นที่ชุ่มน้ำลดลง

สาหร่าย filamentous มักเป็นส่วนหนึ่งของ periphyton ที่ติดอยู่ตามต้นของพืช หรือ ลอยอยู่ในน้ำเป็นแพ (mat) สาหร่ายชนิดนี้อาจมีบทบาทสำคัญมากในพื้นที่ชุ่มน้ำ สามารถควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (DO) และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยในเวลากลางคืนมีการหายใจเกิดขึ้น DO จะลดลง และ CO<sub>2</sub> จะเพิ่มขึ้น และกลับกันในเวลากลางวัน

สาหร่ายมีความสำคัญในการสะสมและการแปรสภาพสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำสาหร่ายประกอบด้วย คาร์บอน 35 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 2 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์ และ ฟอสฟอรัส 0.2 ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์

สาหร่ายไม่ใช่เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่การที่สาหร่ายมีอัตราการหมุนเวียนที่สูงมาก สาหร่ายจึงอาจมีความสำคัญในระยะสั้นในการหยุดการเปลี่ยนรูปของสาร



อาหารที่ได้จากมลสาร ในระยะยาวสาหร่ายอาจมีความสำคัญในการกำจัดมลสาร โดยการทำให้กลายเป็นตะกอน โดยวิธีการดูดซับ (sorption) การทำให้อยู่กับที่ (settling) และการฝัง ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อน้ำเสียมีสารอาหารต่ำ ถ้าน้ำเสียมีสารอาหารมากการย่อยสลายสาหร่ายโดย จุลินทรีย์ จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่า ที่จะเกิดการตกตะกอน (Kedlec and Knight, 1996)

### จุลินทรีย์

สภาพแวดล้อมในพื้นที่ชุ่มน้ำมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่สำคัญ คือ แบคทีเรีย และเชื้อรา สิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดนี้มีความสำคัญต่อระบบการบำบัดน้ำเสียเพราะมีบทบาทที่สำคัญต่อส่วนประกอบทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่การดูดซึม (assimilation) การเปลี่ยนรูป (transformation) และการหมุนเวียนเพื่อนำสารต่างๆ ในน้ำเสียมาใช้อีก (recycling) (Kadlec and Knight, 1996)

แบคทีเรียและเชื้อราเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดแรกซึ่งจะทำการย่อยสลายของแข็งในน้ำเสีย (Gaur, et al, 1992) นอกจากนี้ จุลินทรีย์ยังทำการดูดซับ (sorption) หรือ แปรสภาพส่วนประกอบโดยตรง หรือร่วมกับพืชหรือสัตว์อื่นๆ ในการย่อยสลายส่วนประกอบเพื่อทำให้เป็นอาหารแก่พืชหรือ สัตว์ที่มีนาคัยอยู่

แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็น heterotrophic นั่นคือ บริโภคสารอาหารและพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตจากสารประกอบออร์แกนิก ที่ต่างจากแบคทีเรียแบบ autotrophic ซึ่งสังเคราะห์โมเลกุลออร์แกนิกจากสารอินออร์แกนิก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ในพื้นที่ชุ่มน้ำแบคทีเรียส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผิวของพืช สารที่กำลังเน่าเปื่อย และดิน

เชื้อราทุกชนิดเป็น heterotrophic ได้พลังงานและคาร์บอนจากสารออร์แกนิก สารอาหารของเชื้อราส่วนใหญ่ได้จากการย่อยสลายของสารออร์แกนิกที่ตายแล้ว เชื้อรามียู่มากมายในพื้นที่ชุ่มน้ำ และมีบทบาทมากในการบำบัดน้ำเสีย

### กระบวนการเผาผลาญพลังงานของจุลินทรีย์

การแปรสภาพทางเคมี ซึ่งเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ จะถูกควบคุมโดยเอนไซม์ แบคทีเรีย และเชื้อราจะถูกจัดกลุ่มตามความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่าง metabolism ของจุลินทรีย์ คือการใช้เอนไซม์ไปย่อยสารประกอบเคมีที่มีความซับซ้อนให้เป็นสารประกอบอย่างง่าย และมีการหลั่งพลังงานออกมา (catabolism) หรือการสังเคราะห์สารประกอบออร์แกนิก โดยการใช้พลังงานทางเคมีที่สะสมอยู่ (anabolism) กระบวนการเผาผลาญพลังงานของจุลินทรีย์ นอกจากจะขึ้นกับเอนไซม์แล้วยังขึ้นกับอุณหภูมิ และออกซิเจนที่ละลายน้ำได้

แบคทีเรียส่วนใหญ่ และเชื้อราทุกชนิด ได้รับพลังงานจากสารประกอบออร์แกนิก และใช้สารประกอบออร์แกนิกชนิดเดิมหรือชนิดอื่นในการสังเคราะห์เซลล์

ในระหว่างการเผาผลาญพลังงานของจุลินทรีย์ คาร์โบไฮเดรตจะถูกแตกเป็นกรดไพรูวิก และ adenosine triphosphate (ATP) ซึ่งกรดไพรูวิก จะถูกย่อยสลายต่อไปโดยการ fermentation หรือการหายใจ การ fermentation โดย phosphorylation ไม่ต้องการใช้ออกซิเจน และมีผลทำให้เกิดสารออร์แกนิก หลายชนิด เช่น กรดแลคติก ethanol และ กรดออร์แกนิกชนิดอื่น ๆ การหายใจแบบแอโรบิก เป็นขบวนการทางชีวเคมี ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน วงจร Krebs มีผลทำให้มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ (decarboxylation) และมีการสะสมพลังงาน เพื่อให้เกิดการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ จะต้องมีอิออน ของออกซิเจน และไฮโดรเจน

การหายใจแบบแอนแอโรบิก เป็นขบวนการ catabolism อีกทางหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน มีการใช้สารประกอบอนินทรีย์บางชนิด และมีการสร้างพลังงานออกมาไม่มาก การหายใจชนิดนี้มีความสำคัญต่อแบคทีเรียหลายกลุ่มในพื้นที่ชุ่มน้ำ แบคทีเรียในกลุ่ม Pseudomonas และ Bacillus ใช้ไนเตรตไนโตรเจนในการสร้าง ไนไตรต์ ไนตรัสออกไซด์ ( $N_2$  O) หรือ ก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) โดยขบวนการที่เรียกว่า denitrification แบคทีเรีย ชนิด Desulfovibrio ใช้ซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) ในการสร้าง  $H_2$  O และแบคทีเรียในกลุ่ม Methanobacterium ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ในการสร้างก๊าซมีเทน ( $CH_4$ )

การวัดผลของจุลินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำมักจะวัดโดย พารามิเตอร์เกี่ยวกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ ได้แก่ อัตราการปรากฏ หรือสูญหายของส่วนประกอบเคมีที่เกี่ยวข้อง เช่น ออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (DO)  $NH_3^+$   $NO_3^-$  และออร์แกนิกคาร์บอน วิธีที่ใช้กันบ่อยวิธีหนึ่ง คือ การตรวจวัดค่า Biochemical Oxygen Demand ( $BOD_5$ ) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

## 2.1.3 มลสาร และกลไกการบำบัด

### 2.1.3.1 ของแข็งแขวนลอย(Suspended Solids)

พื้นที่ชุ่มน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จะมีทั้งการสร้าง และการกำจัด ของแข็งแขวนลอยของแข็งแขวนลอยในพื้นที่ชุ่มน้ำประกอบด้วยอนุภาคในน้ำฝนและฝุ่นละอองในอากาศ ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียซึ่งต้องการบำบัด สิ่งที่ยังหลงเหลือจากพืช plankton สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และ periphyton (รูปที่ 2.6) มักทำการวัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) หรือ TSS

#### การสะสมและการเคลื่อนย้าย ของแข็งแขวนลอย

การสะสมและการเคลื่อนย้าย ของแข็งแขวนลอยในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบบิลระยะเหนือพื้นผิว ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบไปด้วยขบวนการต่าง ๆ ดังนี้ ก) การหยุดนิ่งของอนุภาค



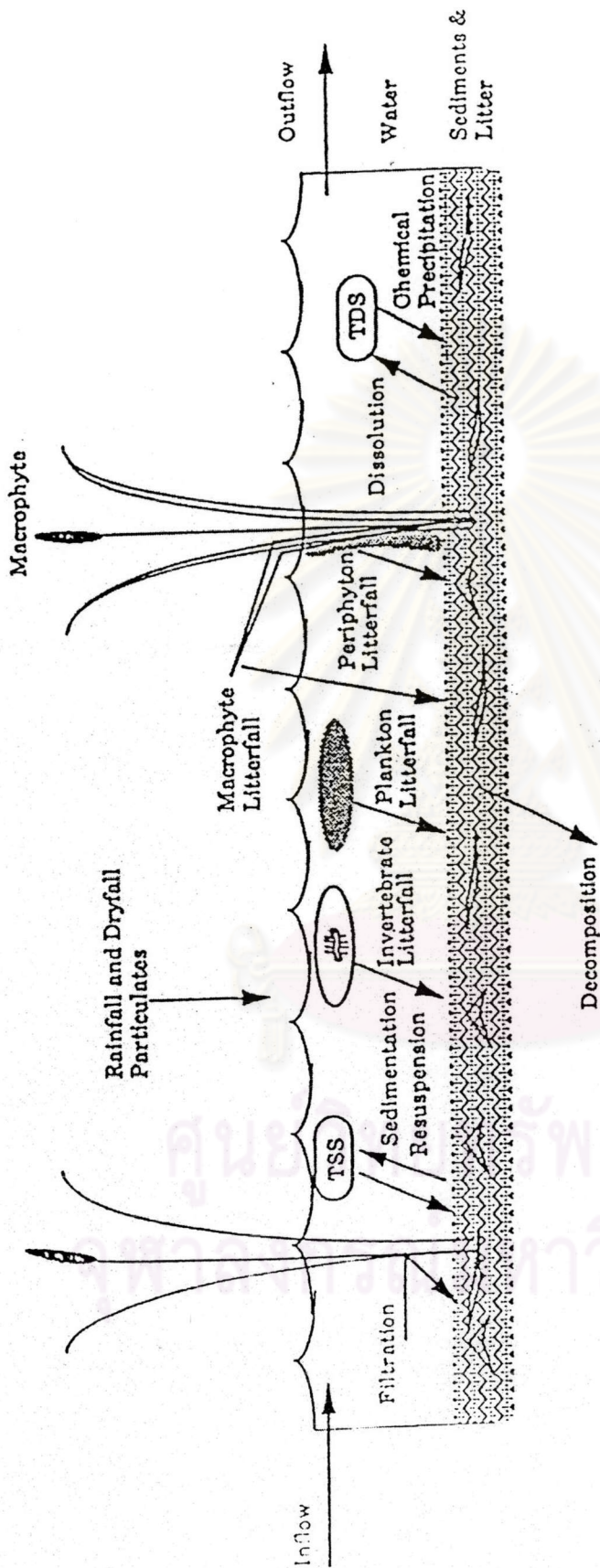
(settling of particulate) ข) การเกิดเป็นสารแขวนลอยขึ้นมาอีกภายหลังจากมีการหยุดนิ่งของอนุภาคแล้ว (resuspension) ค) การกรอง (filtration) ง) การเกิดตะกอนชีวภาพ (biomedical sediment generation) และ จ) ปฏิกริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการตกตะกอน และการละลาย (chemical precipitation and dissolution reactions) (Kadlec and Knight,1996; USEPA,2000)

### *การหยุดนิ่งของอนุภาค (Settling of particulate)*

การหยุดนิ่งของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วงของโลก หรือการตกตะกอน (sedimentation) เกิดขึ้นได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน เนื่องจากมีน้ำไหลค่อนข้างช้า การจมลงของของแข็งในน้ำเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอนุภาคและของน้ำ สาหร่ายที่มีอยู่ในน้ำเมื่อมีการตายเกิดขึ้นเนื่องจากขาดอาหาร และหรือแสงอาทิตย์ ก็จะไม่สามารถลอยน้ำอยู่ได้ และจะจมลง และมักจะถูกกำจัดไปโดยการตกตะกอน (Kedlect and Knight,1996;United States EPA,2000)

### *การกรอง (Filtration)*

กลไกที่ทำให้เกิดการกรองขึ้นได้ มี 3 วิธี (Perry and Green,1984; Metcalf and Eddy , Inc,1991) ได้แก่ ก) อนุภาคมีการเคลื่อนที่เร็วพอที่จะชนกับลำต้นของพืชมากกว่าที่จะถูกพัดพาไปตามกระแส น้ำ และอนุภาคนั้นก็จะตกลงไปเป็นตะกอนอยู่ก้นพื้นที่ชุ่มน้ำ ข) อนุภาคที่ไม่ชนกับลำต้นของพืชแต่อยู่ใกล้กับลำต้นพอก็จะเกาะติดกับลำต้น บริเวณผิวของลำต้นของพืชมักจะมีส่วน ที่เรียกว่า biofilm หรือ periphyton ทำให้อนุภาคมาเกาะติดได้ และ ค) แรงเคลื่อนไหวภายในน้ำ ซึ่งจะทำให้อนุภาคจมลงสู่ก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำ กลไกทั้งสามประการนี้จะเกิดขึ้นได้ ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ความเร็วของการไหลของน้ำ คุณสมบัติของอนุภาค และคุณสมบัติของน้ำ ในพื้นที่ชุ่มน้ำลำต้นของพืชส่วนใหญ่จะอยู่ห่างกันในขณะที่อนุภาคมีขนาดเล็กมาก และความเร็วของน้ำก็ช้ามาก กลไกทั้งสามประการจึงมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก และอาจสรุปได้ว่า การกรองเป็นขบวนการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ไม่มีความสำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งเป็นระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน(Kadlec and Knight,1996) การศึกษาของ Hosokawa and Horie (1992) ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีและไม่มีพืช นอกจากนี้การทดลองในห้องปฏิบัติการยังไม่พบว่ามีการกรองเกิดขึ้น



รูปที่ 2.6 การสะสมและการเคลื่อนย้ายของแข็งแขวนลอยในพื้นที่ชุ่มน้ำ

(Kadlec and Knight, 1996)

TSS = Total Suspended Solids , TDS = Total Dissolved Solids



### Resuspension

Resuspension คือการที่อนุภาคซึ่งได้มีการอยู่นิ่งอยู่กับที่หรือตกตะกอนแล้วกลับเข้ามาแขวนลอยอยู่ในน้ำได้อีก ซึ่งจำเป็นต้องใช้แรงในการทำให้อนุภาคจิกขาดออกจากพื้นผิวที่อนุภาคเกาะอยู่ ซึ่งคิดว่าเป็นแรงทางกายภาพ ส่วนใหญ่จะเกิดกับตะกอนตามก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งเรียก พื้นที่ชุ่มน้ำที่มีพืชอยู่จะไม่เหมาะกับการเกิด resuspension นอกจากนี้ resuspension ไม่ใช่เป็นขบวนการเด่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสีย เพราะความเร็วของน้ำมักจะต่ำเกินไปที่จะทำให้อนุภาคที่ตกตะกอนอยู่ก้นพื้นที่หลุดออกมาได้ สภาพแวดล้อมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เอื้ออำนวยให้เกิด resuspension คือ ก) การมีลมพัด ในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบเปิด ไม่มีพืชปกคลุม กระแสลมจะพัดทำให้มีการไหลของน้ำบริเวณผิวน้ำไปตามทิศทางของลม และมีการไหลกลับที่บริเวณก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำไปในทิศทางตรงกันข้าม ข) สัตว์ทุกชนิดและขนาดในพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถทำให้เกิดน้ำขุ่นขึ้นมาได้ และ ค) การเกิดก๊าซภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ เกิดขึ้นได้หลายทาง ได้แก่ การเกิดก๊าซออกซิเจนจากสาหร่าย ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จากพืชที่จมน้ำ ก๊าซไนโตรเจนจากขบวนการ denitrification และก๊าซมีเทนจากขบวนการแอนแอโรบิก (Kadlec and Knight, 1996) และ ค) การสร้างชีวมวลชุดใหม่ขึ้นมาจากขบวนการเผาผลาญพลังงานของส่วนประกอบในน้ำเสียที่ปล่อยเข้ามาในพื้นที่ชุ่มน้ำ จะทำให้เกิดของแข็งแขวนลอยเข้ามาอยู่ในน้ำได้ในที่สุด

การหมุนเวียนของ TSS ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีอยู่สูงมากจนทำให้ TSS ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ซึ่งจะส่งเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำมีผลน้อยมาก TSS ในน้ำที่ได้รับการบำบัดหรือน้ำที่ออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำแล้ว ไม่ค่อยเป็นผลโดยตรงมาจากการบำบัด TSS ของน้ำเข้า แต่เป็นผลมาจากขบวนการสร้าง TSS ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำเอง

พื้นที่ชุ่มน้ำเปิดที่ไม่ปกคลุมโดยพืช และมีบริเวณกว้าง สามารถทำให้มีความเข้มข้นของ TSS สูงผิดปกติในน้ำออกได้ เนื่องจากมีการเกิดสาหร่ายขึ้นมาจำนวนมาก นอกจากนี้ยังทำให้สัตว์สามารถกวนน้ำให้ขุ่นได้สะดวกด้วย

### การเกิดตะกอนชีวภาพ

พื้นที่ชุ่มน้ำจะมีสิ่งมีชีวิตหลายขนาด นับตั้งแต่พืชขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (macrophytes) ไปจนกระทั่งถึงสิ่งมีชีวิต ที่มีเซลล์เดียว ได้แก่ แบคทีเรีย สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถทำให้เกิดตะกอนขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำได้ เมื่อเกิดการตายการร่วงหล่น และการสีกกร่อนของสิ่งที่ย่อยสลายนั้น สาหร่ายสามารถเป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดของแข็งแขวนลอย นอกจากนี้การร่วงหล่นของเม็ดและละอองเกสรของพืชก็จะทำให้มีการเพิ่มของแข็งแขวนลอยขึ้น ของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารออร์แกนิก จึงมีปริมาณคาร์บอนสูง และมีส่วนที่เป็นของแข็ง

แขวนลอยที่ระเหยได้ (Volatile Suspended Solids หรือ VSS) สูงด้วย ถ้าหากมีสาหร่ายอยู่มาก ปริมาณของคลอโรฟิลล์ และ pheophyllin ซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์ที่ตายแล้วก็จะมีสูง ของแข็งแขวนลอยบางชนิดเกิดจากการร่วงหล่นของใบไม้ หรือลำต้น สารชีวภาพเหล่านี้ทำให้เกิด TSS ได้ โดยการสีกกร่อนโดยตรง หรือจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย

การเกิดสารซึ่งตกตะกอนเหล่านี้ เป็นขบวนการภายในที่มีความสำคัญมากในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ใช้บำบัดซึ่งมีอาหารอุดมสมบูรณ์ การมีอาหารอุดมสมบูรณ์ จะทำให้เกิดจุลินทรีย์มากมาย หลายชนิดรวมทั้งมีการตายของสารออร์แกนิกด้วย พื้นที่ชุ่มน้ำดังกล่าวจะมีลักษณะ คือ มีคลอโรฟิลล์ในน้ำสูง และมีการสะสมของตะกอนสูง ทำให้มีการสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่าย และแบคทีเรีย รวมทั้งผลิตผลที่ได้จากการย่อยสลาย (decomposition) และเกิดของแข็งแขวนลอยชุดใหม่ขึ้นมา สิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrate) ถ้ามีการตายก็จะทำให้เกิดตะกอนขึ้นได้ (Kadlec and Knight, 1996; USEPA, 2000)

การคำนวณปริมาณของการเกิดขบวนการเหล่านี้เป็นไปไม่ได้แต่มีความสำคัญที่จะต้องตระหนักไว้ว่ามีขบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นอยู่ เพราะอาจทำให้ระดับของ TSS ในพื้นที่ชุ่มน้ำไม่สามารถลดลงได้

#### **การตกตะกอนทางเคมี และปฏิกิริยาการสลายตัว**

ในพื้นที่ชุ่มน้ำ มีปฏิกิริยาเคมีหลายอย่าง ซึ่งทำให้เกิดตะกอนขึ้นได้ หากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ที่สำคัญบางชนิดได้แก่ oxyhydroxides ของเหล็ก แคลเซียมคาร์ไบไบเนต และ metal sulfides hydroxides ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่เอื้ออำนวยต่อการตกตะกอน

การเปลี่ยนแปลงสภาวะในพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ส่วนประกอบทางเคมี pH และ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน อาจทำให้สารประกอบเหล่านี้และสารประกอบอื่นๆ มีการสลายตัว (dissolution) และถูกกำจัดออกจากกันพื้นที่ชุ่มน้ำ

โดยสรุปพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ TSS ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงว่า ขบวนการในพื้นที่ชุ่มน้ำเองก็ทำให้เกิด TSS ขึ้น และส่วนหนึ่งเป็น TSS ซึ่งไม่สามารถทำให้มีความเข้มข้นลดลงได้ กลไกที่สำคัญในการลด TSS คือการตกตะกอน (Kadlec and Knight, 1996; USEPA, 2000)

#### **2.1.3.2 คาร์บอน**

สารประกอบคาร์บอนมีปฏิกิริยาต่อระบบนิเวศน์เป็นอย่างมาก วงจรคาร์บอนในพื้นที่ชุ่มน้ำมีส่วนสำคัญมากในการสร้างคาร์บอนออกมา ขบวนการหลายอย่างภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ



เกิดขึ้นได้เนื่องจากได้รับคาร์บอนจากภายนอก และคาร์บอนที่เกิดจากขบวนการย่อยสลาย (decomposition) ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำเอง

พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย มักจะได้รับคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำเสียในปริมาณมาก การวัดปริมาณคาร์บอนทำได้หลายวิธี แต่การวัดโดยใช้ค่า BOD เป็นวิธีที่ใช้บ่อยที่สุด สารประกอบคาร์บอนที่ย่อยสลายได้จะถูกใช้ไปในขบวนการคาร์บอนอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ขบวนการย่อยสลายหลายขบวนการก็จะสร้างคาร์บอนออกมา เพื่อนำกลับไปใช้อีกได้ เมื่อเกิดความสมดุลระหว่างการใช้และการสร้างคาร์บอนภายในพื้นที่ชุ่มน้ำแล้วก็จะมียังมีปริมาณคาร์บอนที่เหลือออกมาจากพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยทั่วไปปริมาณของคาร์บอนที่หมุนเวียนอยู่ในวงจรคาร์บอนในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีสูงกว่าปริมาณของคาร์บอนในน้ำเสียที่ต้องการบำบัดมาก

การเจริญเติบโตของพืชต้องการคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อการสังเคราะห์แสง การหายใจของสิ่งมีชีวิตหลายอย่างจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา นอกจากนี้ยังมีหลายเส้นทางที่นำไปสู่การสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์ ก๊าซทั้งสองชนิดนี้ ละลายในน้ำในปริมาณจำกัด และส่วนใหญ่จะเข้าสู่บรรยากาศ ดังนั้นจึงมีการเคลื่อนย้ายของคาร์บอนไปมาระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำกับบรรยากาศอยู่เสมอ

ในแง่ของการบำบัดน้ำเสีย จึงไม่น่าแปลกที่จะพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถลดระดับคาร์บอนลงได้ดีสำหรับน้ำเสียซึ่งมีสารประกอบคาร์บอนต่างๆ อยู่ รวมทั้งลดระดับ BOD ลงด้วย

### การวัดปริมาณคาร์บอน

ในน้ำจะมีสารประกอบคาร์บอนอยู่หลายชนิด ทั้งที่อยู่ในรูปของสารละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ (particulate) จากการวิเคราะห์สามารถแยกชนิดของสารประกอบคาร์บอน ได้ดังนี้

TC = total carbon คือ คาร์บอนทั้งหมด ทั้งที่เป็นแบบละลายน้ำ และแขวนลอย

PC = particulate carbon คือ คาร์บอนที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งในรูปของอินทรีย์ และอนินทรีย์

DC = dissolved carbon คือ คาร์บอนที่ละลายน้ำ ทั้งที่เป็นอินทรีย์ และอนินทรีย์

IC = inorganic carbon คือ คาร์บอนอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นแบบละลาย และแบบแขวนลอย

DIC = dissolved inorganic carbon คือ คาร์บอนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

มักจะประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์โบเนต และไบคาร์โบเนต

TOC = total organic carbon คือ คาร์บอนออร์แกนิกทั้งหมด ทั้งที่เป็นแบบละลายน้ำ และแขวนลอย

DOC = dissolved organic carbon คือ คาร์บอนออร์แกนิกที่ละลายน้ำได้

NDOC = nondissolved organic carbon คือ คาร์บอนออร์แกนิกที่ไม่ละลายน้ำ

VOC = volatile organic carbon คือ คาร์บอนออร์แกนิกที่ระเหยได้

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียมักจะมีคุณสมบัติซับซ้อน และมีความเข้มข้นต่ำ ในแต่ละชนิด จึงมักทำการวิเคราะห์หาปริมาณรวมของสารอินทรีย์ซึ่งมีลักษณะคล้ายกัน แทนที่จะหาปริมาณของสารอินทรีย์แต่ละชนิด ส่วนตัวอย่างของดิน และชีวมวลที่นำมาทำการวิเคราะห์หาสารประกอบคาร์บอนมักจะถูกเผาไหม้ หรือละลายได้ง่าย จึงไม่นิยมหาปริมาณของคาร์บอนในแหล่งดังกล่าว (Kadlec and Knight, 1996)

### วิธีวัดปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีหลายวิธีได้แก่

ก) Biochemical Oxygen Demand (BOD) (CIESE, 2002) จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียมีหน้าที่ในการย่อยสลายของเสียที่เกิดจากอินทรีย์วัตถุ เมื่อสารอินทรีย์ เช่น พืชที่ตายแล้ว ใบไม้ เศษหญ้า ปุ๋ย สิ่งโสโครก หรือแม้กระทั่งของเสียจากอาหาร มีอยู่ในน้ำที่ต้องการบำบัด แบคทีเรียจะมีขบวนการในการย่อยสลายของเสียเหล่านั้น ในขบวนการดังกล่าว แบคทีเรียชนิดแอโรบิกจะต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ในปริมาณมาก เกิดการแย่งชิงออกซิเจนจากสิ่งมีชีวิตในน้ำชนิดอื่นซึ่งต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตเช่นกัน การวัด BOD เป็นการวัดออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายของเสียออร์แกนิก ถ้าของเสียออร์แกนิกมีปริมาณมากจะมีแบคทีเรียจำนวนมากด้วยเพื่อทำการย่อยสลาย ความต้องการออกซิเจนก็จะมีมาก ค่า BOD ก็สูง เมื่อปริมาณของเสียลดลงระดับของ BOD ก็จะลดลงตามไปด้วย

ไนเตรต และฟอสเฟต ในน้ำสามารถทำให้ค่า BOD สูงขึ้นได้ ไนเตรตและฟอสเฟตเป็นสารอาหารของพืช และสามารถทำให้พืชและสาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อพืชโตเร็ว พืชจะตายเร็วด้วย ซึ่งก็จะเป็นการเพิ่มของเสียซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุลงในน้ำ ซึ่งต่อมากจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียมีผลทำให้ระดับ BOD สูงขึ้น

วิธีทดสอบมักใช้เวลาในการทดสอบ 5 วัน และใช้ชุดทดสอบออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ การหาค่า BOD ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า DO ของตัวอย่างน้ำที่เก็บมาทันที กับตัวอย่างน้ำที่เหลือซึ่งจะได้รับการ incubate ใน incubator นาน 5 วัน ความแตกต่างของระดับ DO ทั้งสองค่าจะเท่ากับปริมาณของออกซิเจน ที่แบคทีเรียต้องการ ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในตัวอย่าง และเป็นค่าประมาณของ BOD ที่ดี การทดสอบที่ใช้เวลา 5 วัน บางทีจึงเรียกว่าเป็นค่า BOD<sub>5</sub> ตัวอย่างน้ำที่ตรวจอาจมีจุลินทรีย์ซึ่งใช้ออกซิเจน ในขบวนการ nitrification อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าหากการทดสอบได้มีการยับยั้งความต้องการ ออกซิเจนเพื่อใช้ในการนี้ หรือ nitrogen oxygen demand ผลที่ได้จะได้ค่าของ BOD ซึ่งเกี่ยวข้องกับคาร์บอนโดยเฉพาะ หรือเรียกว่า carbonaceous biochemical oxygen demand หรือ CBOD<sub>5</sub>



ระดับของ BOD<sub>5</sub> ที่ถือว่าอยู่ในระดับดี คือ 1 – 2 ppm แสดงว่าไม่มีของเสียจากสารอินทรีย์อยู่มากในน้ำ น้ำที่มีระดับ BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 3 – 5 ppm ถือว่ามีความสะอาดปานกลาง ถ้าระดับ BOD<sub>5</sub> อยู่ระหว่าง 6 – 9 ppm ถือว่าน้ำนั้นมีความสกปรกเพราะมักจะมีสารอินทรีย์อยู่ และแบคทีเรียกำลังทำการย่อยสลาย ระดับ BOD เท่ากับ 10 ppm หรือมากกว่า ถือว่าน้ำมีความสกปรกมาก จากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์

โดยทั่วไปถ้าระดับ BOD<sub>5</sub> สูง ระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (DO) จะลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียมีสูง และได้ใช้ DO ดังกล่าวไป ถ้าไม่มีของเสียจากสารอินทรีย์อยู่ในน้ำ จะไม่มีแบคทีเรียมากที่จะย่อยสลาย ทำให้ระดับ BOD<sub>5</sub> ต่ำลง และระดับ DO สูงขึ้น

ในสภาวะที่ BOD<sub>5</sub> มีระดับสูง สิ่งมีชีวิตที่สามารถทนต่อภาวะที่มี DO ต่ำอาจมีปริมาณเพิ่มขึ้น สิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจนสูงจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้

#### ข) Chemical Oxygen Demand (COD)

เป็นปริมาณของ oxidant ที่ต้องใช้ในการ oxidize สารอินทรีย์ การวัด oxidant จึงเป็นวิธีวัดสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถ oxidize ได้ oxidant มักเป็นชนิดที่มีความรุนแรง เช่น โพตัสเซียม ไดโครเมต จึงสามารถ oxidize สารประกอบคาร์บอนได้หลายกลุ่ม จึงสามารถวัดคาร์บอนได้หลายชนิดมากกว่าวิธีวัด BOD (Kadlec and Knight, 1996)

#### ค) Total Organic Carbon (TOC)

เป็นการวัด คาร์บอนแบบลดรูป (reduced carbon) ทั้งหมดในตัวอย่างน้ำ โดยวิธี oxidation และตามด้วยการวิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นการวัดปริมาณของอินทรีย์วัตถุทั้งหมด พื้นที่ชุ่มน้ำมีการใช้คาร์บอนจากแหล่งภายนอกอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะเห็นได้จากการที่พื้นที่ชุ่มน้ำสามารถลดค่า BOD<sub>5</sub> และ COD ได้ดี อย่างไรก็ตามพื้นที่ชุ่มน้ำเองก็มีระดับ BOD<sub>5</sub> และ COD อยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดและสภาวะของพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยทั่วไปพื้นที่ชุ่มน้ำจะมี BOD<sub>5</sub> อยู่ในระดับ 1 ถึง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร และ COD อยู่ในระดับ 30 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kadlec and Knight, 1996)

วิธีที่นิยมใช้ในการวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย คือ BOD<sub>5</sub> หน่วยงานซึ่งทำหน้าที่กำกับดูแลเกี่ยวกับน้ำเสียมักกำหนดระดับของน้ำเสียโดยใช้ค่า BOD<sub>5</sub>

#### กลไกในการกำจัดสารอินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน

กลไกในการกำจัดสารอินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบอิสระเหนือพื้นผิวอาจแยกได้เป็น

ก) การแยกโดยทางกายภาพ ข) การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (USEPA, 2000)

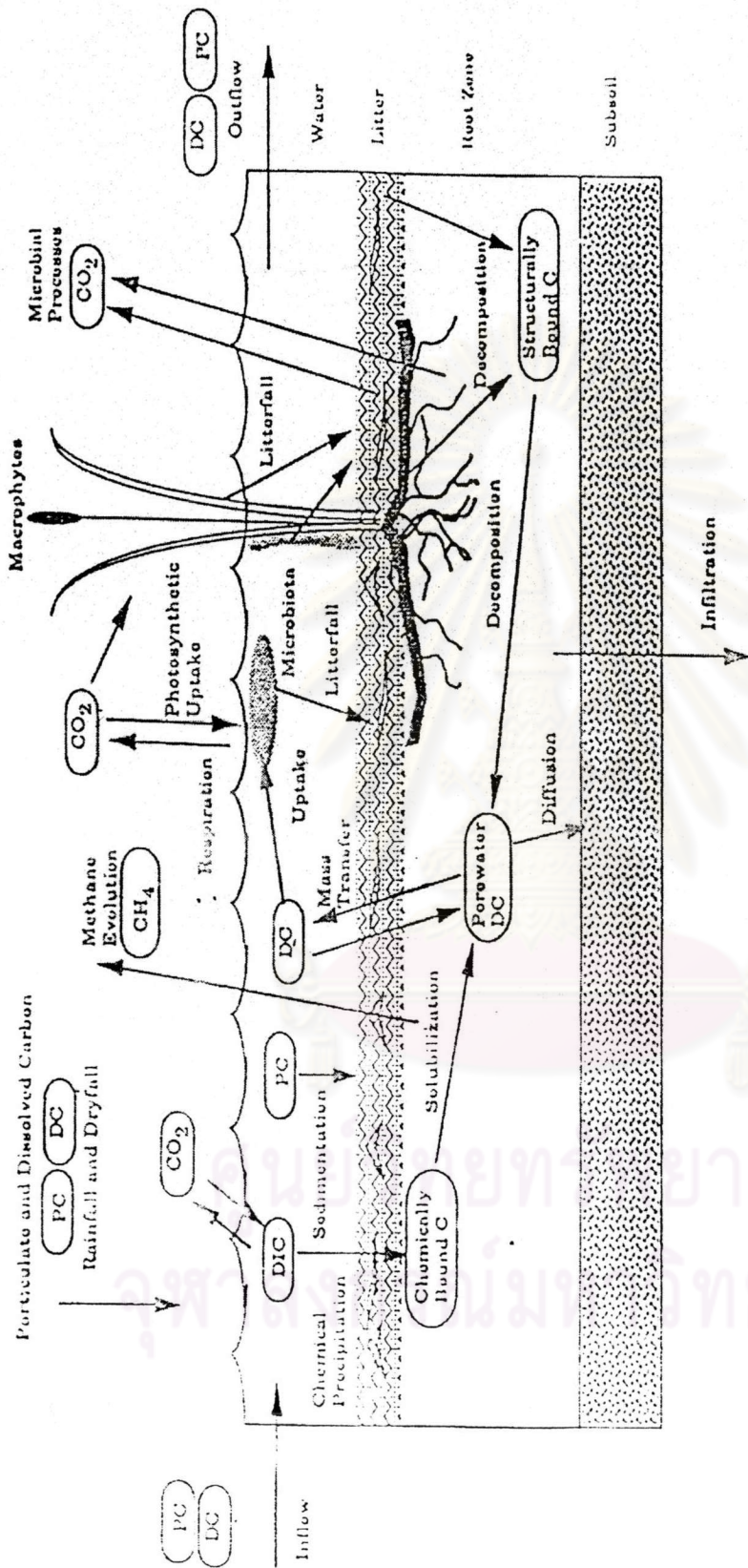
### การแยกโดยทางกายภาพ

น้ำที่เข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำจะประกอบด้วย สารอินทรีย์ทั้งที่เป็นแบบไม่ละลายน้ำ หรือเป็นอนุภาค และแบบที่ละลายน้ำได้ สารอินทรีย์ที่เป็นอนุภาคได้แก่ สารซึ่งเป็น supra colloid มาจากเซลล์ของสาหร่าย การแยกอนุภาคของสารอินทรีย์ เกิดขึ้นได้โดยกลไกเดียวกับการแยก TSS ที่ได้กล่าวมาแล้ว รูปที่ 2.7 แสดงถึงการแยกสารอินทรีย์ที่สำคัญที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน การแปรสภาพทางชีวเคมีของสารอินทรีย์ที่ถูกจับหรืออยู่เป็นที่แล้ว จะมีผลอย่างมากต่อการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งหมด

สำหรับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้นั้นอาจถูกกำจัดโดยขบวนการแยกหลายอย่าง คือ ขบวนการดูดซับ/ดูดซึม (absorption / adsorption) และการระเหย (volatilization)

absorption คือ การเคลื่อนที่ของสารเคมีที่ละลายน้ำได้ผ่านพื้นผิวที่เป็นของแข็งเข้าไป ส่วนการ adsorption เป็นการยึดเกาะของสารเคมีกับพื้นผิวที่เป็นของแข็ง มักเรียกขบวนการทั้งสองว่า sorption การจะเกิด sorption มากน้อยและมีอัตราเร็วแค่ไหนขึ้นกับลักษณะของสารอินทรีย์ และของแข็งซึ่งเป็น substrate นั้น





รูปที่ 2.7 การสะสมและการเคลื่อนย้ายคาร์บอนในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec and Knight, 1996)

DC = Dissolved Carbon , PC = Particulate Carbon , DIC = Dissolved Inorganic Carbon ,

DOC = Dissolved Organic Carbon , CH<sub>4</sub> = Methane , CO<sub>2</sub> = Carbon Dioxide

ในพื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นผิวที่เป็นของแข็งได้แก่ ส่วนของพืชที่ร่วงหล่น (litter) เศษหิน และดิน ซึ่งอยู่ที่ก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำ ลำต้นของพืชและใบมักถูกปกคลุมด้วย periphyton biofilm ขบวนการ sorption อาจเป็นขบวนการที่ย้อนกลับได้หรือไม่ก็ได้ ขึ้นกับสารอินทรีย์ และของแข็ง เมื่อถึงจุดอิ่มตัวสารอินทรีย์ที่ผ่านขบวนการ sorption มักจะมีการแปรสภาพทางชีวเคมี ทำให้เกิดขบวนการ sorption ขึ้นได้อีก นอกจากนี้พื้นผิวที่เป็นของแข็ง ในพื้นที่ชุ่มน้ำก็จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย จากการหมุนเวียนของชีวมวล เชื่อว่าขบวนการ sorption มีบทบาทสำคัญในการแยกสารอินทรีย์ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่ยังไม่สามารถวัดขนาดของการเกิดขบวนการนี้ได้

การระเหย (volatilization) ก็เป็นอีกขบวนการหนึ่งที่มีบทบาทต่อการสูญเสียสารอินทรีย์บางชนิด โดยทั่วไปถ้าหากน้ำที่เข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำได้รับการบำบัดมาก่อนมักจะไม่ค่อยมีปริมาณของสารประกอบคาร์บอนที่ละลายน้ำได้ (VOC<sub>s</sub>) สูง พบว่าบึงน้ำที่รับน้ำเสียจากชุมชนสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้สูงถึง 80 ถึง 96% อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์บางชนิดอาจสร้างขึ้นโดยการแปรสภาพทางชีววิทยา (USEPA,2000)

#### การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

กลไกที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและส่วนประกอบของสารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายได้ในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ ปฏิกริยาทางชีวเคมีซึ่งเป็นกลไกในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิดโดยปฏิกริยา mineralization หรือ gastification นอกจากนี้ปฏิกริยาทางชีวเคมียังทำให้เกิดการสร้างสารอินทรีย์โดยการสังเคราะห์ชีวมวลขึ้นมาใหม่ สิ่งมีชีวิตจะใช้สารอินทรีย์เพื่อการดำรงชีวิตและเพื่อแพร่พันธุ์ สารอินทรีย์ภายในน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงาน และเป็นแหล่งของหน่วยการสร้าง (building blocks) ของโมเลกุลในการสังเคราะห์ชีวมวล ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจึงเป็นการเตรียมโมเลกุลสำหรับสิ่งมีชีวิต หรือเป็นปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสกัดเอาพลังงานออกมา หรือเข้าไปรวมอยู่กับ building blocks ผลผลิตขั้นสุดท้ายของปฏิกริยาก็คือของเสียที่เกิดขึ้นในระบบปฏิกริยาเหล่านี้ได้แก่ ปฏิกริยา oxidation/reduction hydrolysis และ photolysis (Kadlec and Knight,1996)

เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในระบบชีวเคมี จึงอาจแบ่งปฏิกริยาออกเป็น chemotrophic หรือ phototrophic ทั้งนี้ขึ้นกับว่าปฏิกริยานั้นใช้แหล่งพลังงานจากเคมี หรือจากแสง สิ่งแวดล้อมจะมีผลต่อปฏิกริยาเป็นอย่างมาก และอาจแบ่งออกเป็นปฏิกริยาแอโรบิก และปฏิกริยาแอนแอโรบิก ปฏิกริยาแอโรบิกต้องการออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (DO) และเป็นปฏิกริยาที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการเปลี่ยนสารที่ย่อยสลายได้ ไปเป็นแร่ธาตุ ก๊าซ และชีวมวล ปฏิกริยาแอนแอโรบิกจะได้ผลผลิต เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจนอิสระ ซัลเฟอร์ และไฮโดรซัลเฟต เป็นต้น



ปฏิกิริยาแอนแอโรบิกจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าปฏิกิริยาแอโรบิกในการสร้างชีวมวล ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จะเกิดกระบวนการเผาผลาญพลังงาน แบบ แอนแอโรบิก ขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพทางชีวเคมีต่ำ และจะไม่ทำให้มีระดับ BOD (หรือ COD) ลดลงยกเว้นมีการสร้างก๊าซไฮโดรเจนหรือมีเทน พลังงานที่เสียไปในระบบเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว

การแปรสภาพที่กล่าวมาใช้พลังงานทางเคมี การแปรสภาพที่สำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำ ระบบไหลอิสระเหนือผิวดิน และไม่มีต้นพืชปกคลุม จะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำให้เกิดปฏิกิริยา (การสังเคราะห์แสง) ในปฏิกิริยาเหล่านี้ คาร์บอนอินทรีย์แก๊ส (คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนเนต) จะถูกสังเคราะห์เพื่อสร้างชีวมวล และปล่อยออกซิเจนออกมา ดังนั้นจึงมีการสร้างทั้งออกซิเจน และสารอินทรีย์ภายในระบบ

อัตราการเกิด และความสมดุลของปฏิกิริยาต่างๆ ที่กล่าวมาขึ้นกับปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำได้ (DO) อุณหภูมิ ศักยภาพที่จะเกิดปฏิกิริยา oxidation/reduction และลักษณะทางเคมี

ปฏิกิริยาชีวเคมี ที่สำคัญที่เกิดในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นระบบอิสระผ่านพื้นผิวนั้น เกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิตหลายชนิด อาจแบ่งสิ่งมีชีวิตดังกล่าวออกตามตำแหน่งที่อยู่ในโซ่อาหาร (food chain) เป็นผู้ผลิต ผู้บริโภค หรือผู้ทำการย่อยสลาย หรืออาจแบ่งตามรูปแบบชีวิต หรือที่อยู่อาศัย การแบ่งที่นิยมใช้เกี่ยวกับพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ

Benthos	ได้แก่ สิ่งมีชีวิตที่เกาะติดอยู่กับส่วนของพืชที่ร่วงหล่นบริเวณก้นพื้นที่ชุ่มน้ำ หรืออาศัยอยู่ในชั้นของตะกอน
Periphyton	ได้แก่ ทั้งพืชและสัตว์ที่เกาะติดอยู่ตามลำต้นและใบของพืชที่มีราก
Plankton	คือ พืชลอยน้ำ หรือสัตว์ ซึ่งจะเคลื่อนไหวไปตามกระแส
Neuston	คือ พืชหรือสัตว์ที่พัก หรือว่ายอยู่บนพื้นผิวของพื้นที่ชุ่มน้ำ
Nekton	สิ่งมีชีวิตที่ว่ายน้ำได้ ไปยังที่ที่ต้องการไป

เชื่อกันว่าการย่อยสลายโดย แบคทีเรีย และเชื้อรา มีบทบาทที่สำคัญที่สุดของพื้นที่ชุ่มน้ำ ในการกำจัดสารอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับกำจัดสารอินทรีย์โดยวิธี mineralization และ gastification จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายเหล่านี้ยังมีหน้าที่ในการสังเคราะห์ชีวมวล และสร้างสารอินทรีย์ จุลินทรีย์เหล่านี้มักจะแบ่งเป็นกลุ่มดังนี้ แอโรบิก facultative(อยู่ในสภาวะแอโรบิก หรือ แอนแอโรบิกก็ได้) และแอนแอโรบิก หรืออาจแบ่งตามแหล่งของพลังงาน และชนิดของสารประกอบทางเคมีที่ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน

การย่อยสลายในชั้นแรก จะทำให้เกิดสารออร์แกนิกขึ้น และเพิ่มออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการกำจัดและนำเอาสารอาหารในพื้นที่ชุ่มน้ำมาใช้ใหม่ได้ พืชขนาดใหญ่ยังบดบังแสงแดด ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของ periphyton และ plankton ที่อาศัยแสงแดด (USEPA,2000)

### การเคลื่อนย้ายออกซิเจนไปสู่พื้นที่ชุ่มน้ำแบบอิสระเหนือพื้นผิวดิน

ออกซิเจนเป็นสิ่งสำคัญมากในการแปรสภาพทางชีวเคมีของสารอินทรีย์ ปฏิริยาเคมีที่ใช้ออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ เป็นขบวนการซึ่งมีประสิทธิภาพ และจะได้ผลผลิตที่เป็นธาตุ ระบบบำบัดน้ำเสียต้องการสภาพแวดล้อมที่เป็นแอโรบิกมาก โดยเฉพาะถ้าเป็นการบำบัด BOD แหล่งของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นได้แก่ ก) จากบรรยากาศ โดยการเคลื่อนย้ายผ่านพื้นผิวดิน ข) การสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นโดย plankton ชนิดที่สังเคราะห์แสงได้ periphyton และพืชที่อยู่ใต้น้ำ ผลการศึกษาสนับสนุนข้อสมมุติที่ว่าพืชที่โผล่พ้นน้ำ และพืชลอยน้ำรวมทั้งส่วนของพืชที่ร่วงหล่น จะบดบังแสงอาทิตย์จึงยับยั้งการสังเคราะห์แสง และมีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกซิเจนผ่านพื้นผิวดินด้วย ขบวนการสังเคราะห์แสงอาจเกิดได้ในบางพื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำที่แสงยังผ่านถึง และ ค) บทบาทของพืชที่โผล่พ้นน้ำในการเคลื่อนย้ายออกซิเจนไปสู่พื้นที่ชุ่มน้ำยังเป็นข้อถกเถียงกันอยู่เนื่องจากพืชเหล่านี้มักเป็นพืชที่มีรากอยู่ในดินซึ่งมีสภาวะเป็นแอนแอโรบิก จึงต้องมีการพัฒนาวิธีใหม่ในการเคลื่อนย้ายออกซิเจนไปยังรากได้อย่างมีประสิทธิภาพ หนองของต้นไม้ที่ตายหรือหักอาจช่วยในการเคลื่อนย้ายออกซิเจนไปยังบริเวณราก มีหลักฐานเพียงพอที่แสดงว่ามีออกซิเจนปริมาณมากที่ถูกเคลื่อนย้ายโดยผ่านทางเหล่านี้ไปยังราก ก๊าซอย่างอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน อาจเคลื่อนย้ายขึ้นข้างบนโดยทางเดียวกันนี้ การเคลื่อนย้ายก๊าซเป็นผลจากความชื้น อุณหภูมิ การนำพาความร้อน และการกระจาย (diffusion) การแลกเปลี่ยนก๊าซบริเวณรากเกิดขึ้นโดยการ diffusion ออกซิเจนส่วนใหญ่ที่เข้าสู่พืชจะถูกขับออกไปสู่บรรยากาศ แทนที่จะใช้ในการหายใจ หรือขับออกทางราก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้เชื่อว่าการเคลื่อนย้ายออกซิเจนโดยพืชไม่ใช่แหล่งของออกซิเจนที่สำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำส่วนใหญ่

ความเข้มข้นในพื้นที่ชุ่มน้ำระบบไหลอิสระเหนือผิวดินขึ้นอยู่กับอัตราของการเคลื่อนย้ายออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (DO) และอัตราของการใช้ออกซิเจน ถ้าอัตราทั้งสองอย่างมีความสมดุล DO จะมีค่าคงที่ ถ้าการหายใจมีมากกว่า การเคลื่อนย้ายค่า DO จะลดลงถึงศูนย์ และจะเกิดภาวะแอนแอโรบิก สิ่งที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญ คือ จุลินทรีย์และพืชซึ่งจะหายใจเมื่อไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์ แหล่งที่จะต้องทำให้มีความต้องการออกซิเจนได้แก่ สารอินทรีย์ที่เข้ามาสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ สารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในชีวมวล พืชที่ตายแล้ว ซึ่งจะอยู่ที่ผิวหรือก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำ periphyton ที่ตายแล้ว plankton ที่ลอยอยู่ในน้ำ และ



แอมโมเนียไนโตรเจน ในการออกแบบสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำ จะต้องพิจารณาปัจจัยสำคัญอันหนึ่ง คือ การทำให้เกิดความสมดุลของออกซิเจน ซึ่งค่อนข้างยากเนื่องจากความซับซ้อนดังกล่าว อาจเป็นไปได้ที่จะทำการประมาณค่าของความต้องการออกซิเจนในน้ำเข้าที่ใช้ในวงจรคาร์บอน และไนโตรเจน แต่การประมาณการใช้ออกซิเจนของพืชเพื่อการหายใจรวมทั้งการย่อยสลายของคาร์บอนของพืชมีความยุ่งยากมากกว่า

การทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำมีผิวหน้าที่เปิดไม่มีพืชบดบัง อาจเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดการสังเคราะห์แสงของพืชได้น้ำและplankton แต่ยังไม่สามารถประเมินผลได้ ระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในแต่ละวัน ตามขบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ DO ยังเปลี่ยนแปลงตามความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำ และตามอุปสงค์ และอุปทานของออกซิเจนด้วย (Kadlec and Knight, 1996)

### ปฏิกิริยาทางชีววิทยาในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน

สารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำหรือเป็นอนุภาคอาจถูกจับให้อยู่ติดกับ biofilm หรือ periphyton ซึ่งมีอยู่ตามผิวของพืชใล่ล่น้ำ หรือมีการสะสมอยู่ตามพื้นของพื้นที่ชุ่มน้ำ (รูปที่ 2.7) จะมีการสะสมอยู่มากบริเวณพื้นที่ที่ใกล้จุดที่น้ำเข้า นอกจากนี้อนุภาคของสารอินทรีย์ที่มาจากพืชที่ตายแล้วก็มีการสะสมอยู่ที่ก้นของพื้นที่ชุ่มน้ำเช่นกัน ปริมาณของสารเหล่านี้ขึ้นกับชนิดของพืช พืชใล่ล่น้ำจะมีอัตราการผลิต สูงกว่าพืชใต้น้ำ เศษซากที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีสะสมอยู่ก้นพื้นที่ชุ่มน้ำจะย่อยสลายในอัตราที่ต่างกันขึ้นกับส่วนประกอบเซลล์สาหร่ายมีการย่อยสลายช้า พืชใล่ล่น้ำจะสร้างสารซึ่งเป็นโครงสร้าง เช่น เซลลูโลสมากกว่าพืชลอยหรือจมน้ำ และพืชใล่ล่น้ำจะย่อยสลายช้ากว่า (Kadlec and Knight, 1996; USEPA, 2000)

ส่วนใหญ่ของสารอินทรีย์ที่เป็นอนุภาคจะถูก hydrolyze เกิดการสร้างสารประกอบอินทรีย์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า ทำให้ละลายน้ำได้ง่ายขึ้น ถ้ามีออกซิเจน สารประกอบเหล่านี้จะถูก oxidize โดยจุลินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และซัลเฟต ซึ่งอยู่ในรูปของ oxidize และน้ำ ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิคสารประกอบเหล่านี้อาจถูกเปลี่ยนเป็นกรดออร์แกนิก และอัลกอฮอล์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ภายใต้ภาวะแอนแอโรบิคมากๆ อาจมีปฏิกิริยา methanogenesis เกิดขึ้น ซึ่งทำให้สารประกอบเหล่านี้เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ถ้ามีซัลเฟต จุลินทรีย์จะเปลี่ยนซัลเฟตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และซัลไฟด์ ปฏิกิริยาแอนแอโรบิคเหล่านี้จะกำจัดสารอินทรีย์ออกจากระบบ เมื่อความสามารถในการย่อยสลายลดลง อัตราของการย่อยสลายก็จะลดลง และชนิดของผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป อัตราการย่อยสลายขึ้นกับอุณหภูมิ การมีการย่อยสลายเพิ่มขึ้นจะเป็นผลให้มีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ถูกปล่อยออกมาอยู่ในน้ำมากขึ้น และมีความต้องการของออกซิเจนเพิ่มขึ้น

แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ ก) น้ำเสียที่เข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัด ข) การย่อยสลายของอนุภาคที่อยู่ในน้ำเสียและพืช และ ค) เนื้อเยื่อของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว สารที่ละลายน้ำได้นี้มักจะถูกดูดซึมหรือดูดซับ (sorp) เข้าสู่ชีวมวลที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และยังมีอีกส่วนที่กระจายอยู่ในเศษซากที่สะสมกันพื้นที่ชุ่มน้ำ สารอินทรีย์ที่ถูกดูดซึมหรือดูดซับจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่อยู่ใน biofilms ขบวนการย่อยสลายและผลผลิตขึ้นกับว่ามีออกซิเจนหรือไม่ ดังได้กล่าวไว้แล้วว่าพื้นที่ชุ่มน้ำบริเวณที่มีพืชใล่เหนือน้ำอยู่หนาแน่นจะมีออกซิเจนปริมาณน้อย ทำให้น้ำบริเวณนี้อยู่ในภาวะแอนแอโรบิก ภาวะแอนแอโรบิกจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับสารอินทรีย์และสารอาหารที่มีอยู่ พื้นที่ชุ่มน้ำบริเวณที่เปิดและมีพืชใล่ได้น้ำอยู่ รวมทั้งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีพืชใล่พื้นน้ำจะมีสภาวะแอโรบิกตลอดความลึกของพื้นที่ชุ่มน้ำ

กลไกที่ควบคุมการกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ในพื้นที่ชุ่มน้ำได้แก่การย่อยสลาย (biodegradation) การ sorption และ photolysis สารอินทรีย์ที่ต่างชนิดกันอาจมีกลไกที่ต่างกัน ดังนั้น ในการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำจึงต้องพิจารณาถึงกลไกหลักสำหรับสารอินทรีย์ที่ต้องการบำบัด

### 2.1.3.3 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญเนื่องจาก ก) ถ้ามีการสะสมของไนโตรเจนมากเกินไป อาจนำไปสู่ภาวะไม่สมดุลของระบบนิเวศน์ซึ่งมีผลทำให้มีการเจริญเติบโตของพืช และสัตว์มากเกินไป โดยเฉพาะเกิดการเบ่งบานของสาหร่าย ทำให้คุณภาพของน้ำลดลง เรียกว่าภาวะนี้ว่า eutrophication ข) การมีแอมโมเนีย แบบ un-ionized ที่มีความเข้มข้นสูงจะเป็นพิษต่อปลาและสิ่งมีชีวิตอื่นในน้ำ ค) การปนเปื้อนไนเตรต และไนไตรต์ เป็นปัญหาที่สำคัญทางสาธารณสุข อาจทำให้เกิดสภาวะ methemoglobinemia และเป็นสารก่อมะเร็ง ง) แอมโมเนียไนโตรเจน อาจทำให้ระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ ลดลงในน้ำตามธรรมชาติ โดยปฏิกิริยา nitrification ของแบคทีเรีย ดังนั้น จึงมีกฎระเบียบให้ทำการควบคุมไนโตรเจนทุกชนิด แต่โดยส่วนใหญ่ จะกำหนดให้ควบคุมแอมโมเนีย หรือ total nitrogen (TN) ทั้งนี้ขึ้นกับว่าน้ำเสียที่จะทำการบำบัดมาจากแหล่งใด ถ้าเป็นน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว อาจมีไนโตรเจนที่เป็นแบบ reduced หรือ oxidized และออร์แกนิกไนโตรเจนมักเกิดจากเซลล์ของสาหร่ายในการประเมินประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของพื้นที่ชุ่มน้ำจะต้องประเมินทั้ง total nitrogen และชนิดของไนโตรเจน เพราะความสมดุลในระบบนิเวศน์ จะเกิดจากไนโตรเจนทั้งหมดไม่ใช่จากไนโตรเจนเพียงหนึ่งหรือสองชนิด (Kadlec and Knight, 1996)



### การวัดไนโตรเจน

จากการวิเคราะห์ ออร์แกนิกไนโตรเจนและแอมโมเนียสามารถวัดรวมกันได้ และเรียกว่า Total Kjeldahl Nitrogen หรือ TKN ออร์แกนิกไนโตรเจนในน้ำเสียประกอบด้วย โปรตีน peptides กรดนิวคลีอิก และยูเรีย ออร์แกนิกไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำได้หรืออนุภาค ไนโตรเจนชนิดอื่นๆ เป็นแบบที่ละลายน้ำได้ แอมโมเนียไนโตรเจนอาจพบได้ในรูปของ un-ionized หรือ  $\text{NH}_3$  หรือ ในรูปของ ionized หรือ  $\text{NH}_4^+$  ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิ และ pH ของน้ำ ในพื้นที่ชุ่มน้ำส่วนใหญ่จะมีแบบ ionized มากกว่า

### การแยกและการแปรสภาพของไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ เกิดขึ้นได้โดยการแยกทางกายภาพ และการแปรสภาพของไนโตรเจน

### การแยกทางกายภาพของไนโตรเจน

มีขบวนการแยกไนโตรเจนทางกายภาพหลายอย่าง ในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ (Kadlec and Knight, 1996)

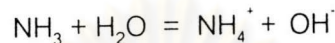
- ก) ไนโตรเจนซึ่งรวมอยู่ในของแข็งแขวนลอย (ออร์แกนิกไนโตรเจน) อาจถูกกำจัดโดยขบวนการหลายอย่างซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในการกำจัด TSS ได้แก่ ขบวนการ flocculation การตกตะกอน การกรอง และ interception อาจเกิดการ sorption ของ ออร์แกนิกไนโตรเจนทั้งที่เป็นแบบอนุภาค และที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเกิดขึ้นที่ biofilm ของพืชที่ไหลเหนือน้ำ ส่วนของพืชที่ร่วงหล่น หรือเศษซากต่างๆ บริเวณก้นพื้นที่ชุ่มน้ำ
- ข) การแลกเปลี่ยนไอออน ของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4^+$ ) โดยแร่ธาตุในโคลนบริเวณพื้นดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ อาจเป็นวิธีแยกไนโตรเจนได้ ถ้าหากไนโตรเจนมีการแพร่กระจาย (diffusion) เข้าสู่ชั้นของดิน หรือถูกสร้างขึ้นมาโดยขบวนการ ammonification ของของแข็งที่เป็นออร์แกนิกไนโตรเจน ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนโดยกลไกนี้มีข้อจำกัดในระยะยาว เหตุผลส่วนหนึ่งเกิดจากการทับถมเศษซากต่างๆ ทำให้โคลนแยกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ แร่ธาตุในโคลนจึงไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้
- ค) ก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) อาจถูกกำจัดออกจากระบบโดยการระเหย (volatilization) แม้ว่าในสภาวะ pH ที่เป็นกลาง ระดับของแอมโมเนีย ชนิด ionized จะต่ำ แต่ในระหว่างที่มีขบวนการสังเคราะห์แสงในพื้นที่ชุ่มน้ำบริเวณที่เปิดไม่ถูกปกคลุมหรือบดบังโดยพืชใด ๆ pH อาจสูงขึ้นไปกว่าค่าความเป็นกลาง เมื่อ pH สูงส่วนของ  $\text{NH}_3$  ( $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ ) อาจสูงขึ้นไปถึง 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ถ้ามีลมพัดด้วยจะเกิดการสูญเสียแอมโมเนีย โดยการระเหยได้ด้วย

### การแปรสภาพของไนโตรเจนทางชีววิทยา

ขบวนการแปรสภาพของไนโตรเจนทางชีววิทยา ประกอบด้วย ammonification nitrification denitrification nitrification และ assimilation

#### แอมโมเนีย

แอมโมเนียไนโตรเจน ประกอบด้วย ไนโตรเจนหนึ่งอะตอม ซึ่งเป็น reduced form ซึ่งมีภาวะออกซิเดชัน -3 มีไฮโดรเจน 3 หรือ 4 อะตอม ขึ้นกับอุณหภูมิ และ pH ของน้ำ



$\text{NH}_3$  เป็นแอมโมเนียแบบ un-ionized และ  $\text{NH}_4^+$  เป็นแอมโมเนีย แบบ ionized total ammonia มีค่าเท่ากับผลบวกของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{NH}_4^+$  รวมกันพื้นที่ชุ่มน้ำส่วนใหญ่จะมี  $\text{NH}_4^+$  มากกว่า และมักเรียกว่า แอมโมเนียมไนโตรเจน

ในสิ่งแวดล้อมปกติ ซึ่งมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ pH เท่ากับ 7  $\text{NH}_3$  จะมีเพียง 0.7 เปอร์เซ็นต์ ของ total ammonia ถ้า pH มีค่า 9.5 และ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส  $\text{NH}_3$  จะเพิ่มเป็น 72 เปอร์เซ็นต์ ถ้า pH และอุณหภูมิต่ำลง เปอร์เซ็นต์ของ un-ionized ammonia จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ  $\text{NH}_3$  สามารถระเหยได้ถ้าหากอยู่ในภาวะที่มี pH และอุณหภูมิสูง ทำให้มีการสูญเสียแอมโมเนีย จากพื้นที่ชุ่มน้ำ

แอมโมเนียไนโตรเจนมีความสำคัญในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเนื่องจาก ก) เป็นสารอาหารไนโตรเจนที่พืชส่วนใหญ่และแบคทีเรียชอบมาก ข) แอมโมเนียอยู่ในรูป reduced จึงถูก oxidize ได้ง่าย มีผลทำให้มีการใช้ออกซิเจนมาก และ ค) แอมโมเนียที่อยู่ในรูป un-ionized มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

#### ไนไตรต์ ( $\text{NO}_2^-$ )

ไนไตรต์ มีภาวะออกซิเดชันอยู่ +3 ระหว่าง แอมโมเนีย (-3) และ nitrate (+5) ไนไตรต์จึงไม่ค่อยคงตัวและมีความเข้มข้นต่ำมากในพื้นที่ชุ่มน้ำส่วนใหญ่

การตรวจพบไนไตรต์ในพื้นที่ชุ่มน้ำมักแสดงว่ามีขบวนการ assimilation ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น และมีไนโตรเจนจากแหล่งอื่น

#### ไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ )

ไนเตรตมีภาวะออกซิเดชันสูงที่สุดคือ +5 เมื่อเทียบกับสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่น ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ไนเตรตจึงมีความคงตัวและไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง ถ้าไม่มีขบวนการที่ต้องใช้พลังงานจากขบวนการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนหลายอย่างเกิดขึ้น



### ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของก๊าซ และที่อยู่ในบรรยากาศ

ก๊าซไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ ไดไนโตรเจน( $N_2$ ) ไนตรัสออกไซด์( $N_2O$ ) ไนตริกออกไซด์( $NO_2$  และ  $N_2O_4$ ) และแอมโมเนีย( $NH_3$ ) ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ปกติ ไดไนโตรเจนจะเป็นส่วนที่มากที่สุดในบรรยากาศ คือ มีประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรของอากาศ ไนตรัสออกไซด์เป็นผลผลิตในระหว่างกลางของขบวนการ denitrification ของจุลินทรีย์ และอาจใช้เป็นตัววัดถึงขบวนการในพื้นที่ชุ่มน้ำได้ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างไดไนโตรเจน และไนตรัสออกไซด์ คือ ระหว่าง 100 : 1 ถึง ต่ำกว่า 10 : 1 (Reddy and Patrick, 1984)

ทั้งไดไนโตรเจน และ ไนตรัสออกไซด์ เป็นก๊าซที่ค่อนข้างเฉื่อยในขบวนการ eutrophication และมีผลต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำน้อยมาก

ไนโตรเจนในบรรยากาศยังประกอบด้วยไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ และจะอยู่ในหยดน้ำ ในเมฆ และฝน ไนตรัสออกไซด์และแอมโมเนียสามารถละลายน้ำได้ และจะมีปฏิกิริยากับน้ำเพื่อสร้างไนเตรต( $NO_3^-$ ) และแอมโมเนียม( $NO_4^+$ ) การระเหย(volatilization) และการสันดาปซากสัตว์เป็นเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดก๊าซเข้าสู่บรรยากาศ และฝนตกจะนำเอากลับมาสู่พื้นดินอีก เช่นเดียวกับออกซิเจน ก๊าซไดไนโตรเจน และไนตรัสออกไซด์จะอยู่ในรูปของสารละลายในน้ำในสัดส่วนที่ขึ้นกับความดันของก๊าซในบรรยากาศ อย่างไรก็ตามก๊าซเหล่านี้มีบทบาททางชีววิทยาน้อยกว่าก๊าซออกซิเจนมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ ความเข้มข้นของก๊าซเหล่านี้ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเท่านั้น

### สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน

อินทรีย์ไนโตรเจน ประกอบด้วย สารประกอบหลายชนิด ได้แก่ กรดอะมิโน ยูเรีย และ กรดยูริค และ พิวรีนและพิริมิดีน ปริมาณของอินทรีย์ไนโตรเจนในตัวอย่างของน้ำทำการวัดโดยการหักลบค่าของความเข้มข้น แอมโมเนียไนโตรเจน ( $HN_4^+N$ ) ออกจากค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ซึ่ง TKN นี้เป็นค่าที่ได้จากการวัดอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน

### กรดอะมิโน

กรดอะมิโนเป็นส่วนประกอบหลักของโปรตีน จึงเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีความซับซ้อน และเป็นส่วนสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกๆ ชนิด กรดอะมิโนประกอบด้วย amine group ( $-NH_2$ ) และ acid group ( $-COOH$ ) amine group มีความสำคัญมาก ต่อการสร้าง peptide chain ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน ไนโตรเจนในกรดอะมิโนจะมีปริมาณประมาณ 1 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งของพืช หรือสัตว์

### ยูเรีย และกรดยูริก

ยูเรีย ( $\text{CNH}_2\text{O}$ ) และกรดยูริก ( $\text{C}_4\text{N}_4\text{H}_4\text{O}_3$ ) เป็นสารประกอบไนโตรเจนซึ่งมีฟอร์มง่ายที่สุดในน้ำ ยูเรียสร้างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เพื่อเป็นกลไกในการขับถ่าย แอมโมเนียซึ่งเป็นผลจากการใช้กรดอะมิโนเพื่อให้ได้พลังงาน เนื่องจากแอมโมเนียเป็นพิษ จะต้องเปลี่ยนเป็นยูเรียก่อนส่วนกรดยูริกสร้างขึ้นโดยแมลงและนก โดยวัตถุประสงค์เดียวกัน สารประกอบไนโตรเจนชนิดนี้มี ความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพราะ เป็นสารที่ถูก hydrolyze ได้ง่าย มีผลให้มีการปล่อยแอมโมเนียออกมา

### พิวรีน และพิริมิดีน

พิวรีนและพิริมิดีน ถูกสร้างขึ้นมาจากกรดอะมิโน เพื่อเป็นหน่วยการสร้าง (building block) ของนิวคลีโอไทด์ ซึ่งจะประกอบกันเป็น DNA ของสิ่งมีชีวิต

### ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)

ค่าของไนโตรเจนที่มีอยู่ในรูปแบบต่างๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ อาจนำมารวมกันเพื่อประมาณค่าไนโตรเจนทั้งหมด หรือ TN การคำนวณ TN สามารถคำนวณได้โดยการนำเอาค่า TKN (สารอินทรีย์ไนโตรเจน) และแอมโมเนียไนโตรเจน มารวมกับค่าความเข้มข้นของไนไตรต์และไนเตรต ( $\text{NO}_x - \text{N}$ ) ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ไนโตรเจนจะมีอยู่ในเศษหิน ดินและเนื้อเยื่อทางชีวภาพ ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งอาจจะละลายน้ำหรือไม่ก็ได้ ระดับของ TN ที่สะสมในพื้นที่ชุ่มน้ำ จะมีค่าประมาณ ระดับของ TKN

### การสะสมไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ไนโตรเจนจะถูกสะสมอยู่ในหลายแห่งในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ

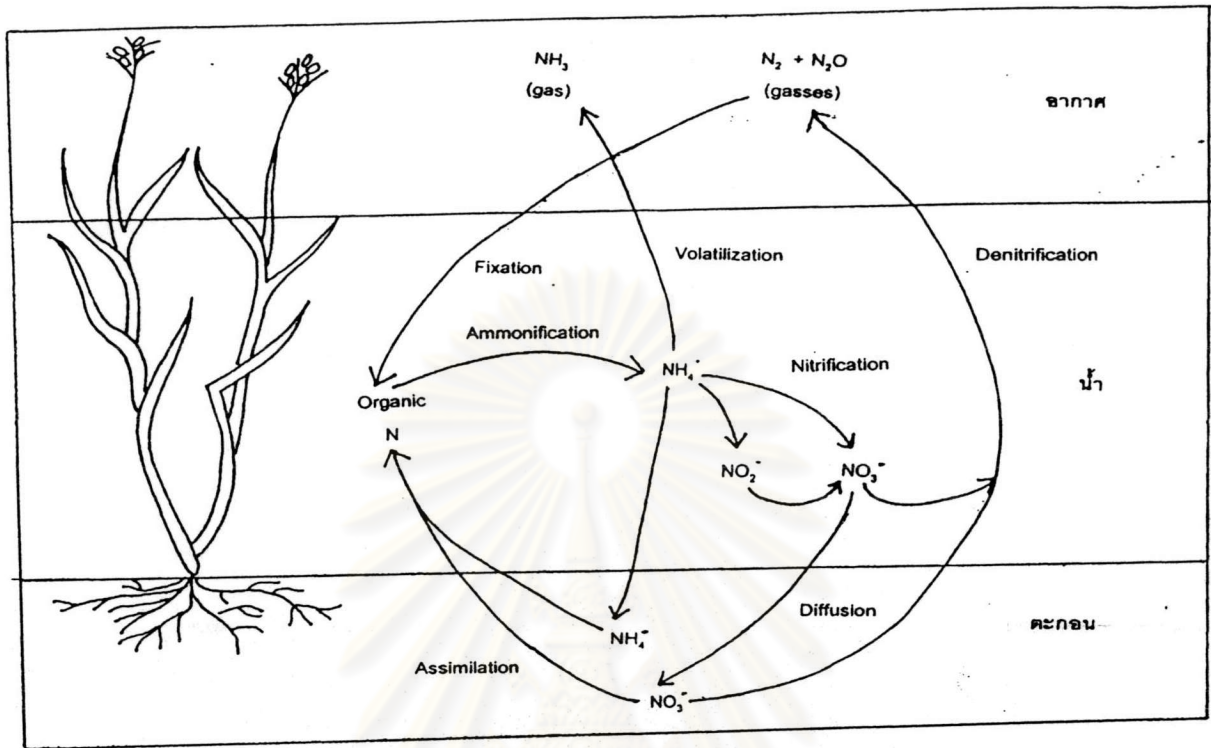
- ก) สิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำได้แก่พืชและสัตว์ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดหรือพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต สถานที่และฤดูกาล นอกจากนี้พืชยังมีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกันไปตามการเปลี่ยนแปลง และตามส่วนของพืชด้วย เช่นใบของต้นธูปฤาษีที่ตายแล้วแต่ยังไม่ร่วงหล่นมีปริมาณไนโตรเจน 1.1 เปอร์เซ็นต์ และถ้าร่วงหล่นแล้วมี 2.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจน จะต่างกันระหว่างราก และหน่อ ของต้นธูปฤาษี เป็นต้น ใน periphyton หรือ biofilms ก็เป็นแหล่งสะสมของไนโตรเจนอีกแหล่งหนึ่ง นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์ทั้งหลาย ได้แก่ แบคทีเรีย และ plankton เป็นต้น
- ข) ตะกอนที่ก้นพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งเกิดจากการทับถมของสิ่งทีร่วงหล่นโดยเฉพาะพืชพบว่า มีไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งของตะกอนดังกล่าว



- ค) ของแข็งแขวนลอย(TSS) ของแข็งแขวนลอยชนิดที่มาจากสารอินทรีย์ หรือแร่ธาตุ มีส่วนประกอบของไนโตรเจน ทั้งสิ้น
- ง) ในน้ำ และในดินของพื้นที่ชุ่มน้ำ
- พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย จะมีสารอาหารสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ ทำให้สิ่งมีชีวิต เช่น พืช จะมีปริมาณไนโตรเจน สูงกว่าเมื่ออยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ใช้บำบัด เทียบกับที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ นอกจากนี้การสะสมไนโตรเจนยังเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ซึ่งอาจเป็นผลมาจากวงจรการเจริญเติบโตของพืช (Kadlce and Knight, 1996)

### การแปรสภาพทางชีวภาพของไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ

รูปที่ 2.8 ได้แสดงถึงวัฏจักรไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ ไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ จะมีการหมุนเวียนอยู่ในวงจรของการแปรสภาพทางเคมี เป็นการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ บางขบวนการของการเปลี่ยนแปลงนี้ต้องการพลังงาน ซึ่งโดยทั่วไปจะได้มาจาก ออร์แกนิกคาร์บอน บางขบวนการมีการปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะถูกใช้ไปโดย สิ่งมีชีวิตเพื่อการเจริญเติบโต และการยังชีพ การแปรสภาพทั้งหลายนี้มีความจำเป็นต่อระบบ นิเวศน์ของพื้นที่ชุ่มน้ำในการทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียให้ได้ผล การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ถูกควบคุม โดยเอนไซม์ และตัวเร่ง (catalyst) ซึ่งสร้างจากสิ่งมีชีวิต ที่ได้รับประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลง ดังกล่าวมีขบวนการหลายอย่างซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายสารประกอบไนโตรเจน จากแห่งหนึ่ง ไปยังอีกแห่งหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารประกอบนั้น การเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นโดยทางกายภาพดังกล่าว ได้แก่ ก) การหยุดนิ่งอยู่กับที่ของอนุภาค และการกลับมาแขวนลอยในน้ำอีก (particulate settling และ resuspension) ข) การแพร่กระจาย (diffusion) ของสารประกอบไนโตรเจนชนิดที่ละลายน้ำได้ ค) การดูดซึมของพืชและ translocation ง) การร่วงหล่นลงสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น การร่วงหล่นของใบไม้ (litterfall) จ) การระเหย ของแอมโมเนีย ฉ) การ sorption ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ ช) เมล็ดพืช และ ซ) การเคลื่อนย้ายของ สิ่งมีชีวิตนอกจากนี้ยังมีการแปรสภาพของไนโตรเจน จากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่ง โดยขบวนการ ก) ammonification (mineralization) ข) nitrification ค) denitrification ง) nitrogen fixation และ จ) nitrogen assimilation (Kadlec and Knight, 1996)



รูปที่ 2.8 วัฏจักรไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ  
ที่มา : Kedlec and Knight, 1996

**Ammonification**

Ammonification เป็นขบวนการแปรสภาพทางชีววิทยาของสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย และเป็นขั้นตอนแรกในการ mineralization ของสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Reddy และ Patrick, 1984) ขบวนการนี้จะเกิดขึ้นโดย ก) การย่อยสลายเนื้อเยื่ออินทรีย์ที่มีกรดอะมิโนโดยจุลินทรีย์ ข) การขับถ่าย แอมโมเนียโดยตรงจากพืชและสัตว์ และ ค) โดยการ hydrolysis ของยูเรียและ กรดยูริค

การเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย เป็นขบวนการทางชีวเคมีที่มีความสลับซับซ้อนหลายขั้นตอน และมีการปล่อยพลังงานออกมา

ในบางกรณีพลังงานที่ปล่อยออกมาจะถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ เพื่อการเจริญเติบโต และแอมโมเนียยังเข้าไปร่วมเป็นส่วนหนึ่งของมวลชีวจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ไนโตรเจนส่วนใหญ่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียได้อย่างรวดเร็วง่ายดาย การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำจึงต้องออกแบบให้มีสมรรถภาพในการ oxidize ไนโตรเจน ในรูป reduced ให้เพียงพอ ขบวนการ ammonification จะดำเนินไปได้รวดเร็วกว่าขบวนการ nitrification ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้น



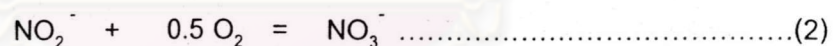
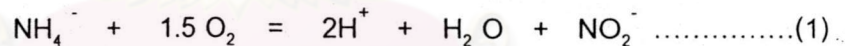
ของแอมโมเนียสูงขึ้นได้ง่าย การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่จะช่วยในการบำบัดไนโตรเจน คือ การออกแบบเพื่อให้ขบวนการ nitrification ช้าลง

แบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่ในการ ammonification ส่วนใหญ่จะพบได้ในบริเวณรากของพืช ขบวนการ ammonification จะดำเนินไปช้ากว่า ในสภาวะแอนแอโรบิก เมื่อเทียบกับแอโรบิก เพราะการย่อยสลายจะมีประสิทธิภาพลดลงในสภาวะแอนแอโรบิก อย่างไรก็ตาม แอมโมเนียไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในระบบแอนแอโรบิกมากกว่า เพราะอัตราความเร็วของขบวนการ nitrification ลดลง และแอมโมเนียไนโตรเจนอาจมีปริมาณมากกว่าในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีระดับออกซิเจนต่ำ ในสภาวะแอโรบิก แอมโมเนียที่ได้จาก ammonification และ Total Nitrogen (TN) มักจะลดลงจากขบวนการ denitrification

อัตราความเร็วของขบวนการ ammonification ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และ pH

#### Nitrification

ขบวนการ nitrification คือ กลไกหลักของการแปรรูปซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นสำหรับบำบัดน้ำเสีย เป็นขบวนการที่มีการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต ขบวนการนี้มีสองขั้นตอน (Peddy and Patrick, 1984) ซึ่งสรุปเป็นสมการได้ดังนี้



ขั้นตอนแรกในสมการที่ 1 จะเกิดขึ้นโดยมีแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* และขั้นตอนที่สองมี แบคทีเรียชนิด *Nitrobacter* ทำหน้าที่เป็นสื่อ ขบวนการจะดำเนินต่อไปได้จะต้องมีออกซิเจน ซึ่งได้จากบรรยากาศ และการเคลื่อนย้ายผ่านน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

ปฏิกิริยาในสมการที่ 1 และสมการที่ 2 จะทำให้เกิดพลังงานซึ่งจะถูกใช้โดยแบคทีเรีย *Nitrosomas* และ *Nitrobacter* ในการสังเคราะห์เซลล์

#### Denitrification

ขบวนการทางชีวเคมี ซึ่งทำให้เกิด nitrogen fixation อาจทำให้ก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศหมดสิ้นไปในที่สุด ถ้าหากวัฏจักรไนโตรเจนไม่มีการปล่อย ไนโตรเจนออกมาจากขบวนการ denitrification denitrification เป็นขบวนการ reduction ซึ่งต้องการพลังงาน โดยมีการ

เพิ่มอิเล็กตรอนเข้าไปในไนเตรตไนโตรเจน หรือ ไนไตรต์ไนโตรเจน เป็นผลให้เกิดการสร้างก๊าซไนโตรเจน ไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) หรือกรดไนตริก (NO)

denitrification เป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นใน heterotrophic metabolism ที่เกิดขึ้นในน้ำหรือในดิน ซึ่งอยู่ในภาวะขาดออกซิเจน แบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่ในขบวนการนี้ที่สำคัญ ได้แก่ *Bacillus*, *Enterobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, และ *Spirillum* แบคทีเรียเหล่านี้จะไม่ทำการ denitrify ไนเตรต หากมี ออกซิเจน

การกำหนดระดับของไนเตรตและไนไตรต์ในกฎระเบียบสำหรับควบคุมน้ำเสียมักจะรวมเอาไนเตรตและไนไตรต์ไว้ด้วยกัน เนื่องจากไนไตรตเป็นแบบฟอร์มที่ไม่ค่อยคงที่ จึงมักเรียกรวมกันว่าเป็น oxidized nitrogen หรือ  $NO_x - N$  หรือ total oxidized nitrogen (TON) เนื่องจากไนไตรต์จะมีความเข้มข้นต่ำมาก จึงเรียกว่า nitrate nitrogen

การกำจัดไนเตรต ในพื้นที่ชุ่มน้ำน่าจะมาจากขบวนการ denitrification เป็นหลัก พืชมักดูดซึมแอมโมเนียมไปเป็นอาหารมากกว่าไนเตรต

#### Nitrogen fixation

Nitrogen fixation เป็นขบวนการซึ่งก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศแพร่กระจายเข้าสู่สารละลาย และถูก reduce เป็นแอมโมเนียไนโตรเจน โดย ก) แบคทีเรียทั้งที่เป็นชนิด autotrophic และ heterotrophic ข) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และ ค) พืชชั้นสูงกว่า การ fix ไนโตรเจนจากบรรยากาศยังเกิดขึ้นได้ในขณะเกิดฟ้าแลบ

Nitrogen fixation ที่เกิดขึ้นทางชีวภาพ เป็นขบวนการปรับตัวซึ่งทำให้ได้ ไนโตรเจน สำหรับสิ่งมีชีวิตในการเจริญเติบโตในสภาวะที่ถ้าไม่มีขบวนการนี้แล้ว ก็จะไม่มีการใช้ไนโตรเจนใช้แม้ว่าการมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงจะไม่ยับยั้งขบวนการ nitrogen fixation แต่โดยทั่วไปจะไม่พบขบวนการดังกล่าวในระบบนิเวศที่มีไนโตรเจนสูง เนื่องจากขบวนการนี้ใช้พลังงานที่สะสมไว้จากแหล่ง autotrophic หรือ heterotrophic จึงไม่ใช่ขบวนการในการปรับตัวเมื่อมีไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต มีรายงานว่ามีการมีแอมโมเนียไนโตรเจนจะยับยั้งขบวนการ nitrogen fixation (USEPA, 2000)

#### Nitrogen Assimilation

Nitrogen assimilation หมายถึง ขบวนการทางชีวภาพหลายอย่างซึ่งเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ไปเป็นสารประกอบออร์แกนิกไนโตรเจน ซึ่งออร์แกนิกไนโตรเจนนี้จะใช้เป็นหน่วยการสร้าง (building block) สำหรับเซลล์และเนื้อเยื่อ ไนโตรเจนสองแบบที่มักใช้



ในขบวนการนี้ คือ แอมโมเนีย และ ไนเตรตไนโตรเจน เนื่องจากแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นรูปที่ reduced กว่า ไนเตรต จึงเป็นแบบที่ถูกใช้ในขบวนการนี้มากกว่า

สิ่งมีชีวิตใช้ในเตรตและแอมโมเนียร่วมกับขบวนการย่อยสลาย เพื่อปล่อยออร์แกนิกไนโตรเจนและแอมโมเนีย กลับเข้าไปสู่น้ำ น้ำหนักแห้งของวัตถุทางชีวภาพทั้งหลายจะประกอบด้วย ไนโตรเจนประมาณ 1.5 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 2.3 เปอร์เซ็นต์

ขบวนการ assimilation ไม่ได้เกิดขึ้น เพื่อการเจริญเติบโตของพืชโต (macrophyte) เพียงอย่างเดียว สาหร่ายก็ใช้สารอาหารชนิดนี้ในการเจริญเติบโตด้วย นอกจากนี้จุลินทรีย์ทั้งชนิดที่เป็น autotroph และ heterotroph ก็ใช้แอมโมเนียเพื่อสร้างกรดอะมิโน วงจร Kreb จะทำให้เกิดกรดออร์แกนิก เช่น กรดไพรูวิก เพื่อให้เกิดพลังงานในการสร้างกรดอะมิโน กรดอะมิโนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโนอย่างอื่นหรือโปรตีน พิวรีน และพิริมิดีน

ชีวมวลส่วนใหญ่ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ จะย่อยสลายทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอน และไนโตรเจนออกมา ตำแหน่งที่มีการปล่อยธาตุถึงสองชนิดออกมา เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อวัฏจักรไนโตรเจนของพื้นที่ชุ่มน้ำ ไนโตรเจนบางส่วนจะถูกปล่อยกลับไปสู่สู่น้ำ บางส่วนจะเข้าสู่ขบวนการแอโรบิกในพืชที่ตายแล้วแต่ยังยืนต้นอยู่ หรือใบของพืชที่ร่วงหล่น และบางส่วนอาจไปอยู่บริเวณลำต้นใต้ดิน การย่อยสลายที่เกิดขึ้นเหนือดินมักเป็น ขบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน เช่น nitrification

#### การแยกหรือการกำจัดไนโตรเจนโดยทางกายภาพ

ในวัฏจักรไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ ยังมีเส้นทางอื่น ๆ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้อง ขบวนการดังกล่าวที่สำคัญได้แก่ ก) ไนโตรเจนที่ได้จากฝุ่นละออง และฝนในบรรยากาศ ข) การระเหยของแอมโมเนีย ค) ไนโตรเจนที่ได้จากการย่อยสลายชีวมวล ง) การฝังออร์แกนิกไนโตรเจนในดิน และ จ) การดูดซับ (adsorption) แอมโมเนีย (Kadlec and Knight, 1996)

#### ไนโตรเจนที่ได้จากบรรยากาศ

ไนโตรเจนที่ได้จากบรรยากาศมีทุกแบบทั้งที่เป็นแบบอนุภาค และละลายน้ำได้เป็นสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ฝนตกจะให้ไนโตรเจนมากกว่าฝุ่นละอองประมาณครึ่งหนึ่งของไนโตรเจนที่ได้จากบรรยากาศจะเป็นแอมโมเนีย และไนเตรตไนโตรเจน ไนโตรเจนที่ได้จากฝุ่นละอองบางส่วนเกิดจากการ adsorption ของแอมโมเนียในบรรยากาศ และจากฝุ่นที่มีสารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย ออร์แกนิก ไนโตรเจน (Kadlec and Knight, 1996)

### การระเหย (volatilization) ของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่ไม่ถูก ionize จะค่อนข้างระเหยง่าย และสามารถกำจัดออกจากสารละลายเพื่อให้เข้าสู่บรรยากาศได้ โดยการแพร่กระจายในน้ำขึ้นไปถึงชั้นผิวน้ำ และมีการเคลื่อนย้ายจากผิวน้ำเข้าสู่บรรยากาศ แอมโมเนียที่ไม่ถูก ionize มักจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ

### การย่อยสลายของชีวมวล

ไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมโดยพืช ส่วนหนึ่ง จะถูกปล่อยออกมาในระหว่างการย่อยสลาย

### ออร์แกนิกไนโตรเจนที่ถูกฝังไว้

บางส่วนของออร์แกนิกไนโตรเจน จะถูกรวมเข้าไปอยู่ในเศษหิน กรวด ททราย ของพื้นที่ชุ่มน้ำ และในที่สุด ก็จะไม่กลับเข้ามาในวัฏจักรไนโตรเจน ของพื้นที่ชุ่มน้ำอีก โดยจะกลายเป็นถ่านหิน เลน (peat) หรือ ถูกฝังไว้ใต้ดิน ขบวนการนี้มีความสำคัญในสถานะที่มีปริมาณไนโตรเจนไม่สูง

### การดูดซับแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ ionized อาจถูกกำจัดจากสารละลายโดยการดูดซับ โดยมีการดูดซับกับเศษหินดินทราย และตะกอนสารอนินทรีย์ ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เป็นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน แอมโมเนียที่ถูกดูดซับจะรวมตัวกับสิ่งที่ดูดซับอย่างหลวมๆ และอาจถูกปล่อยออกมาได้อย่างง่ายดายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะทางเคมีของน้ำ เช่นถ้าแอมโมเนียในน้ำมีความเข้มข้นต่ำลง ก็จะมีการปล่อยแอมโมเนียที่ดูดซับไว้ออกมา แต่ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น แอมโมเนียก็จะถูกดูดซับ ทั้งนี้เพื่อรักษาความสมดุลไว้

#### 2.1.4 การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน

(Wetland Design Procedure of Free Water Surface)

เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน มีสิ่งที่จะต้องพิจารณา คือ ก) ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time) ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสม เพื่อให้กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ข) อัตราการบรรทุกของน้ำ (Hydraulic Loading Rate) ค) ระดับน้ำ (Water Depth) และ ง) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (Aspect Ratio) สรุปได้ดังตารางที่ 2.6



ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน

รายละเอียด	หน่วย	เกณฑ์การออกแบบ
ระยะเวลากักเก็บ	วัน	14
ระดับความลึกของน้ำ	เมตร	0.1 - 0.8
ปริมาณ BOD <sub>5</sub> สูงสุด	กิโลกรัม ต่อ เฮกเตอร์ - วัน	60 - 70
อัตราการบรรทุกของน้ำ	มิลลิเมตร ต่อ วัน	7 - 60
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	-	1 : 1 ถึง 10 : 1
ค่าคงที่แสดงช่องว่างภายในบ่อ	-	0.75

ที่มา : Reed, Crites and Middlebrooks, 1995

#### 2.1.4.1 อัตราการไหลเฉลี่ย (The average flow)

อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบ FWS สามารถคำนวณจากสมการ

$$Q = \frac{LWdn}{t}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

L = ความยาวของบ่อ (เมตร)

W = ความกว้างของบ่อ (เมตร)

d = ความลึกของระดับน้ำในบ่อ (เมตร)

n = ค่าคงที่แสดงช่องว่างภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ  
(= 0.75 สำหรับระบบน้ำไหลพื้นผิว FWS)

t = ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ (วัน)

#### 2.1.4.2 ค่าคงที่แสดงช่องว่างภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Porosity or Void Fraction)

พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน พื้นที่ที่น้ำสามารถไหลผ่านได้จะมีพื้นที่ลดน้อยลงเนื่องจากมีการปลูกพืช (Reed et al, 1995 และ USEPA, 2000) พบว่าค่าคงที่ช่องว่างภายในพื้นที่ระหว่างค่า 0.65 ถึง 0.75 มีความเหมาะสมต่อความหนาแน่นของพืช เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ ในการคำนวณอัตราการไหลเฉลี่ย จำเป็นต้องพิจารณาค่าคงที่แสดงช่องว่างภายในพื้นที่ชุ่มน้ำด้วย

### 2.1.4.3 ระยะเวลาที่เก็บ (Hydraulic Retention Time , HRT)

HPCF, 1900 (อ้างถึงใน ธรรมนูญรัตน์ , 1994) พบว่าระยะเวลาที่เก็บที่น้อยกว่า 5 วัน ประสิทธิภาพการกำจัด BOD ลดลง ขณะที่การกำจัดไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเวลา 3-5 วัน

## 2.2 อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสด (สถาบันวิจัยยางพาราไทย,2540)

อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทคือ การผลิตน้ำยางข้น และการผลิตยางแห้ง การผลิตยางดิบในรูปของน้ำยางข้น ได้แก่

- น้ำยางข้นธรรมดา (Concentrated Latex) ซึ่งส่วนมากจะรักษาน้ำยางข้นที่ผลิตได้ด้วย แอมโมเนีย มีทั้งชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) และชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA)
- น้ำยางข้นคงรูป หรือ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanised Latex) การผลิตยางดิบในรูปของยางแห้ง

### 2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางสดจากสวนมีปริมาณเนื้อยางเฉลี่ยประมาณร้อยละ 35 มีส่วนของพวกสารที่ไม่ใช่ยาง 5 % นอกจากนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เป็นการประหยัดในการขนส่ง และการซื้อขาย นอกจากนั้นยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปเข้ากระบวนการผลิตเพื่อทำผลิตภัณฑ์ ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอได้ ดังนั้นจึง ต้องทำให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางอย่างน้อยร้อยละ 60

วิธีผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี คือ

วิธีระเหยน้ำ (evaporation)

วิธีทำให้เกิดครีม (creaming)

วิธีปั่น (centrifuging)

วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation)

แต่การผลิตน้ำยางข้น ในประเทศไทยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำ และสารอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วน (จากภาพเครื่องปั่นน้ำยางข้นผัดตามแนวยาว, (รูปที่ 2.9) น้ำยางจะไหลเข้าทาง

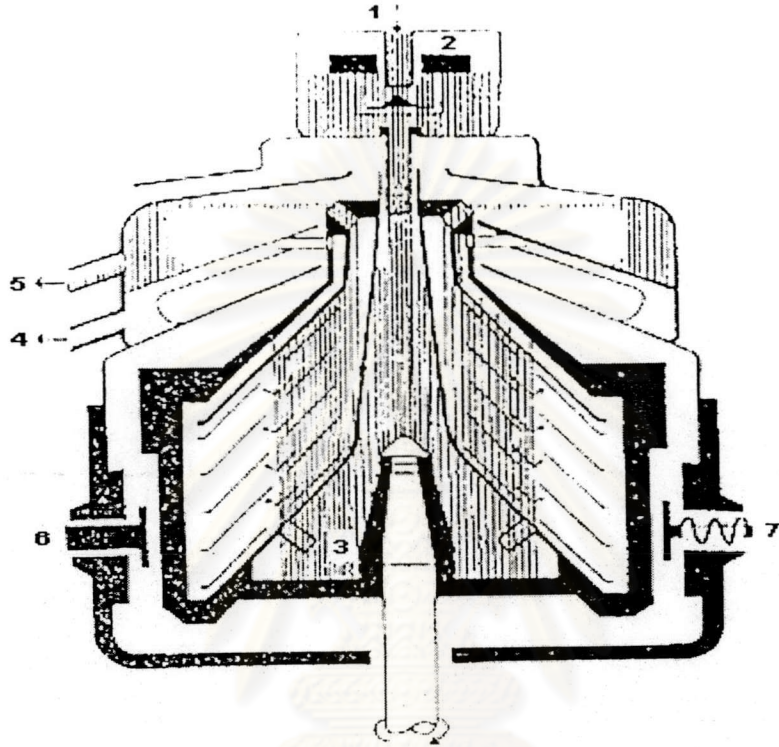


- (1) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของตัวเครื่อง ระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดย
- (2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วง (Gravity) ไปที่จุดกึ่งกลางของถังปั่นและแรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดของจานแยก
- (3) จากนั้นน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่มีน้ำหนัก (Heavy Phase) คือ หางน้ำยาง (Skim) ไหลออกสู่ออกนอกของถังปั่น และไปตามทางด้านบนของถังผ่านสกรู ปรับสู่ที่เก็บแยกหางน้ำยาง
- (4) ส่วนชั้นของน้ำยาง (Concentrate or cream) ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางถังปั่นไปยังด้านบนจนถึงเข้าสู่ที่เก็บ
- (5) ปกติน้ำยางชั้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 % เนื้อยางแห้งเครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆ สามารถแยกน้ำยางสด ได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมงและปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถ เดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวกตม (Sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง

การผลิตน้ำยางชั้นจากน้ำยางสด โดยวิธีการปั่น มีขั้นตอนตามแผนการผลิตน้ำยางชั้นโดยน้ำยางสดที่ได้จากสวนยาง ต้องมีการรักษาคุณภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นน้ำยาง โดยเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัว (NH<sub>3</sub>/TMTD/ZMO) เมื่อน้ำยางสดเข้าโรงงานผลิตน้ำยางชั้น จะผ่านการกรองผ่านร่ง ขนาด 80 เมช (Mesh) ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งโดยน้ำยางสดควรมีเนื้อยางแห้งไม่น้อยกว่า 25 % หลังจากนั้นรีบผ่านแกสแอมโมเนียสู่น้ำยางประมาณเกินกว่า 0.4% ของน้ำยาง แล้วจึงปล่อยให้ น้ำยางได้ตกตะกอนพวกสิ่งแปลกปลอมจนถึงวันรุ่งขึ้น หากทดสอบพบว่าน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ก็ให้เติม DAHP (diammonium Hydrogen Phosphate) เพื่อให้มีปฏิกิริยาการเกิด Magnesium Ammonium Phosphate ซึ่งตกตะกอนลงกันถึงระดับที่ไว้ข้ามคืน ตะกอนเหล่านี้ จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm On Total Solid เมื่อบั่นชั้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm On Total Solid) และนำตัวอย่างน้ำยางนี้ไปทดสอบหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้ เพื่อให้แน่ใจว่า น้ำยางนี้ได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางชั้นได้ น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอ จะต้องมีจำนวนกรดไขมัน ระเหยได้ไม่เกินกว่า 0.05 และน้ำยางที่จำนวนกรดไขมันระเหยได้สูงกว่านี้จะไม่ใช่ผลิตเป็นน้ำยางชั้น

หลังจากนั้นนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยงได้น้ำยางชั้น 60% (Concentrated Latex) กับหางน้ำยาง (Skim Latex) ส่วนของน้ำยางชั้น 60% มีการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) กรณียใช้แอมโมเนีย 0.7% ต่อน้ำหนักยาง ได้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) ถ้าใช้แอมโมเนีย 0.2% ต่อน้ำหนักยาง ได้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA) ส่วนของ

ทางน้ำยางนำมาจับตัวเนื้อเยื่อที่ยังเหลืออยู่ด้วยกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) แล้วผ่านเครื่องรีดเครพ หรือ ดัดย่อย ทำสกิมเครพ หรือ สกิมบล็อก ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 ภาพเครื่องบั่นน้ำยางชั้นผัดตามแนวยาว

1.ท่อรับน้ำยาง, 2.หม้อพัก และลูกลอย, 3.ท่อจ่าย, 4.ทางออกทางน้ำยาง  
5.ทางออกน้ำยางชั้น, 6.เบรคเชิงกล, 7.เบรคแม่เหล็ก

(ที่มา : วันชัย แก้วยอด, 2540)

### 2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นในจังหวัดภาคใต้

จากการศึกษาของ สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย และคณะ (2545) ซึ่งได้ทำการสำรวจโรงงานน้ำยางชั้นในจังหวัดภาคใต้พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นในจังหวัดภาคใต้มีทั้งระบบที่อาศัยการบำบัดโดยธรรมชาติ และระบบการบำบัดที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง สามารถจัดประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานในจังหวัดภาคใต้ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ



- 1.) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ซึ่งได้แก่ บ่อไร้อากาศ(Anaerobic Pond) บ่อมีอากาศ-ไร้อากาศ(Facultative Pond) และ บ่อมีอากาศ(Aerobic Pond)
- 2.) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilizing Pond) ร่วมกับบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)
- 3.) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบำบัดซึ่งเป็นเทคโนโลยีระดับสูง ได้แก่ การใช้ระบบตะกอนเร่ง(Activated Sludge) หรือ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Banket) หรือ การใช้วิธี Land Application

### 2.2.3 ปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น

การศึกษาของ สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย และคณะ(2545) ยังพบว่าโรงงานน้ำยางข้น ในภาคใต้มีการผลิตน้ำเสียรวมระหว่าง 80 ถึง 1,680 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อดำหนดเป็นปริมาณน้ำเสียต่อหน่วยต้นผลผลิตของน้ำยางข้น พบว่ามีค่าระหว่าง 2.30 ถึง 9.14 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางข้น มีค่าเฉลี่ยและค่ามาตรฐานเท่ากับ 4.01 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางข้น และ 3.33 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางข้น ตามลำดับ

จากผลการศึกษาของนักวิจัยหลายท่าน พบว่าน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมีคุณลักษณะเด่น คือ มีปริมาณมลสารต่อไปนี้สูง สารอินทรีย์หรือค่าBOD ไนโตรเจน และของแข็งแขวนลอย สำหรับค่า pH นั้นจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นกับกระบวนการผลิต (ตารางที่ 2.7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น

ปัจจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะ	ค่าของปัจจัย	ผู้วิจัย
BOD	1,825-3,760 มก/ล 6,650±229 มก/ล 3,500 มก/ล	วันชัย แก้วยอด (2540) พงศ์นรินทร์ ปราบนคร (2543) สมทิพย์ ด้านธีรวณิชย์ และ คณะ (2545)
TKN	543-1,268 มก/ล 600 มก/ล	อาภรณ์ รักเกิด (2541) สมทิพย์ ด้านธีรวณิชย์ และ คณะ (2545)
TSS	1,082-3,130 มก/ล 510±624 มก/ล 1,700 มก/ล	วันชัย แก้วยอด (2540) พงศ์นรินทร์ ปราบนคร (2543) สมทิพย์ ด้านธีรวณิชย์ และ คณะ (2545)
pH	8.56-9.40 4.60	วันชัย แก้วยอด (2540) พงศ์นรินทร์ ปราบนคร (2543)

เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วจะมีการปนเปื้อนของมลสารน้อยลง โดยมีค่า BOD เฉลี่ยเท่ากับ 141 มิลลิกรัมต่อลิตร SS เฉลี่ยเท่ากับ 258 มิลลิกรัมต่อลิตร และ TKN เฉลี่ยเท่ากับ 328 มิลลิกรัมต่อลิตร (สมทิพย์ ด้านธีรวณิชย์ และคณะ, 2545) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมใน พ.ศ. 2539 ซึ่งกำหนดว่าค่า BOD ต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร SS ต้องไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ TKN ต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแล้ว จะเห็นว่าน้ำเสียแม้ว่าจะผ่านระบบบำบัดมาแล้วก็ยังคงมีระดับมลสารสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม

ประสิทธิภาพโดยรวมของการบำบัดระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นโดยรวมอยู่ในระดับสูง ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะการบำบัดสารอินทรีย์โดยดูจากค่า BOD ทั้งนี้เพราะลักษณะน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สูงมาก แม้ความสามารถการบำบัดของระบบบำบัดจะสูง แต่ก็ยังทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดมีสารอินทรีย์สูง

ประสิทธิภาพ ในการบำบัด TKN ของระบบบำบัดที่มีอยู่ในโรงงานน้ำยางชั้น ค่อนข้างต่ำ คือมีประมาณ 69 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสียเพราะในปัจจุบันการ



ออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นมุงแต่การบำบัดน้ำเสียทางด้านสารอินทรีย์เท่านั้นเป็นส่วนใหญ่ (สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย, 2545)

### 2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

Dan (1993) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับศักยภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอล โดยใช้ระบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดิน พืชที่ปลูกคือต้นธูปฤาษี ความเข้มข้นของฟีนอลในน้ำเสียคือ 25 - 700 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการทดลองที่ภาวะสารอินทรีย์ 40 - 400 กก. ซีไอดี/เฮกเตอร์-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 5 - 7 วัน สามารถบำบัดซีไอดีได้ร้อยละ 97.2 - 99.9 และบำบัดฟีนอลได้ร้อยละ 99 - 100 ที่ภาวะสารอินทรีย์ 40 - 270 กก. ซีไอดี/เฮกเตอร์-วัน

ศศิธร พุทวงศ์ (2538) ศึกษาประสิทธิภาพของกกกลมและแห้วทรงกระเทียมเพื่อบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบน้ำไหลพื้นผิว (FWS) ที่สร้างขึ้น และเพื่อศึกษาความลึกที่เหมาะสมกับพืชน้ำทั้งสองชนิดในการบำบัดน้ำเสียโดยเปรียบเทียบกับแบบการทดลองที่ไม่ปลูกพืช พบว่าแห้วทรงกระเทียมที่ปลูกในแบบการทดลองที่มีระดับน้ำลึก 0.45 เมตร มีความสูงมากกว่าที่ปลูกในแบบการทดลองที่ระดับความลึกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสูงของกกกลมที่ปลูกในแบบการทดลองที่มีระดับน้ำลึกต่างๆ กันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

แบบการทดลองที่มีระดับความลึกน้ำเสีย 0.15 เมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดปริมาณออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและค่าบีโอดีได้มากกว่า 60% เช่นเดียวกับแบบการทดลองที่ปลูกแห้วทรงกระเทียมที่มีระดับน้ำลึก 0.15 เมตรและ 0.45 เมตร นอกจากนี้ในพื้นที่ชุ่มน้ำทุกแบบการทดลองสามารถลดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้น้อยกว่า 25% เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความสกปรกในน้ำเสียที่ระดับความลึกเท่ากัน พบว่ากกกลมมีประสิทธิภาพดีกว่าแห้วทรงกระเทียม และกกกลมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุดในที่ระดับความลึกของน้ำเสียที่ 0.15 เมตร

Mattaraj (1995) ได้ศึกษารูปแบบและลักษณะสมบัติทางจุลนศาสตร์ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น แบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดินในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พืชที่ใช้ในระบบคือ ธูปฤาษี (*Typha spp.*) ปลูกบนตัวกลางที่เป็นทรายรองด้วยกรวด น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 50 - 200 กก.ซีไอดี/เฮกเตอร์-วัน โดยมีเวลาพักเก็บน้ำ 1.5 - 10 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 71 - 86 ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีและฟีคัลโคลิฟอร์มมีมากกว่าร้อยละ 90 ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและทีเคเอ็นได้ร้อยละ 81 - 87 และกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 38

Mitchell and Karathanasis (1995) ได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะคลอไรด์โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ทั้งแบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน และแบบน้ำไหลใต้ดิน ในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มีไฮเดียมคลอไรด์อยู่มาก โดยใช้หญ้าทรงกระเทียม (*Scirpus validus*) และธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมี Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn โดยเกลือคลอไรด์จะถูกเติมเข้าไปในระบบที่อัตรา 0.3 ล./ชม. ในช่วง 12 สัปดาห์ ในระบบน้ำไหลใต้ดิน ประสิทธิภาพในการดูดซับ Fe ดีที่สุดคือ 74% และ Mn น้อยที่สุดคือ 24% ส่วนการสะสมในชีวมวลของพืชในระบบทั้งสองนับว่ามีน้อยมาก เมื่อเทียบกับการกำจัดโลหะทั้งหมด

ลักษณิ คณานิธินันท์(2539) ศึกษาประสิทธิภาพของพืชใล่พื้นน้ำ 4 ชนิด คือ กกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ รวมถึงการเติบโตและการอยู่รอดของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่าบ่อดลองปลูกพืชทั้ง 4 ชนิดสามารถลดปริมาณโครเมียมได้สูงกว่าร้อยละ 94 โดยมีประสิทธิภาพในบ่อดลอง บ่อแห้วทรงกระเทียม บ่อธูปฤาษี และบ่ออ้อ ร้อยละ 98.21 95.96 95.90 และ 94.87 ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาถึงการเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิดในบ่อดลองเทียบกับบ่อควบคุมพืชตลอดการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างบ่อดลองและบ่อควบคุมพืช นอกจากนี้ยังทำการศึกษการสะสมโครเมียมในดินและพืช พบว่าดินและพืชมีโครเมียมเพิ่มขึ้นตามเวลา เมื่อพิจารณาผลรวมพบว่า โครเมียมส่วนใหญ่ถูกสะสมในดิน ซึ่งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายมากกว่าในพืช กล่าวคือมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณโครเมียมทั้งหมดอยู่ในดิน

Sintumongkolchai (1996) ศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (FWS) ในการบำบัดน้ำเสียที่มีแคดเมียม (Cd) เจือปน โดยสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นขนาดทดลองนำร่อง 1 ชุดและขนาดระดับห้องทดลอง 3 ชุด โดยปลูกต้นธูปฤาษีในระบบ เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเข้าอยู่ระหว่าง 0 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 42 - 99% และไม่พบว่าแคดเมียมมีพิษต่อพืช พิเศษในตอนเริ่มต้นก็มีผลต่อการกำจัดแคดเมียมเช่นเดียวกัน ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงไปที่ 42.6% เมื่อพืชเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 4 - 5 ที่ความเริ่มต้นของแคดเมียมอยู่ที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาสมมูลมวลพบว่าแคดเมียมถูกกำจัดโดยการดูดติดผิวเม็ดทราย 73 - 98% ในขณะที่ต้นธูปฤาษีกำจัดได้ 1 - 6% และพบว่ากลไกหลักในการกำจัดแคดเมียม คือกระบวนการดูดติดผิว



Polprasert, Dan and Thayalakumaran (1996) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น แบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดิน (FWS) ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียมและนิเกิล โดยใช้ต้นธูปฤาษีในการทดลอง น้ำเสียมีค่าซีโอไซด์เฉลี่ย 60 - 180 มิลลิกรัม/ลิตร ถูกป้อนเข้าสู่ระบบที่ภาชนะสารอินทรีย์ 40 - 400 กก.ซีโอไซด์/เฮกเตอร์-วัน ผลที่ได้ คือระบบสามารถกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้มากกว่าร้อยละ 99 เมื่อความเข้มข้นของโครเมียม (หรือนิเกิล) ในน้ำเสียดิบเป็น 20 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนั้นปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนจะมีผลต่ออัตราการกำจัดซีโอไซด์ กล่าวคือที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก 1 - 10 มิลลิกรัม/ลิตร การกำจัดซีโอไซด์เท่ากับร้อยละ 70 แต่เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้นเป็น 20 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร การกำจัดซีโอไซด์และลดลงเป็นร้อยละ 50 และ 35 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับโลหะหนักโดยพืชพบว่ารากเป็นส่วนที่มีโลหะหนักสะสมอยู่มากที่สุด รองลงมา คือ ที่ก้านและใบ โดยที่นิเกิลจะสะสมอยู่ที่ใบมากกว่าโครเมียม ดังนั้นนิเกิลจึงเป็นพืชต่อพืชได้มากกว่าโครเมียมโดยสังเกตได้จากใบมีสีเหลือง

วงศ์พงา เส็งสาย (2544) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแฝกหอมสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี และแฝกดอน สายพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ที่สร้างขึ้นเพื่อการกำจัดโครเมียม ในน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงฟอกหนัง โดยศึกษาถึงความลึกที่เหมาะสม กับหญ้าแฝกทั้งสองสายพันธุ์ ในการบำบัดน้ำเสีย เปรียบเทียบกับการทดลองที่ไม่ปลูกพืช โดยทำการสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS) จำนวน 12 แบบการทดลอง ศึกษาตามลักษณะของน้ำเสีย 3 ระดับ คือ 0.10 เมตร 0.15 เมตร และ 0.20 เมตร พบว่า การทดลองที่ปลูกต้นแฝกหอมสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่มีระดับน้ำเสีย 0.10 เมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุด ในการกำจัดโครเมียม เท่ากับ 89.29 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือบ่อทดลอง หญ้าแฝกดอนสายพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ที่ระดับความลึกน้ำเสีย 0.10 เมตร เท่ากับ 86.30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบ่อควบคุม ที่ไม่ปลูกพืช ที่ระดับความลึกน้ำเสีย 0.10 เมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัด โครเมียมต่ำสุด คือ 80.72 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพ แตกต่างกัน เท่ากับ 8.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการกำจัด โครเมียมในน้ำเสียที่ระดับความลึกเท่ากัน พบว่าหญ้าแฝกหอมสายพันธุ์ สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพดีกว่า หญ้าแฝกดอนสายพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด โครเมียมดีที่สุดที่ระดับความลึกน้ำเสีย 0.10 เมตร

สรวิทย์ งามพร้อมพันธ์ (2544) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมของบอนสองชนิดพันธุ์ คือ บอนเขียว และบอนจีนดำ ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงฟอกหนังที่ระดับความลึกต่างๆ กัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.15 0.25 และ 0.35 เมตร ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม ของบอนเขียว และ บอน

จินดา โดยเฉลี่ยจากทุกระดับน้ำอยู่ที่ 67.01 % และ 59.95 % ตามลำดับ โดยที่ระดับน้ำไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม ของบอนทั้งสองพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากพืชตายในระหว่างทำการทดลอง อันอาจเป็นผลมาจากสภาวะความเค็มเกินกว่าที่พืชสามารถทนได้ นอกจากนี้พบว่าโครเมียมถูกสะสมอยู่ในดินมากที่สุด และการสะสมของโครเมียมในส่วนของพืชที่มากที่สุดคือ สวนราก จึงสรุปว่า บอนทั้งสองชนิดพันธุ์ไม่เหมาะในการนำมาใช้การบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงฟอกหนัง แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารพิษหรือโลหะหนักได้ในสภาวะอื่นๆ ที่ไม่มีความเค็มเข้ามาเกี่ยวข้องได้ เนื่องจากมีความสามารถในการดึงดูดสารพิษจำพวกโลหะหนัก ได้เป็นอย่างดีนั่นเอง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย