# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

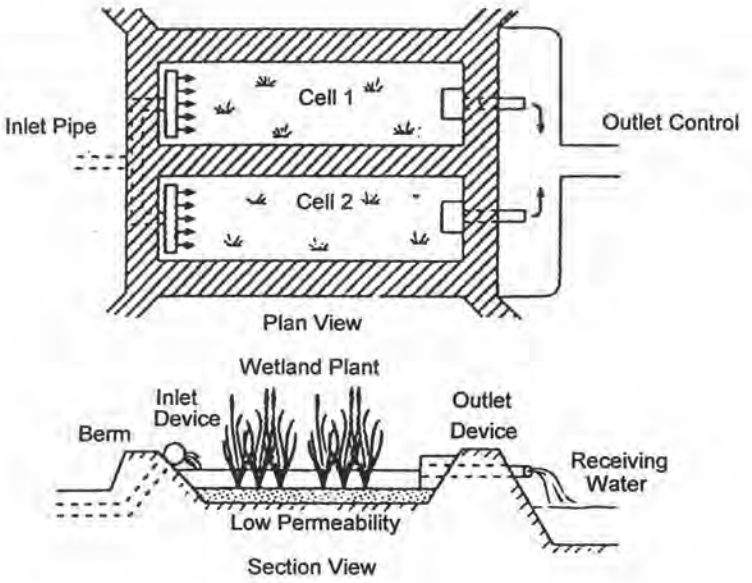
## พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น (Constructed Wetlands)

พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น (Bastain, 1989) คือพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างที่ใดที่หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการบำบัดน้ำเสีย การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย มีหลักการเบื้องต้นเหมือนกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ แต่แตกต่างกันตรงที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น ดังนั้นข้อได้เปรียบของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น คือสถานที่ตั้งซึ่งมีความยืดหยุ่นจะตั้งอยู่ที่ใดหรือมีขนาดใดก็ได้ โดยอาศัยเกณฑ์การออกแบบต่าง ๆ

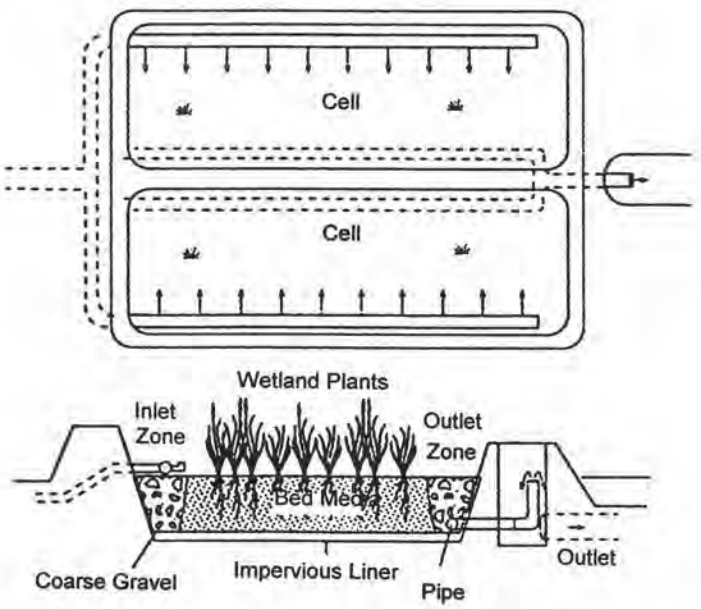
พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียนั้นมี 2 แบบ คือแบบไหลผ่านพื้นผิว (free water surface flow wetlands, FWS) จะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลาง สัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นจึงไหลซึมลงสู่พื้น ประกอบด้วยพืชน้ำหลายชนิด และระดับน้ำไม่ลึกมากนัก ไม่เกิน 0.60 เมตร แต่โดยทั่วไปจะมีระดับความลึกประมาณ 0.30 เมตร พื้นที่ชุ่มน้ำในรูปแบบนี้พืชน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ และเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญของพื้นที่ชุมน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลผ่านพื้นผิว คือ ท่อน้ำเข้า บ่อพื้นที่ชุ่มน้ำ พืชน้ำ และท่อน้ำออก

พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (subsurface wetlands, SF) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยผ่านลงไปในชั้นตัวกลาง ซึ่งมีพืชน้ำขึ้นอยู่ ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกหินบด กรวด หรือดินชนิดต่าง ๆ อาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้รวมกันก็ได้ ในระบบนี้น้ำเสียที่ผ่านจะถูกบำบัดระหว่างสัมผัสพื้นผิวตัวกลางและรากของพืช ซึ่งมีจุลินทรีย์เกาะอยู่ ส่วนประกอบที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำแบบนี้คือ ระบบท่อปล่อยน้ำเข้า (inlet distribution system) บ่อพื้นที่ชุ่มน้ำ (basin configuration) ตัวกลาง (bed media) และระบบควบคุมน้ำออก (outlet control system) ดังรูปที่ 2.2

สำหรับในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลพื้นผิว(FWS wetlands) เป็นแบบในการทดลอง




รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลพื้นผิว (Free Water Surface Constructed Wetlands, FWS) (Kadlec และ Knight, 1996)




รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (Subsurface Wetlands, SF ) (Kadlec และ Knight, 1996)

**การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ**

ในปัจจุบันวัตถุประสงค์ของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำค่อนข้างกว้างกล่าวคือ พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบพื้นผิว นอกจากจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนแล้ว ยังสามารถใช้เทคนิคนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์ การเกษตร และอุตสาหกรรมได้อีกด้วย (Kingley, Maddox และ Giordano, 1989) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี (BOD), ซีโอดี (COD), สารแขวนลอย(suspended solids), สารอาหาร (nutrient) , ฟีคัลโคลิฟอร์ม (fecal coliform) สารอินทรีย์และโลหะชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 การประยุกต์ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลพื้นผิวในการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ (Kadlec, 1995)

| APPLICATION | SCOPE |
|---|---|
| Municipal Wastewater Treatment | Advanced Secondary - Post tertiary<br>Single Families - 200,000 PE |
| Mine Drainage | Coal, Copper |
| Urban Stormwater | In Conjunction with Detention |
| Rivers, Lake & Reservoirs | In-line and Recycle |
| Agricultural Runoff | Field Scale to Watershed Scale |
| Livestock Wastewater | Feedlots, Dairies, Piggeries |
| Industrial | |
| Food Processing | Potatoes, Sugar, Eggs, Seafood, Abbatoirs |
| Petroleum | Produced Water, Refinery Effluent, |
| Chemical | Pulp and Paper, Textiles |
| Landfill Leachate | Municipal Landfills, Remediation |
| Sludge Drying | Municipal |

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำแบบพื้นผิวเป็นที่นิยมมากโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา กล่าวคือมีพื้นที่ชุ่มน้ำสร้างขึ้นและใช้งานอยู่ประมาณ 1000 แห่ง และอย่างน้อยครึ่งหนึ่งจะอยู่ในสหรัฐอเมริกา โดยในส่วนนี้จะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำแบบพื้นผิว (FWS) ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนถึง 369 แห่ง ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำไหลลงผ่านตัวกลางนั้นจะนิยมใช้มากในประเทศแถบยุโรป เช่น เดนมาร์ก เยอรมัน ออสเตรีย และสวิสเซอร์แลนด์เป็นต้น โดยใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (secondary treatment)

อย่างไรก็ตามการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพที่ดีและประสบผลสำเร็จสูงสุดนั้น อาจต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อน เนื่องจากน้ำเสียนั้นอาจมีความเข้มข้นของสารต่าง ๆ สูงจนทำความเสียหายแก่ระบบ ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ การบำบัดขั้นต้นอาจเป็นเพียงการนำน้ำเสียผ่านตะแกรงเพื่อกรองวัสดุชิ้นใหญ่ ผ่านบ่อพัก (setting lagoon) เพื่อลดปริมาณสารแขวนลอย บ่อเติมอากาศ (aeration) หรือบ่อตะกอนเร่ง (activated sludge) หรือด้วยวิธีการอื่น ๆ ตารางที่ 2.2 แสดงการบำบัดขั้นต้นก่อนผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำ

ตารางที่ 2.2 การบำบัดขั้นต้นของน้ำเสียก่อนผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

| Wetland alternative | Pretreatment goals |
|---|---|
| Constructed SF | Municipal, agricultural, and industrial wastewater: secondary or greater treatment recommended (can be lagoons, trickling filter, or activated sludge)<br>Urban stormwater: wet or dry detention basin with oil and grease skimmer<br>Nonpoint source runoff: none recommended |
| Constructed SFF | Municipal, agricultural, and industrial wastewater: secondary or greater treatment recommended (coarse screening and sedimentation)<br>Urban storm water and nonpoint source runoff: not recommended for use because of pulse flows |
| Natural wetlands | Municipal, agricultural, and industrial wastewater: minimum od advanced secondary recommended (ammonia reduction is desire; also phosphorus and metal removal when necessary)<br>Urban stormwater: wet or dry detention basin with oil and grease skimmer<br>Nonpoint source runoff: upland vegetated filter strip |

**ปัจจัยที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น**

**อุทกวิทยา** (Wetland Hydrology)

น้ำเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำ สภาวะของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ จะมีผลต่อดินและสารอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อัตราการไหล ปริมาณน้ำและระยะเวลากักเก็บมีผลต่อการเกิดปฏิกริยาระหว่างสารต่าง ๆ ในน้ำกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

สิ่งที่สำคัญที่จำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับอุทกวิทยาในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

1. อัตราภาระบรรทุกของน้ำ (hydraulic loading rate, HLR(q) ; หน่วย:ซม./วัน,ม./วัน, ม./ปี)

$$q = Q/A$$

โดยที่ A = พื้นที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

อัตราการบรรทุกน้ำก็คือ ปริมาณน้ำเสียที่ไหลเพิ่มเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำต่อหน่วยเวลา

2. ความลึกของน้ำ (water depth, h ; หน่วย: เมตร)

$$h = H-G$$

โดยที่ G = ความสูงของระดับนั้น (เมตร)

H = ความสูงของระดับ (เมตร)

3. ระยะเวลากักเก็บ (detention time, t ;หน่วย: วัน)

$$t = V/Q$$

โดยที่ V = ปริมาตรน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ระยะเวลากักเก็บที่คำนวณได้จากสูตรนั้นอาจจะไม่ใช่ระยะเวลากักเก็บที่แท้จริง เนื่องจากการคำนวณหาตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ปริมาตรของน้ำที่เข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำทั้งหมดเกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ

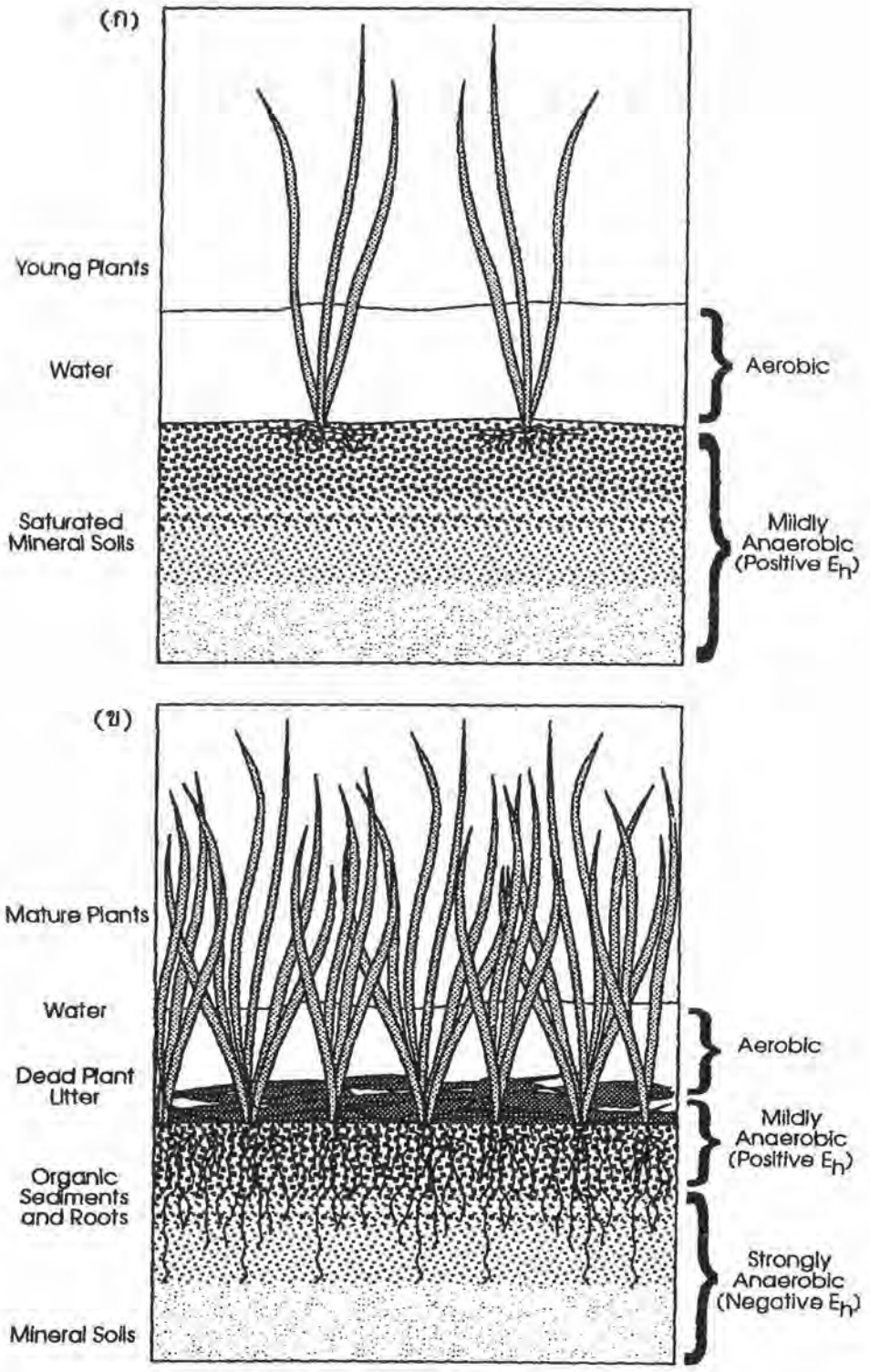
สิ่งที่กล่าวมามีความสำคัญมากต่อผลหรือประสิทธิภาพการบำบัดในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำออกมา จะเกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาที่สัมผัสและปฏิกริยาทางชีวภาพและกายภาพ นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้วปริมาณฝน การระเหยของน้ำ (evapotranspiration) ก็มีผลอย่างมากในการลดหรือเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารต่างๆ ในน้ำ ซึ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไป จึงอาจต้องมีการปรับหรือเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำก่อนเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ โดยปกติค่าการคายระเหยของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำจะเท่ากับ 0.80 เท่าของการระเหยแบบแพน (pan evaporation) (Kadlec, Hammer และ Girts, 1990)

ดิน (Wetland soil)

ดินพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นดินที่มีความอิ่มตัวของน้ำ หรือถูกน้ำท่วมขัง จนเกิดสภาวะไร้อากาศขึ้น ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำจึงมีความแตกต่างจากดินทั่ว ๆ ไปบนพื้นโลกคือ เป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและเป็นดินที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ (organic soil) ซึ่งมีความแตกต่างทางกายภาพและเคมี ดังแสดงในตาราง 2.3

ลักษณะกายภาพของดินมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากจะบอกถึงประสิทธิภาพและความสามารถของดินในการกำจัดหรือลดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย ดินทราย หรือดินเม็ดใหญ่ ระยะเวลาสัมผัสระหว่างน้ำกับดินจะน้อย ส่วนดินเหนียว แม้ว่าระยะเวลาสัมผัสจะนาน แต่พืชจะเติบโตหรือแทงรากผ่านได้ยาก จึงไม่เหมาะในการใช้บำบัดน้ำเสีย ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Adcock, Ryan และ Osborne (1995) ที่ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย ใน Sydney ประเทศออสเตรเลียพบว่าพื้นบ่อที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียว พวก *Phragmites australis* ไม่สามารถเจริญได้เนื่องจากแทงรากได้ยาก ส่วนพวก Typha นั้นเจริญได้บ้างแต่อยู่บริเวณพื้นผิวเท่านั้น และการศึกษาของ Chambers และ McComb (1992) ที่ทดลองปลูกพืชโผล่พ้นน้ำ 9 ชนิดในดินเหนียวและดินทรายพบว่า พืชที่ปลูกในดินทรายจะมีอัตราการรอดสูงกว่าพืชที่ปลูกในดินเหนียว และดินเหนียวจะมีอัตราการไหลผ่านของน้ำต่ำกว่าดินทราย ดังนั้นเพื่อให้พื้นที่ชุ่มน้ำมีประสิทธิภาพที่ดีในการบำบัดน้ำเสียควรเลือกชนิดดินที่มีระยะสัมผัสนานพอควร หรือมีค่าความสามารถซึมผ่านของน้ำในดิน (hydraulic conductivity) สูงเพียงพอให้เกิดปฏิกริยา และยังเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช เช่นดินร่วน (loamy soil)

นอกจากนี้ในการที่ดินจะกำจัดหรือเคลื่อนย้ายสารต่าง ๆ ในน้ำเสียก็ขึ้นกับพื้นที่ผิวของดิน ซึ่งก็คือประจุของดินนั่นเอง อนุภาคดินส่วนมากเป็นประจุลบ ประจุบวกจึงสามารถมายึดเกาะได้ ส่วนกระบวนการที่เกิดขึ้นได้แก่การแลกเปลี่ยนอิออน (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การตกตะกอน (precipitation) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation)




รูปที่ 2.3 แสดงสภาวะของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

ก. ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำในช่วงระยะแรก

ข. ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำช่วงที่มีระบบมีการพัฒนาเต็มที่แล้ว (mature wetlands)

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบดินธรรมดาที่อิ่มตัวด้วยน้ำ กับดินอินทรีย์ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

| | ดินอนินทรีย์ | ดินอินทรีย์ |
|---|---|---|
| ปริมาณสารอินทรีย์(%) | < 20-35 | > 20-35 |
| ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์(%) | < 12-20 | > 12-20 |
| ความเป็นกรดด่าง | กลาง | กรด |
| ความหนาแน่น | สูง | ต่ำ |
| ความพรุนของดิน | ต่ำ(45-55%) | สูง(80%) |
| ความสามารถซึมผ่านของน้ำในดิน | สูง(ยกเว้นอนุภาคดินเหนียว) | ต่ำถึงสูง |
| ความสามารถรองรับน้ำ | ต่ำ | สูง |
| ปริมาณสารอาหารที่ใช้ได้ | โดยทั่วไปสูง | โดยทั่วไปต่ำ |
| ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก | ต่ำ | สูง |

**พืช** (Wetland plant)

พืชน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเห็นเด่นชัดในพื้นที่ชุ่มน้ำ สำหรับชนิดของพืชน้ำที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำสามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ได้ดังตาราง 2.4

ในปัจจุบันนี้พื้นที่ชุ่มน้ำนิยมใช้พืชโผล่พ้นน้ำ พวกธูปฤาษี *Typha spp.* อ้อ *Phragmites spp.* และพวกกก *Scirpus spp.* ในการบำบัดน้ำเสีย มากกว่าการใช้พืชลอยน้ำ (floating plant) เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศหนาวและศัตรูพืชได้ นอกจากนี้รากของพืชโผล่พ้นน้ำยังช่วยเพิ่มพื้นผิวสำหรับการยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ ช่วยเคลื่อนย้ายแก๊สต่าง ๆ รวมถึงออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก ทำให้เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ เรียกว่า rhizosphere รอบ ๆ ราก ซึ่งทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปสารอาหาร อิออนโลหะ และสารประกอบอื่น ๆ ได้ มีผลทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น (รูปที่ 2.5)

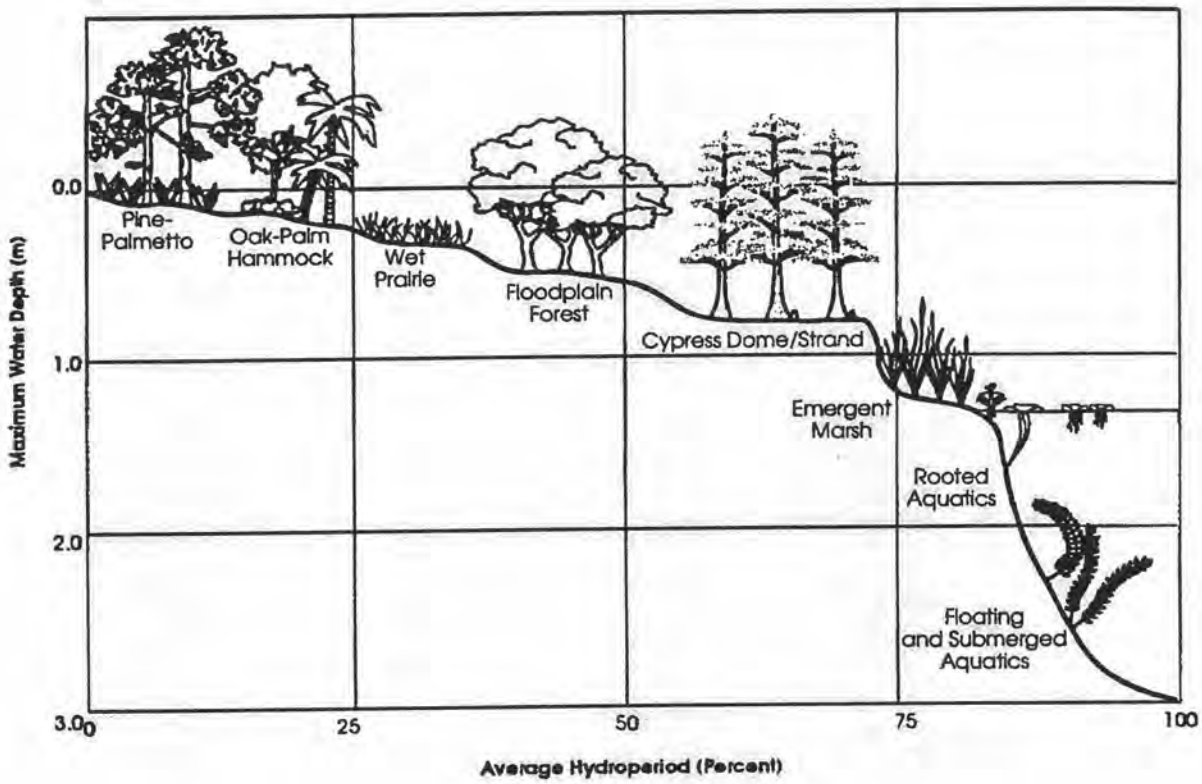
พืชน้ำมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดในที่น้ำท่วมขัง (รูปที่2.6) คือ การพัฒนาเซลล์พวก aerenchyma ขึ้นมาทำหน้าที่เคลื่อนย้ายแก๊สจากยอดไปยังราก และรากไปยังยอด ทำให้เกิด rhizosphere รากค้ำจุน (adventitious root) ก็เป็นวิธีการหนึ่งในการปรับตัว เพื่อดูดเอาออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ จากน้ำ นอกจากนี้ยังมี lucanae ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีชีวิต และ lenticel ที่เกิดขึ้นตามบริเวณลำต้นที่ช่วยในการปรับตัวของพืช (Guntenspergen, Stern และ Kadlec, 1989)

ตารางที่ 2.4 ชนิดของพืชน้ำที่พบในพื้นที่ชุมน้ำเพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

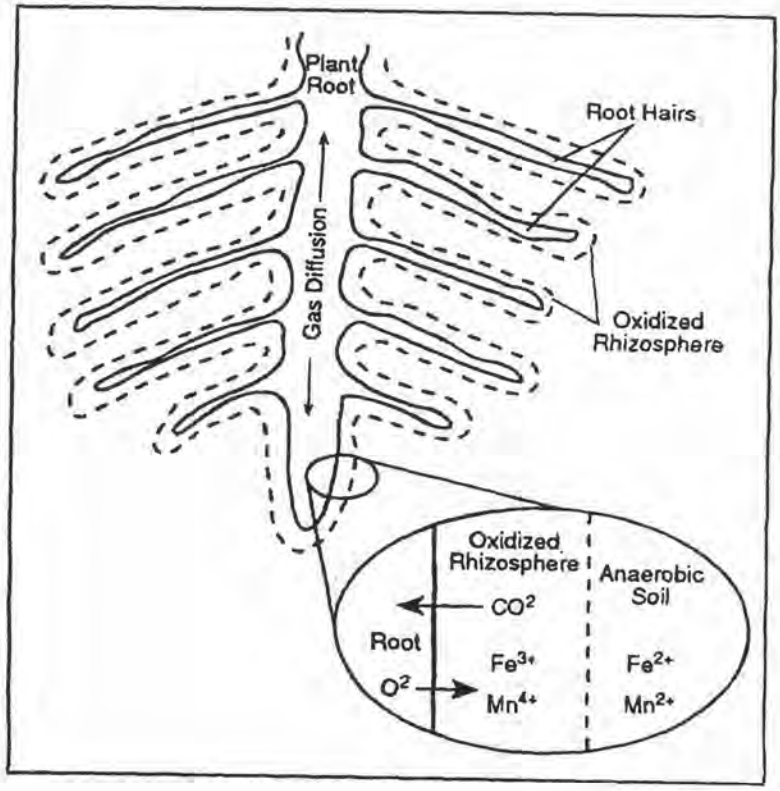
| Group | Family | Typical genera | Typical growth habitat |
|---|---|---|---|
| Mosses | Fontinalaceae | *Fontinalis* | Attached, floating, or submerged |
| Ferns | Blechnaceae | *Blechnum, Woodwardia* | Rooted emergent |
| | Osmundaceae | *Osmunda* | Rooted emergent |
| | Salviniaceae | *Salvinia, Azolla* | Floating |
| Conifers | Cypressaceae | *Chamaecyparis* | Tree |
| | Pinaeae | *Pinus* | Tree |
| | Taxodiaceae | *Taxodium* | Tree |
| Monocots | Alismataceae | *Sagittaria* | Emergent herbs |
| | Araceae | *Colocasia, Peltandra, Pistia* | Emergent or floating herbs |
| | Cannaceae | *Canna* | Emergent herbs |
| | Cyperaceae | *Cyperus, Carex, Cladium, Eleocharis, Rhynchospora, Scirpus* | Emergent herbs |
| | Graminae | *Panicum, Paspalum, Phragmites, Spartina, Zizaniopsis* | Emergent herbs (Occasionnally rooted with floating leaves) |
| | Hydrocharitaceae | *Hydrilla, Egeria, Elodea, Limnobium* | Rooted submergents to floating |
| | Juncaceae | *Juncus* | Emergent herb |
| | Lemnaceae | *Lemna, Spirodela, Wolffia, Wolffiella* | Small, floating herbs |
| | Pontederiaceae | *Eichhornia, Pontederia* | Floating and emergent herbs |
| | Typhaceae | *Typha* | Emergent herb |

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

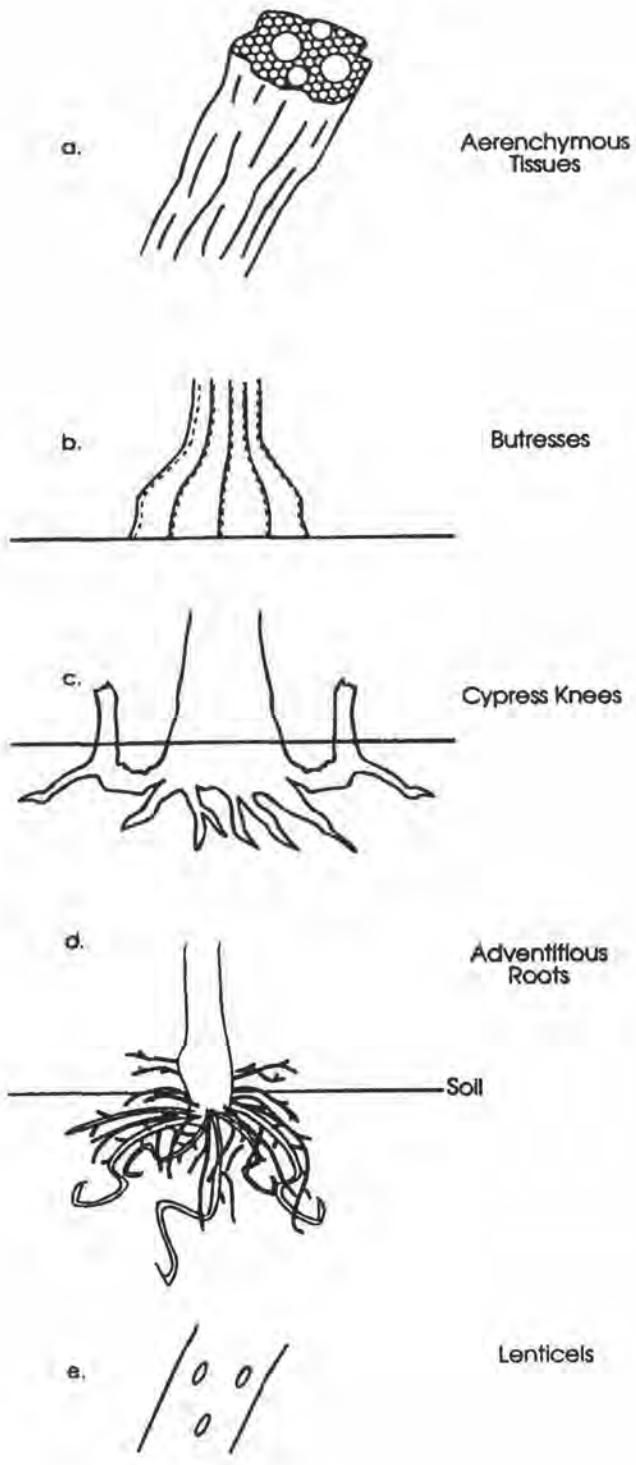
| Group | Family | Typical genera | Typical growth habitat |
|---|---|---|---|
| Dicots | Aceraceae | *Acer* | Tree |
| | Amaranthaceae | *Alternanthera* | Emergent to to floating herb |
| | Aquifoliaceae | *Ilex* | Tree or woody shrub |
| | Betulaceae | *Betual, Carpinus* | Trees |
| | Compositae | *Bidens, Mikania* | Emergent herbs |
| | Cyrillaceae | *Cliftonia, Cyrilla* | Woody shrubs to trees |
| | Ericaceae | *Lyonia* | Woody shrub |
| | Fagaceae | *Quercus* | Trees |
| | Guttiferea | *Hypericum* | Woody shrubs |
| | Lauraceae | *Persea* | Tree |
| | Lythraceae | *Decodon* | Herbaceous/wwody shrub |
| | Magnoliaceae | *Liriodendron, Magnolia* | Tree |
| | Oleaceae | *Fraxinus* | Tree |
| | Onagracea | *Ludwigia* | Herbaceous or woody shrub |
| | Polygonaceae | *Polygonum* | Emergent herb |
| | Rubiaceae | *Cephalanthus* | Shrub or small tree |
| | Salicaceae | *Populus, Salix* | Trees |
| | Saururaceae | *Saururus* | Emergent herb |
| | Umbelliferae | *Hydrocotyle, Lilaeopsis* | Emergent to floating herbs |




รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมแสดงระยะเวลาน้ำท่วมขังของพืชชนิดต่าง ๆ (Kadlec และ Knight, 1996)




รูปที่ 2.5 แสดงบริเวณรากที่มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจน (rhizosphere) (Kadlec และ Knight, 1996)




รูปที่ 2.6 แสดงการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาของพืชพวกมีท่อลำเลียงเพื่อดำรงชีวิตอยู่ได้ในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

สำหรับพืชโผล่พ้นน้ำที่เลือกใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 4 ชนิดประกอบด้วย

กกกลม *Cyperus corymbosus* (sedge) อยู่ในวงศ์ Cyperaceae เป็นพืชที่พบได้ทั่ว ๆ ไป ช่วงพีเอชที่เหมาะสม คือ 5-7.5 ทนความเค็มได้น้อยกว่า 0.5 ppt. เจริญเติบโตด้วย rhizome มีการแตกกิ่งสามารถขึ้นได้ดีในที่มีน้ำท่วมขัง ระดับน้ำที่อยู่ได้คือ ไม่เกิน 0.50 เมตร กกกลมอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กกสานเสื่อ

ธูปฤาษี *Typha angustifolia* (cattail) เป็นพืชหลายปี (perennial) มีลักษณะใบแคบยาว อยู่ในวงศ์ Typhaceae เรียกอีกชื่อว่ากกช้าง พบกระจายอยู่ทั่วไป (Suvattabandhu, 1950) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมแก่การเจริญ คือ 4-7 ทนความเค็มอยู่ได้ในระดับ 15-30 ppt เจริญเติบโตเร็วมีส่วนที่คล้ายราก (rhizome) ยาว ระดับความลึกของรากประมาณ 0.3 เมตร หรือ 1 ฟุต ระดับความลึกของน้ำในช่วงที่อยู่ได้คือ 0.10-0.75 เมตร แต่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในระดับน้ำลึกไม่เกิน 0.3 เมตร ธูปฤาษีเป็นพืชที่นิยมใช้พื้นที่ชุ่มน้ำในอเมริกาโดยเฉพาะพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลพื้นผิว (FWS) ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ SF นั้น เนื่องจากรากของธูปฤาษีแทงรากได้ไม่ลึกนัก การใช้จึงต้องมีการออกแบบความลึกของตัวกลางให้เหมาะสม

อ้อ *Phragmites australis* (reed) เป็นพืชโผล่พ้นน้ำที่พบกระจายอยู่ทั่วไป อยู่ในวงศ์ Graminae ระดับพีเอชที่เหมาะสม คือ 2-8 สามารถทนความเค็มได้ 45 ppt. เจริญเติบโตได้รวดเร็วเนื่องจากมีไรโซม และสามารถแตกกิ่งได้ สามารถอยู่ในน้ำที่มีระดับความลึกสูงถึง 1 เมตร ทนความแห้งแล้งได้ดี เป็นพืชชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำของอเมริกาและยุโรป โดยเฉพาะในยุโรปเป็นที่นิยมมาก (Reed, Crites และ Middlebrooks, 1995)

แห้วทรงกระเทียม *Eleocharis dulcis* (chinese water chesnut หรือ spikerush) ต้นแห้วทรงกระเทียมเป็นพืชโผล่พ้นน้ำ ลำต้นอ่อน เป็นพืชหลายปี (perennial plant) สามารถงอกเจริญต้นใหม่ได้จากต้นเดิมมีไรโซม อยู่ในวงศ์ Cyperaceae ลำต้นสีเขียวเป็นหลอดกลวงคล้ายต้นกระเทียม มีผนังบาง ๆ กั้นเป็นช่อง ๆ (transversely septate) (สุชาดา, 2530)ในฤดูน้ำมากจะเจริญทาง vegetative โดยแพร่ขยายทางไรโซม เกิดเป็นต้นลูก ส่วนในช่วงน้ำลดจะเริ่มออกดอกเป็นลักษณะ spike มีความยาว 1.5-3.0 ซม. มีการสร้างท่อใต้ดินที่ปลายไรโซม โดยปกติต้นที่โตเต็มที่จะมีความสูงอยู่ในช่วง 30-100 cm. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.3 ซม. เป็นพืชที่พบได้ทั่วไป โดยเฉพาะในที่ที่เปียกชื้นและมีน้ำขัง เช่นนาข้าวเป็นต้น ต้นแห้วทรงกระเทียมนี้อาจเรียกว่า ทรงกระเทียมก็ได้ แต่ที่มีการเติมคำว่าแห้วลงไปเนื่องจากมีไรโซม ที่สามารถกินได้ (วิชาการเกษตร, 2532)

### จุลินทรีย์

พื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของพวกจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะเกาะบนตัวกลาง (substrate) หรือพืชน้ำ และยังอาศัยสารต่าง ๆ จากพืชในการดำรงชีวิต เช่น $O_2$ ชนิดของจุลินทรีย์ที่สำคัญ 2 กลุ่ม ในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ แบคทีเรียและพวกราต่าง ๆ จุลินทรีย์พวกนี้มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัดเนื่องจากทำให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ คือ การดูดซึม (assimilation) การเปลี่ยนรูป (transformation) และการหมุนเวียนของสารในน้ำเสีย

## การบำบัดของพื้นชุ่มน้ำ

### อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการทำงานของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนการทำงานบางอย่างของระบบ กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสูง การระเหยและคายน้ำของพืชจะสูง ความเข้มข้นของสารจะเพิ่มขึ้นต้องมีการทำให้เจือจางก่อนเข้าระบบ หรือมีการบำบัดขั้นต้นเพิ่มเติม ส่วนในช่วงอุณหภูมิต่ำนั้นถ้าต่ำมากจนน้ำเป็นน้ำแข็ง ต้องมีการเติมอากาศเพิ่มความเร็วของน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแข็งตัว (Girts และ Knight, 1989)

Kadlec และ Knight (1996) กล่าวว่า อุณหภูมิและแสงอาทิตย์ เป็นสารเริ่มต้นของกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแสงจึงมีความสำคัญในการกำจัดฟอสฟอรัสทำให้ความสามารถในการลดลงแต่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

Yin และ Shen (1995) ได้ทำการศึกษาการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (subsurface wetlands) ในการบำบัดน้ำเสียในที่ที่มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำกว่า -4 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพในการลด $BOD_5$ 89-97 เปอร์เซ็นต์ ,COD 78-87 เปอร์เซ็นต์ , TOC 69-77 เปอร์เซ็นต์ , SS 77-88 เปอร์เซ็นต์ ,TN 60-90 เปอร์เซ็นต์ , $NH_4$-N 62-92 เปอร์เซ็นต์ , TP 73-91 เปอร์เซ็นต์ , โลหะหนัก 72-99 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อที่ทำให้เกิดโรคมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราภาระบรรทุกของน้ำ (hydraulic loading rate) 3-4 cm/day

**ความเป็นกรดด่าง (pH)**

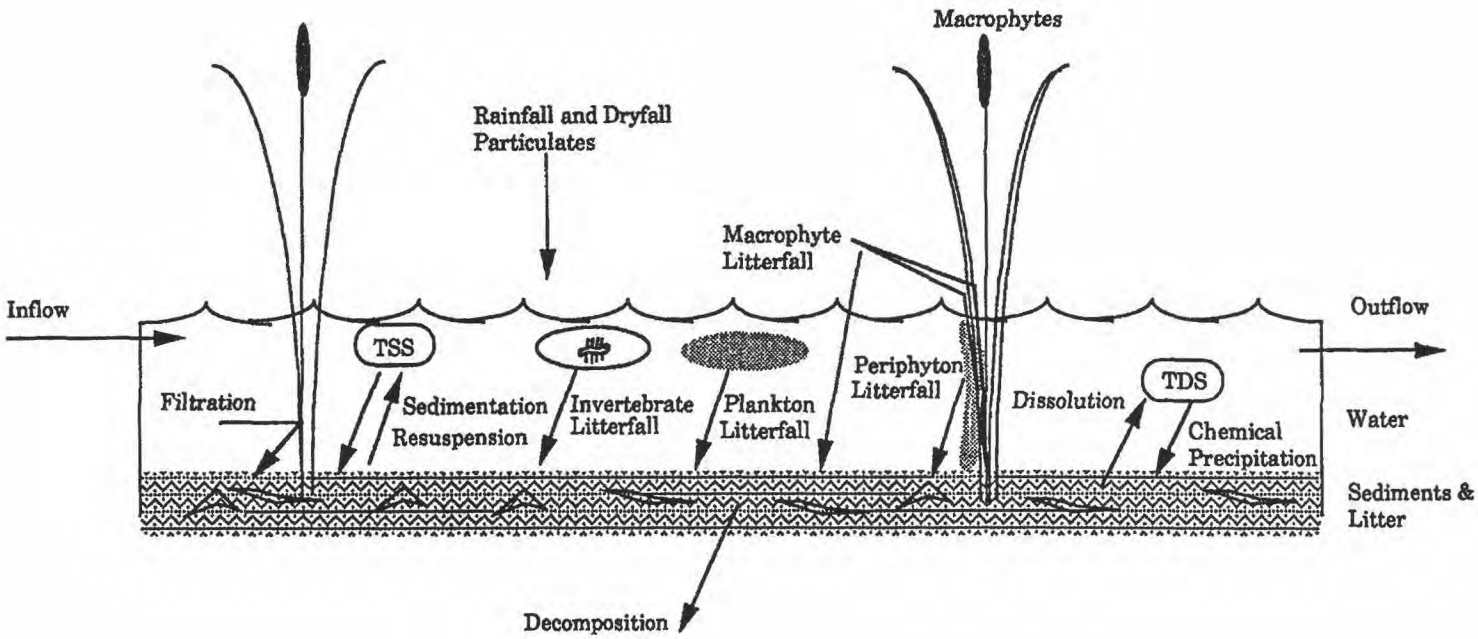
ความเป็นกรดด่าง (Kadlec และ Knight, 1996 ) มีผลต่อลักษณะทางเคมีของน้ำ และสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ เนื่องจากปฏิกริยาต่าง ๆ ในกระบวนการชีววิทยาจะเกิดในช่วง pH ที่จำกัด เช่น การบำบัดโดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นใน pH ช่วง 4.0-9.5 การเกิดปฏิกริยา Denitrification โดยสิ่งมีชีวิตอยู่ในช่วง pH 6.5-7.5 แต่จะดีที่สุดในช่วง pH เท่ากับ 7.2 หรือมากกว่า

นอกจากนี้ pH ยังเป็นสิ่งสำคัญในการเกิดปฏิกริยาเคมีต่างๆ เช่นอลูมิเนียมฟอสเฟต จะตกตะกอนดีที่สุดที่ pH 6.3 แอมโมเนียมจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมอิสระ (free ammonia) ที่ pH สูงกว่า pH เป็นกลางและที่อุณหภูมิสูงเป็นต้น ค่า pH ของ น้ำเข้าควรอยู่ในช่วงไม่เป็นกรดแก่หรือเบสแก่ เนื่องจากเป็นช่วงที่เหมาะสม และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

สำหรับ ค่า pH ของน้ำที่ออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยส่วนมากจะอยู่ในช่วงเป็นกลาง คือมี pH ประมาณ 7 หรือเป็นกรดเล็กน้อย ยกเว้นพื้นที่ชุ่มน้ำที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากเหมืองซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจต้องการบำบัดขั้นต้นก่อนผ่านน้ำเสียเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ ถ้าน้ำเสียดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดมาก เช่น การศึกษาของ Wenerick และคณะ (1989) ในการบำบัดน้ำเสียจากเหมืองพบว่าต้องมีการปรับค่า pH ให้สูงขึ้นก่อนเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ การศึกษาค่า pH ในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ FWS พบว่าถ้าน้ำเข้ามีแนวโน้ม pH อย่างไร pH ของน้ำออกก็จะแสดงแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ส่วนในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ SF นั้น การเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำเข้าเกี่ยวข้องกับปฏิกริยาระหว่างตัวกลางกับ bioflim ของตัวกลางมากกว่าเกี่ยวข้องกับพืช ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Bower และคณะ (1987) พบว่าค่า pH ของแปลงที่ไม่ได้ปลูกพืชมีแต่ตัวกลางกับแปลงที่ปลูกพืชมีค่า pH เท่า ๆ กัน

**สารแขวนลอย** (Suspended solid)

ความสำคัญอย่างหนึ่งของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น คือ การลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการที่ซับซ้อนหลายกระบวนการ รวมถึงการเคลื่อนย้ายของแข็ง (transportable solid) โดยสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเฉพาะเมื่อน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำมีความเร็วของน้ำต่ำ มีพืชน้ำปกคลุม มีดินและตัวกลางที่เหมาะสมด้วยแล้วจะยิ่งช่วยในการกรองและการตกออกมา (fall out) ของของแข็ง การกำจัดสารแขวนลอยจากน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นกระบวนการซึ่งทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ซึ่งเป็นหน้าที่ที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำ สารมลพิษในน้ำเสียส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย เช่น โลหะต่าง ๆ




รูปที่ 2.7 กระบวนการกักเก็บและแลกเปลี่ยนสารแขวนลอยในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

หรือสารอินทรีย์เคมี ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ ของแข็งที่ถูกกำจัดออกมาจากน้ำด้วยกระบวนการต่าง ๆ ในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ SF ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิดการสะสมจนอุดตัน (blockage) ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ FWS ของแข็งดังกล่าวจะสะสมที่ก้นบ่อและเพิ่มปริมาณขึ้น

ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบ FWS กระบวนการกักเก็บและเคลื่อนย้ายของสารแขวนลอยสามารถสรุปได้ดังรูป 2.7

การไหลของน้ำที่ค่อนข้างช้าในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนทางกายภาพ (physical setting) ของสารแขวนลอย นอกจากนี้ความหนาแน่นของพืชน้ำจะเพิ่มการทิ้งตัวของสารแขวนลอย โดยการกรอง เนื่องจากพืชน้ำจะจับของแขวนลอยไว้ในชั้นที่มีการสะสมของซากพืชและสัตว์ (litter layer) ช่วยป้องกันการกลับคืนสู่สภาพสารแขวนลอย (suspension) และเพิ่มความสามาถในการกำจัดสารแขวนลอย ประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำ ในการกำจัดสารแขวนลอยทั้งหมดโดยทั่วไป สูงกว่าร้อยละ 67 และมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำออกอยู่ในช่วง 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ลดลง (Kadlec และ Knight, 1996)

**บีโอดี** (Biochemical oxygen demand)

พื้นที่ชุ่มน้ำมีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเนื่องจากระบบมีการใช้สารคาร์บอน (carbon source) ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของระบบ ในขณะเดียวกันกระบวนการย่อยสลายในพื้นที่ชุ่มน้ำเองก็ได้สารประกอบคาร์บอน ดังนั้นความสมดุลระหว่างการรับเข้าและการเกิดขึ้นของสารคาร์บอน คือผลสุทธิของคาร์บอนที่จะออกจากระบบ ซึ่งมักจะแสดงออกในรูปของค่าบีโอดี โดยปกติพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีค่าบีโอดีของระบบสะสมอยู่ในระดับหนึ่งทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและสภาวะของระบบ สำหรับค่า BOD ดังกล่าวในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบ SF ค่าจะอยู่ในช่วง 5-15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กระบวนการทางเคมีและชีวเคมีในการกำจัดค่าบีโอดีประกอบด้วย การพายใจโดยใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) การหมัก (fermentation) กระบวนการลดลงของไนเตรท แมงกานีสและเหล็กโดยไม่ใช้ออกซิเจน และการเกิดขึ้นของมีเทน (methanogenesis)

**ซีโอดี** (Chemical oxygen demand)

เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของ chemical oxidant ที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ซึ่งค่าซีโอดีจะสูงกว่าค่าบีโอดี สำหรับค่าสัดส่วนของซีโอดีนั้นอาจจะวัดได้ทั้งก่อนหรือหลังผ่านการทดลองแล้วก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าต้องการหาปริมาณซีโอดีทั้งหมด (total COD) หรือปริมาณซีโอดีที่ละลายได้ (soluble COD) โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนจะประมาณ 0.4-0.8 ส่วนในน้ำเสียอุตสาหกรรมนั้นค่าอัตราส่วนจะต่ำกว่านี้

พื้นที่ชุ่มน้ำเป็นระบบที่สามารถใช้แหล่งคาร์บอนภายนอกอย่างมีประสิทธิภาพมาก ดังจะเห็นได้จากการลดลงของค่าบีโอดีและซีโอดี กล่าวคือพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้มาก จนอาจต่ำกว่าระดับพื้นฐานบีโอดีและซีโอดีที่พบในน้ำธรรมชาติทั่วไป ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและสภาวะของพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยทั่วไประดับค่าพื้นฐานของบีโอดีอยู่ในช่วง 1-6 มิลลิกรัมต่อลิตร และอยู่ในช่วง 30-100 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าซีโอดี

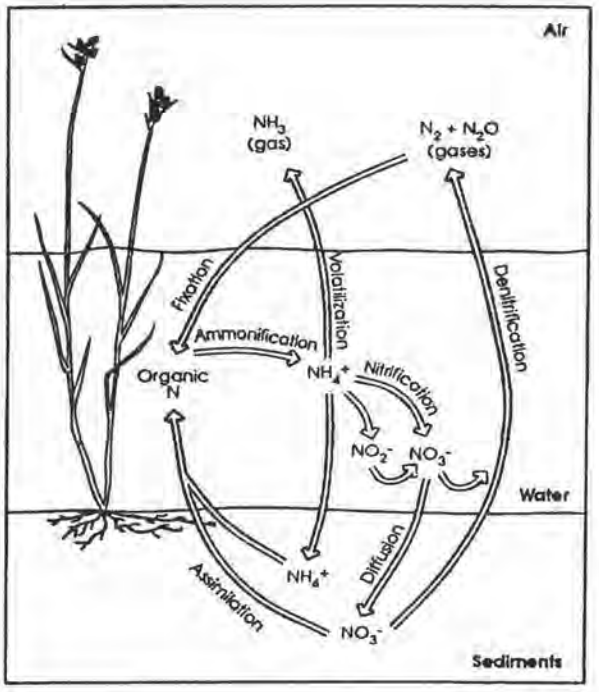
**สารอาหาร** (Nutrients)

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารต่าง ๆ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน สำหรับสารอาหารที่ให้ความสนใจ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

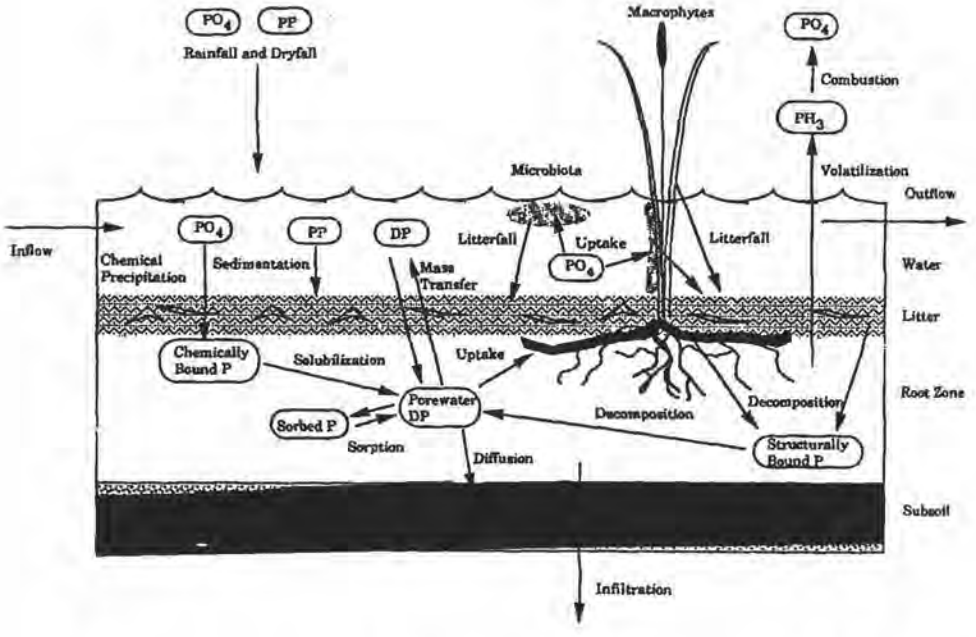
ไนโตรเจน (nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นสารที่มีวัฏจักรทางชีวธรณีเคมี (biogeochemical cycle) ที่ซับซ้อน การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนทั้ง 7 สถานะเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะอยู่ในดินตะกอนในรูปของสารไนโตรเจนอินทรีย์ รองลงมาคือในพืช และไนโตรเจนอนินทรีย์ที่สามารถนำไปใช้ได้ในดินตะกอน

Bavor (1995) กล่าวว่า การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียนั้น โดยทั่วไปแล้วสามารลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงถึงร้อยละ 79 เมื่อน้ำเสียมีอัตราภาระบรรทุกไนโตรเจน (nitrogen loading rates) ไม่เกิน 1600 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อปี สำหรับกลไกในการกำจัดไนโตรเจนของพื้นที่ชุ่มน้ำประกอบด้วยกระบวนการทางกายภาพและระยะเวลาในการกักเก็บที่นาน แต่กลไกที่สำคัญ คือ การเกิดปฏิกิริยา nitrification และ denitrification โดยสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะลดลงหากเกิดสภาวะจำกัดของ




รูปที่ 2.8 กระบวนการกักเก็บและแลกเปลี่ยนสารไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)




รูปที่ 2.9 กระบวนการกักเก็บและแลกเปลี่ยนสารฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec และ Knight, 1996)

- ระยะเวลาการกักเก็บน้อย หรือ อัตราภาระบรรทุกของน้ำ (high hydraulic loading rate) สูง
- อุณหภูมิต่ำ
- ค่าความเป็นกรดด่างต่ำหรือสูงเกินไป
- การเกิดสารไนโตรเจนอินทรีย์ (organic nitrogen)
- ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ไม่เพียงพอที่จะแสดงปฏิกริยา nitrification

ฟอสฟอรัส (phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช และเป็นปัจจัยจำกัดของผลผลิตของพืช สำหรับสารประกอบฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมาจากน้ำที่ไหลเข้า (surface inflow) และการพัดพาของบรรยากาศ (atmospheric deposit) ส่วนใหญ่จะพบฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ รูปของแข็ง และฟอสฟอรัสอินทรีย์ในรูปของแข็ง สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสสามารถแสดงได้ดังรูป 2.9 ภาระบรรทุกของฟอสฟอรัสจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสก่อนเข้าระบบและภาระบรรทุกของน้ำ

โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำจะอยู่ในช่วงร้อยละ 60-90 ซึ่งปัจจัยที่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพดังกล่าวคือ การเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บ โดยลดภาระบรรทุกของน้ำ (hydraulic loading)

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อกำจัดหรือลดปริมาณสารอาหารนั้นมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสียชุมชน เช่น การศึกษาของ Adrock, Ryan และ Osborne (1995) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นใน Byron Bay ประเทศออสเตรเลีย เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้พืชโผล่พ้นน้ำหลาย ๆ ชนิด พบว่า สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ประมาณร้อยละ 68 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้มากกว่าร้อยละ 97

โลหะหนัก

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดโลหะหนัก การออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว น้ำเสียที่ผ่านเข้าระบบ ควรมีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ กล่าวคือ การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำจะเป็นการบำบัดขั้นที่สองหรือขั้นที่สูงกว่า ในกรณีที่น้ำนั้นมีปริมาณโลหะหนักสูง สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดโลหะจะสูงหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตรา

ภาระการบรรทุกมวล (mass loading rate) กับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย ส่วนกลไกที่เกิดขึ้นในการกำจัดโลหะหนักระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำกับโลหะหนักประกอบด้วย

1. การจับ (binding) กับอนุภาคดิน ตะกอน อนุภาคอื่น ๆ และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

2. การตกตะกอน (precipitation) ในรูปของเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่ในรูปของซัลไฟด์ (sulfide) และออกซิไฮดรอกไซด์ (oxyhydroxide)

3. การรับเอา (uptake) โดยพืช รวมถึงสาหร่ายและแบคทีเรีย

กล่าวคือ ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำจะจับกับโลหะ โดยขบวนการดูดซับ (adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange) และการ chelation ส่วนในพืช โลหะหนักจะเข้าสู่ต้นทางรากและมักจะสะสมอยู่บริเวณราก(Taylor และ Crowder,1983) ไม่ค่อยเคลื่อนที่สู่ยอด (McBride, 1994) มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะไปสะสมอยู่บริเวณไรโซม ลำต้น และใบ (Wallace และคณะ 1975; Taylor และ Crowder, 1981) หรืออาจกล่าวได้ว่ามีการสะสมของโลหะหนักอยู่ในส่วนใต้ดินมากกว่าส่วนที่อยู่เหนือดิน (Mungur และคณะ, 1995) นอกจากนี้ในใบแก่จะมีการสะสมโลหะหนักมากกว่าในใบอ่อนเนื่องจากมีสารอินทรีย์มากกว่า (Blake, 1987) สำหรับกระบวนการเคลื่อนที่ของโลหะหนักเข้าสู่รากอาจเกิดจากกระบวนการ passive diffusion แต่โดยทั่วไปจะเกิดจากกระบวนการ active transfer ซึ่งได้พลังงานมาจากการหายใจของพืช (Fergusson, 1990)

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น โดยศึกษาในพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

Buddhawong (1996) ทดลองใช้พืช 2 ชนิดคือ กกกลม *Cyperus corymbosus* และแห้วทรงกระเทียม *Eleocharis dulcis* ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่จังหวัดสกลนคร ใน 3 ระดับความลึกคือ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตร พบว่ากกกลมที่ระดับความลึก 0.15 เมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดค่าออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส แอมโมเนียไนโตรเจน ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนทั้งหมด และบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 60

Urbance-Bercic และ Bulc (1995) ศึกษาการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่มีอ้อเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กในสโลเวเนีย ศึกษาการลดลงของสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งปรากฏว่าสามารถลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 85.6 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 17.1 และซีโอดีร้อยละ 94.4

Thomas, Glover และ Kalaroopan (1995) ได้ศึกษาทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่ประกอบด้วยพืชน้ำ 2 ชนิด คือ *Schoenoplectus validus* และ *Juncus ingena* ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพืช 2 ชนิดในการบำบัด กล่าวคือประสิทธิภาพการลดบีโอดีและซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 71-75 สารแขวนลอยร้อยละ 85 แอมโมเนียร้อยละ 17-24 และไนเตรทร้อยละ 65-80

Vrhovsk, Kukanja และ Bulc (1996) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหาร พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีร้อยละ 92 บีโอดีร้อยละ 89 ออร์โธฟอสเฟตร้อยละ 96 แอมโมเนียร้อยละ 86 และไนเตรทร้อยละ 65

Martin และ Johnson (1995) พบว่ากระบวนการทางกายภาพ จุลชีวะและเคมีที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบ SF และมีการเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียจากขยะ (leachate) โดยสามารถลดค่าต่าง ๆ คือ ไนโตรเจน สารแขวนลอย ฟอสเฟต ออร์กานิกคาร์บอน ซีโอดี และโลหะคือเหล็กและแมงกานีสได้ร้อยละ 64-99 ซึ่งการศึกษาของ Maehlum (1995) ในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ SSF ก็ได้ผลใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 71-95

Thayalakumaran (1994) ศึกษาการใช้พื้นทีชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียโดยใช้ต้นธูปฤาษี สามารถกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้สูงถึงร้อยละ 99 และสามารถลดค่าซีโอดีที่ละลายได้ สารแขวนลอยทั้งหมด และไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 64, 89 และร้อยละ 85 ตามลำดับ

**การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ** (Design Procedure of Constructed Wetland)

การออกแบบพื้นที่ชุ่มนั้นต้องให้เหมาะสมต่อกลไกการกำจัดสารมลพิษด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และเกิดความสมดุลย์ระหว่างปฏิกริยาการย่อยสลายทางชีววิทยาทั้งที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน รวมถึงการคายระเหยของระบบด้วย สำหรับกลไกโดยสรุปนั้นสามารถแสดงในตารางที่ 2.5

การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบ SF นั้น ถ้ามีระยะเวลากักเก็บที่นาน (long detention time) และมีพื้นผิวในการสัมผัสมาก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคต่าง ๆ และสารอินทรีย์ เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบ SF ที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.6

ตารางที่ 2.5 กลไกการกำจัดสารต่างๆ ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Kadlec, 1995)

| Mechanism | Contaminant Affected | Description |
|---|---|---|
| **Physical** | | |
| Sedimentation | P-Settleable solid<br>S-Colloidal solid<br>I-BOD, nitrogen, phosphorus,heavy metals, refractory organics, bacteria and virus | Gravity settling solids (and constituent contaminants) in pond/ marsh settings. |
| Filtration | S-Settleable solids, colloidal solids | Particulates filtered mechanically as water passes through substrate, root masses, or fish. |
| Adsorption | S-Colloidal solids | Interparticles attractive force. |
| **Chemical** | | |
| Precipitation | P-Phosphorus, heavy metals | Formation of or coprecipitation with soluble compounds. |
| Adsorption | P-Phosphosrus, heavy metals<br>S-Refractory organics | Adsorption on substrate and plant surface. |
| Decomposition | P-Refractory organics | Decomposition or alteration of less stable compounds by phenomena such as UV irradiation, oxidation, and reduction. |
| **Biological** | | |
| Microbial metabolisms | P-Colloidal solids, BOD, nitrogen, refractory organics, heavy metals | Removal of colloidal solids and soluble organics by suspended, benthic, and plant supported bacteria. Microbially mediated oxidation of metals. |
| Plant metabolisms | S-Refractory organics, bacteria, and virus | Uptake and metabolism of organics by plants. |
| Plant adsorption | S-Nitrogen, phosphorus, heavy metals, refractory organics | Under proper conditions, significant quantities of these contaminants will be taken up by plants. |
| Natural dieoff | P-Bacteria and virus | Natural decay or organisms in an unfavorable environment. |

Note: 1) P = primary effect; S = secondary effect; I = incidental effect (effect occuring incidental to removal of another contaminant)

2) Metabolism includes both biosynthesis and catabolic reactions.

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การออกแบบ พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลพื้นผิว (Crites, 1992; Wood,1995)

| รายละเอียด | การออกแบบ FWS |
|---|---|
| ระยะเวลากักเก็บ (วัน) | 5-14 |
| ปริมาณ BOD สูงสุด (กก./เฮกเตอร์.วัน) | 80 |
| ระดับความลึกของน้ำหรือตัวกลาง (เมตร) | 0.1-0.5 |
| อัตราภาระบรรทุกน้ำ (มม./วัน) | 7-60 |
| อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง | 2: 1 ถึง 10:1 |
| ระยะเก็บเกี่ยว (ปี) | 3-5 |

**อุตสาหกรรมชุบโลหะ** (Electroplating industry)

การชุบโลหะเป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีในการเคลือบผิวโลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและเป็นการตกแต่งอุปกรณ์ โลหะที่ใช้ในการชุบชั้นต้น (primary coating metal) คือ สังกะสี ทองแดง โครเมียมและนิเกิล ส่วนในขั้นที่สอง คือ เหล็ก แคดเมียม ดีบุก ตะกั่ว และโลหะผสม หรืออาจเป็นโลหะที่มีค่าเช่น ทอง เงิน ทองคำขาว

ในอุตสาหกรรมชุบโลหะ แหล่งกำเนิดของสารมลพิษที่สำคัญมี 3 อย่างคือ

1. น้ำเสียจากการล้างชิ้นงาน (Waste rinsewater)
2. สารละลายในการชุบโลหะ (Process solution)
3. การหกหรือรั่วของสารในกิจกรรมของการชุบโลหะ (accidental spill and leaks)

สารพิษที่เกิดขึ้นในน้ำเสีย ได้แก่ พวกโลหะต่าง ๆ ที่ตกค้าง ไซยาไนต์ และสารละลายต่าง ๆ สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันทั่วไป คือ การตกตะกอนด้วยสารเคมี(chemical precipitation) การเร่งตะกอน และการนำกลับมาใช้ (recycle)

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการกำจัดสารแขวนลอยและโลหะที่ละลายอยู่มีความเป็นไปได้สูง แต่จะต้องมีการศึกษาถึงการจัดการปนเปื้อนในดิน และพืชที่เหมาะสม

โลหะปนเปื้อนที่สนใจศึกษาในการวิจัยนี้คือ โครเมียม ซึ่งเป็นโลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมากับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ และเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่ใช้ในการชุบผิวโลหะ

ตารางที่ 2.7 ปริมาณโครเมียมในน้ำผิวดิน ในพืชและในดิน (Kadlec และ Knight, 1996)

| สถานที่ | โครเมียม (Cr) | อ้างอิง |
|---|---|---|
| **ดินและสลัดจ์ (มก./กก.นน.แห้ง)** | | |
| ดินชั้นบน | 100 | Lindsay, 1979 ; Lako,1987 |
| ดินชั้นบน (จีน) | 61 | Chon et al., 1991 |
| ดินชั้นบน (อริโซนา) | 17.5 | TETC, 1991 |
| หนองน้ำจืดในฟลอริดา (ทางน้ำเข้า) | 30 | Schiffer, 1989 |
| หนองน้ำจืดในฟลอริดา (ทางน้ำออก) | 9 | Schiffer, 1989 |
| ทะเลสาบน้ำตื้นและพืชโผล่พ้นน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ | 300 | Wisseman and Cook, 1977 |
| **น้ำผิวดิน (ไมโครกรัม/ลิตร)** | | |
| น้ำเสีย | 167 | Williams, 1982 |
| แม่น้ำ | 0.50 | Stephenson, 1987 |
| บึงน้ำในป่าฟลอริดา | 2.78 | Harper and Livingston, 1985 |
| **พืช (มก./กก.นน.แห้ง)** | | |
| แหน(Duckweed), ออนตาริโอ | 38 | Murdoch and Capobianco, 1979 |
| Glyceria, ออนตาริโอ | 2.2 | Murdoch and Capobianco, 1979 |
| Sphagnum bog, ฟินแลนด์ตอนเหนือ | 6.3 | Glooschenko et al., 1986 |

**โครเมียม** (Chromium)

โครเมียมเป็นโลหะทรานซิชั่น มีน้ำหนักโมเลกุล 51.9961 จำนวนอะตอมเท่ากับ 24 จุดหลอมเหลว 1857 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นเท่ากับ 7.19 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ สำหรับโครเมียมที่พบทั่วไปจะอยู่ในรูปของไตรวาเลนท์ (trivalent, โครเมียม(III)) หรือเฮกซะวาเลนท์ (hexavalent , โครเมียม(VI)) ซึ่งโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นรูปที่ไม่เสถียร สามารถเปลี่ยนรูปไปอยู่ไตรวาเลนท์ ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่าและเสถียรกว่าในน้ำผิวดิน โดยเฉพาะเมื่อมีสารอินทรีย์อยู่ด้วย โดยอยู่ในรูปของโครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์และโครเมียม (III) คลอไรด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถนำไปใช้ได้ แม้ว่าโครเมียมจะเป็นพิษต่อพืชและมนุษย์ แต่ในสัตว์บางชนิด โครเมียมก็เป็นโลหะปริมาณน้อยที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิต ความไวของสิ่งมีชีวิตต่อโครเมียมจะแตกต่างกันในสิ่งมีชีวิตที่ต่างกัน และแม้ในสิ่งมีชีวิตเดียวกันก็อาจแตกต่างกันได้

ปริมาณโครเมียมในพืชโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.1 เท่าของปริมาณโครเมียมในดิน และพืชเกษตรกรรมจะแสดงอาการเป็นพิษต่อพืชเมื่อมีปริมาณโครเมียมสะสมประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ส่วนในสาหร่ายมีรายงานความเป็นพิษของโครเมียมที่ระดับน้อยกว่า 20 ถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในแม่น้ำทั่วโลกพบว่ามีค่าประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโครเมียมในดินพื้นที่ชุ่มน้ำน้ำจืด โดยทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตารางที่ 2.7 แสดงปริมาณโครเมียมในดิน น้ำ พืช และสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ

สำหรับการลดลงของปริมาณโครเมียมในพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน น้ำจากเมือง (urban runoff) และน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ พบว่าประสิทธิภาพการลดขึ้นกับปริมาณโครเมียมในน้ำเข้า ซึ่งสูงถึงร้อยละ 87.5 หรือมากกว่าเมื่อปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าอยู่ในระดับ 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการบำบัดโครเมียมสามารถกระทำได้ทั้งในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ FWS หรือแบบ SF