บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หญ้าแฝก

หญ้าแฝก (vetiver grass) เป็นพืชในวงศ์หญ้า (Gramineae) อยู่ในสกุล (genus) *Vetiveria* (คณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, มปป.) เป็นพืชวงศ์เดียวกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตระไคร้ ซึ่งพบกระจายอยู่ในหลายพื้นที่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

หญ้าแฝกเป็นหญ้าพื้นเมืองของประเทศแถบทวีปอัฟริกาและเอเชีย ชนิดที่พบในแถบทวีปอัฟริกามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria nigritina* Stapf และที่พบในแถบเอเชียมีชื่อว่า *Vetiveria zizanioides* L. nash ปัจจุบันหญ้าแฝกมีการแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในประเทศเขตร้อน ได้แก่ อินเดีย ศรีลังกา สาธารณรัฐสังคมนิยมสหภาพพม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย เป็นต้น (Skerman and Riveros, 1993)

หญ้าแฝก (vetiver grass) มีอยู่ในโลกประมาณ 11 ชนิด สำหรับในประเทศไทย นักพฤกษศาสตร์ได้ตรวจสอบพบว่ามีอยู่เพียง 2 ชนิด ได้แก่หญ้าแฝกหอมหรือแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizaniodes* L. nash) และหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria namoralis* A. camus) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) โดยกรมพัฒนาที่ดินได้รวบรวมกลุ่มพันธุ์ (Ecotype) ไว้เพื่อการขยายพันธุ์สำหรับแจกจ่ายชาวบ้านทั้งหมด 28 กลุ่มพันธุ์ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายกลุ่มพันธุ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เช่น กลุ่มพันธุ์ศรีลังกา กลุ่มพันธุ์มอนโต้ กลุ่มพันธุ์อินเดีย กลุ่มพันธุ์ฟิจิ และกลุ่มพันธุ์พระราชทาน เป็นต้น

ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยทั้ง 2 ชนิด จะคล้ายคลึงกันแต่จะแตกต่างกันบ้าง ได้แก่ ความสูง ซึ่งความสูงของหญ้าแฝกลุ่มจะสูงกว่าหญ้าแฝกดอน ใบของหญ้าแฝกลุ่มจะมีสีนวลและอ่อนนุ่มกว่าหญ้าแฝกดอนรวมทั้งความยาวของราก หญ้าแฝกลุ่มจะมีรากยาวกว่าหญ้าแฝกดอนเป็นต้น (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2542)

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝก

1) ลำต้น (culm) และใบ (leaf)

หญ้าแฝกที่ขึ้นเป็นกอมีลักษณะเป็นพุ่มใบบาง ตั้งตรงขึ้นสูง มีการขึ้นอยู่เป็นกลุ่มใหญ่หรือกระจายกันอยู่ กอแฝกมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โคนกอเบียดกันแน่น เป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าอื่นๆ ส่วนโคนของลำต้นจะแบนเกิดจากส่วนโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบใบบริเวณคอดิน การเจริญเติบโตและการแตกกอของหญ้าแฝกจะมีการแตกหน่อใหม่ทดแทนต้นเก่าอยู่เสมอ โดยจะแตกหน่อออกทางด้านข้างรอบกอเดิม ทำให้กอมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ โดยปกติแล้วหญ้าแฝกมีลำต้นสั้น และปล้องไม่ชัดเจน

ใบของหญ้าแฝกจะแตกออกจากโคนกอ มีลักษณะแคบยาวขอบใบขนาน ปลายสอบแหลม แผ่นใบแผ่ออก ใบแก่ขอบใบและเส้นกลางใบจะมีหนามละเอียด (spinulose) โดยที่ส่วนโคนและกลางใบจะมีน้อยแต่จะส่วนปลายใบจะมีมาก หนามมีลักษณะตั้งทะแยงชี้ไปทางปลายใบ ใบของหญ้าแฝกลุ่มจะยาวและกว้างกว่าใบของหญ้าแฝกดอน นอกจากนี้ใบของหญ้าแฝกลุ่มจะนุ่มกว่าเนื่องจากมีไขเคลือบมาก และมีสีเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบออกสีขาว ขณะที่ใบของหญ้าแฝกดอนจะมีสีซีด หลังใบพับเป็นสันแข็งสามเหลี่ยม

2) ราก (root)

รากเป็นส่วนสำคัญและเป็นส่วนที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมาก หญ้าแฝกมีรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous roots) เช่นเดียวกับพืชตระกูลหญ้าชนิดอื่นๆ โดยรากแตกจากส่วนลำต้นใต้ดิน และกระจายออกในแนวดิ่งมากกว่าแนวนอน รากประสานกันแน่นหยั่งลึกลงในดิน ไม่แผ่ขนาน มีรากแกน รากแขนง โดยเฉพาะมีรากฝอยแนวดิ่งจำนวนมาก ทำให้ระบบรากของหญ้าแฝกที่ลึก แข็งแรง และประสานกันแน่นนี้สามารถทำหน้าที่ยึดเกาะดิน และช่วยลดและป้องกันการกร่อนของดินได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) และทำหน้าที่เสมือนกำแพงใต้ดินและเก็บกักความชื้นไว้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากระบบรากของหญ้าแฝกแผ่ขยายกว้างออกตามด้านข้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น จึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืชที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (จดหมายข่าวหมอดิน, 2535)

หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีสามารถเจริญเติบโตในสภาพพื้นที่ที่เป็นดินร่วนเหนียวและดินลูกรัง แตกกอได้ถึง 22 ต้นต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลางกอ 13 เซนติเมตร สูง 108 เซนติเมตร แตกกอหลวม หน่อกลมอวบยืดปล้องเร็ว ทรงพุ่มกางมาก ใบสีเขียวอ่อน ท้องใบขาว ดอกมีสีม่วงแดง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

ตารางที่ 2.1 รายชื่อหญ้าแฝก 28 กลุ่มพันธุ์ที่พบในประเทศไทย จำแนกตามชนิด

หญ้าแฝกหอม (หญ้าแฝกลุ่ม)	หญ้าแฝกดอน
กำแพงเพชร	อุดรธานี 1
เชียงราย	อุดรธานี 2
สงขลา 1	นครพนม 1
สงขลา 2	นครพนม 2
สงขลา 3	ร้อยเอ็ด
สุราษฎร์ธานี	ชัยภูมิ
ตรัง 1	เลย
ตรัง 2	สระบุรี 1
ศรีลังกา	สระบุรี 2
เชียงใหม่	ห้วยขาแข้ง
แม่ฮ่องสอน	กาญจนบุรี
	นครสวรรค์
	ประจวบคีรีขันธ์
	ราชบุรี
	จันทบุรี
	พิษณุโลก
	กำแพงเพชร 1

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2541)

2.2 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)

ระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น (U.S.EPA.,1988) เป็นระบบนิเวศ (ecosystem) ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัย พืช ดิน และจุลินทรีย์ร่วมกัน จุดเด่นของระบบบึงประดิษฐ์คือใช้กระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัด ก่อให้เกิดระบบนิเวศซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ป่า สุนทรียภาพและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและดูแลรักษาต่ำ ลดการใช้พลังงาน สามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้หลายประเภท ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสีย อุตสาหกรรม และน้ำเสียจากการเกษตรกรรม

การใช้ระบบบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสียนั้น ส่วนใหญ่เหมาะสมสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว คือ ใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองหรือสูงกว่า เนื่องจากน้ำเสียนั้นอาจมีความเข้มข้นของสารต่างๆ สูงจนสร้างความเสียหายให้แก่ระบบนิเวศในระบบ ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539)

หลักการของระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเหมือนกันกับระบบบึงประดิษฐ์ตามธรรมชาติ แต่แตกต่างกันตรงที่ระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น สามารถควบคุมอุทกวิทยาและสภาพแวดล้อมต่างๆในระบบได้มากกว่า จึงเป็นข้อได้เปรียบทางด้านสถานที่ตั้งที่มีความยืดหยุ่นกว่า ตั้งอยู่ที่ใดหรือขนาดใดก็ได้โดยอาศัยเกณฑ์การออกแบบต่างๆ (Bastain, 1989 อ้างถึงใน ลักษณี คณานิธินันท์, 2539)

ระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียมี 2 แบบ คือ แบบไหลผ่านพื้นผิว free water surface (FWS) หรือ surface flow wetlands มีลักษณะและการทำงานเหมือนระบบบึงประดิษฐ์ตามธรรมชาติ จะเป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดิน จากนั้นจึงซึมผ่านลงสู่ก้นบ่อประกอบด้วย พืชน้ำหลายชนิดซึ่งเป็นพืชที่ปรับตัวเพื่ออยู่รอดในที่น้ำท่วมขังโดยมีระดับน้ำสูงกว่าระดับผิวตัวกลาง น้ำเสียจะสัมผัสกับอากาศโดยตรง พืชน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้มีส่วนทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ และเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น

ระบบบึงประดิษฐ์แบบที่สอง คือ แบบไหลผ่านใต้ผิวดิน subsurface flow wetlands (SF) เป็นการบำบัดโดยผ่านน้ำเสียลงไปในชั้นตัวกลาง ซึ่งมีพืชน้ำขึ้นอยู่บนชั้นตัวกลาง รากของพืชเจริญหยั่งลึกลงในช่องว่างระหว่างตัวกลาง โดยตัวกลางดังกล่าวมักใช้เป็นพวกหินกรวดขนาดใหญ่ หินขนาดเล็ก ทราย หรือดินซึ่งน้ำเสียสามารถไหลผ่านได้ดี ระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดินจึงมีลักษณะไม่เหมือนระบบบึงประดิษฐ์ตามธรรมชาติเนื่องจากไม่มีระดับน้ำสัมผัสกับอากาศโดยตรง น้ำเสียถูกบำบัดภายใต้ตัวกลางระหว่างสัมผัสกับผิวของตัวกลางและรากของพืช

ประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น ขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ กระบวนการบำบัดขั้นต้น ความเข้มข้นของน้ำเข้า อัตราการไหลของน้ำ ชนิดและขนาดของระบบบึงประดิษฐ์ มลพิษในระบบบึงประดิษฐ์จะถูกบำบัดโดยกระบวนการทั้งทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี (วงศ์พงา เส็งสาย, 2544)

2.2.1 การใช้ระบบบึงประดิษฐ์

ประสิทธิภาพการบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆที่มีในระบบบึงประดิษฐ์ทั้ง ดิน(ตัวกลาง) อุทกวิทยา พืช และจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลในปฏิกิริยาทางชีวภาพและกายภาพ การใช้ระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จสูงสุดนั้น น้ำเสียควรต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อน เพื่อลดความเข้มข้นของสารมลพิษต่างๆ เนื่องจาก

น้ำเสียนั้นอาจมีความเข้มข้นของมลพิษต่างๆสูง จนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบ ทำให้ระบบไม่ประสบผลสำเร็จในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยการบำบัดขั้นต้น เช่น ผ่านบ่อพัก (settling lagoon) เพื่อลดปริมาณสารแขวนลอย หรือระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) หรือด้วยวิธีการอื่นๆ

2.2.2 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น

ดินในระบบบึงประดิษฐ์ (wetland soil) ดินในระบบบึงประดิษฐ์เป็นดินที่มีความอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงมีความแตกต่างจากดินบริเวณอื่นๆ บนพื้นโลก คือ เกิดสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic) ช่องว่างต่างๆในดินจะมีน้ำขังอยู่เต็ม อัตราการกระจายของออกซิเจนจะลดลงอย่างมาก โดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ดินถูกน้ำท่วมขัง ระดับความลึกของน้ำ การซึมผ่านของออกซิเจนลงสู่ดินจะเป็นไปได้ยากในสภาวะนี้ และยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์บางชนิดในดิน (Boto, 1984 อ้างถึงใน วงศ์พงา เส็งสาย, 2544)

ดังนั้นลักษณะกายภาพของดินในระบบบึงประดิษฐ์ จึงมีความสำคัญในการบำบัดหรือลดสารมลพิษในน้ำเสีย หากดินในระบบเป็นดินทรายระยะเวลาที่น้ำกับดินสัมผัสกันจะมีค่าต่ำ แต่รากพืชจะสามารถชอนไชได้ดี หากเป็นดินเหนียวซึ่งแม้จะมีระยะเวลาที่น้ำกับดินสัมผัสกันนานกว่าเนื่องจากอัตราการไหลซึมผ่านของน้ำต่ำกว่าดินทราย แต่พืชจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเนื่องจากการชอนไชของรากพืชจะยาก เพื่อให้ระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย ควรเลือกชนิดของดินที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านน้ำในดินสูงเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา และมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น ดินร่วน (loamy soil)

นอกจากลักษณะทางกายภาพของดินซึ่งมีความสำคัญแล้ว ความสามารถของดินในการบำบัดหรือเคลื่อนย้ายสารต่างๆในน้ำเสียขึ้นอยู่กับประจุของดินซึ่งมีส่วนสำคัญในการเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การตกตะกอนเคมี (precipitation) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) (วงศ์พงา เส็งสาย, 2544)

พืช (plant)

พืชเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบบึงประดิษฐ์ พืชมีส่วนในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนโดยรากของพืชน้ำเหล่านี้สามารถเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดพืชเหนือผิวน้ำที่สัมผัสกับอากาศลงสู่รากพืชที่แผ่กระจายอยู่ในชั้นดิน และชั้นน้ำในระบบ ก่อให้เกิดสภาพออกซิเจนรอบ ๆ ราก เรียกว่า Rhizosphere ทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปสารอาหาร อิออนโลหะ และสารประกอบอื่น ๆ ได้ มีผลทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น

ในปัจจุบันพืชที่พบส่วนใหญ่ในระบบบึงประดิษฐ์ ประกอบด้วย พืชโผล่พ้นน้ำ (emergent plants) พืชลอยน้ำ (floating plant) และพืชจมน้ำ (submerged plant) โดยโครงสร้างส่วนใหญ่

ของพืชโผล่พ้นน้ำอยู่เหนือผิวน้ำสัมผัสกับอากาศโดยตรง พืชลอยน้ำมีโครงสร้างของใบและลำต้นอยู่บนผิวน้ำ ส่วนพืชจมน้ำมีโครงสร้างของใบและลำต้นลอยอยู่ระหว่าง พื้นผิวดินด้านล่างของระบบบึงประดิษฐ์กับผิวด้านบน ทั้งนี้พืชลอยน้ำกับพืชจมน้ำจะอยู่ในระดับลึกกว่าพืชโผล่พ้นน้ำ(ลักษณี คณานิธินันท์, 2539)

อุทกวิทยาในระบบบึงประดิษฐ์ (wetland hydrology)

สภาวะของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์มีอิทธิพลต่อดินและธาตุอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องถึง สิ่งมีชีวิตอื่นๆ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่างๆ ปัจจัยด้านอุทกวิทยาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ อัตราการไหลปริมาณน้ำ และระยะเวลากักเก็บ (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539)

2.3 โลหะหนัก

การใช้ระบบบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบควรมีการบำบัดขั้นต้นมาก่อน เพื่อให้น้ำเสียมีความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในระบบบึงประดิษฐ์

โลหะหนักในน้ำเสียจะอยู่ในรูปละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ โลหะหนักบางชนิดพืชและสัตว์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต เช่น แบเรียม โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และอื่นๆ ส่วนโลหะหนักบางชนิด มีความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ แม้จะมีความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว (Gersberg et al., 1984 และ Crites et al., 1997 อ้างถึงใน US.EPA, 2000)

การดูดซึมของพืช โลหะหนักจะเข้าสู่พืชโดยผ่านทางรากเสมอ โดยขีดจำกัดของการดูดซึมขึ้นกับชนิดของโลหะและชนิดของพืช หลายงานวิจัยรายงานว่าสามารถพบโลหะหนักบริเวณผิวของรากในระหว่าง การตกตะกอนเคมี และการดูดซับ (adsorption) (Simpson et al., 1983 อ้างถึงใน US.EPA , 2000)

นอกจากนั้นโลหะหนักยังสะสมในดิน โดยกระบวนการดูดซับ การแลกเปลี่ยนประจุบวก และการเกิดพันธะกับสารคลีเลท (chelation) (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539)

2.3.1 โครเมียม (chromium)

โครเมียมในรูปธาตุอิสระ (Cr) เป็นสารที่ไม่พบในธรรมชาติ โดยมากพบในรูปสารประกอบออกไซด์ของสินแร่ (chromic oxide) โครเมียมถูกนำมาใช้ในงานต่างๆหลายรูปแบบ รูปฟอร์มของสารประกอบโครเมียมขึ้นอยู่กับการใช้งาน ถ้าอยู่ในรูปของแข็งมักเป็นโครเมียมออกไซด์ที่มีเลขออกซิเดชั่น +2 หรือ +6 เช่น โครเมียม (+2) ถูกใช้เป็นสารให้สี (pigment) นำมาผสมเป็นสีทาอาคาร

และ โครเมียม (+6) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้อยู่ในรูปของสารละลาย โครเมียมจะมีเลขออกซิเดชั่นเป็น +6 หรือ +3 โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดซิ่งเอเจนต์ที่แรง เป็นสารประกอบอยู่ในรูปโครเมต หรือ ไดโครเมตขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของสารละลาย เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันจะเปลี่ยนโครเมียม (+6)ไปเป็น โครเมียม (+3) การใช้งานโครเมียม (+6) เช่น การชุบโลหะโครเมียมชิ้นงานเพื่อป้องกันสนิม การทำเฟอร์นิเจอร์ให้มีความมันเงาสวยงาม การใช้งานฟอกหนังและการย้อม ซึ่งสารโครเมียม (+6) เป็นสารพิษที่ไม่คงตัวในสภาพแวดล้อม สามารถเคลื่อนที่ในดินเป็นการเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2.3.2 การชุบโครเมียม (chromium plating)

การชุบโครเมียมต่างจากการชุบโลหะอื่น คือ ไม่ได้ใช้โลหะโครเมียมที่มีขั้วแอโนด แต่จะใช้โลหะโครเมียมในรูปของสารละลายโครมิก (chromic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบโครเมียม (+6) ออกไซด์ เมื่อละลายน้ำให้กรดโครมิกรูปต่างๆ มีสีส้มแดง ขั้วแอโนดที่ใช้เป็นตัวล่อเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่วหรือพลวง ในการชุบโครเมียมจะต่อชิ้นงานเข้าที่ขั้วแคโทดและจุ่มลงในน้ำยาชุบโลหะ ซึ่งเป็นกรดโครมิก ผสมกับกรดซัลฟูริก ในอัตราส่วน 100:1 เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป โครเมียม (+6) ในสารละลายจะถูกรีดิวซ์ที่ขั้วแคโทดเปลี่ยนเป็นโลหะโครเมียม (Cr^0) เกาะที่ชิ้นงานนั้น ดังสมการ

ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด

$$Cr^{+6} + 6e^- \longrightarrow Cr^0$$

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$$

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด

$$Pb \longrightarrow Pb^{2+} + 2e^-$$

$$2H_2O \longrightarrow H^+ + O_2 + 4e^-$$

ก่อนนำชิ้นงานมาชุบโครเมียมจะต้องมีการเตรียมชิ้นซึ่งจะต้องผ่านการขัดผิวให้เรียบและล้างทำความสะอาด โดยใช้สารเคมี น้ำมันหล่อลื่นที่ติดอยู่บนผิวของชิ้นงานจะถูกกำจัดด้วย การล้างโดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งละลายไขมันได้ดี จากนั้นจึงนำไปล้างในน้ำยาที่เป็นด่างและล้างชิ้นงานด้วยการใช้ไฟฟ้าเพื่อขจัดโลหะที่ติดอยู่ออก โดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วบวก และล้างครั้งสุดท้ายโดยใช้สารละลายที่เป็นกรด เพื่อให้ชิ้นงานมีความเป็นกลางพร้อมที่จะนำไปชุบ น้ำเสียที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งจึงมีความเป็นทั้งกรดและด่าง

บางกรณีก่อนการชุบโครเมียม อาจรองพื้นชิ้นงานด้วยการชุบทองแดงและนิเกิลก่อน ขึ้นอยู่กับความต้องการและคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้น น้ำทิ้งจากกระบวนการจึงมีทองแดง และ นิเกิล อยู่ด้วย น้ำทิ้งจากการชุบโครเมียมเกิดจากน้ำที่ใช้ล้างผิวโลหะ น้ำยาที่หกหรือล้นออกนอกอ่างชุบ น้ำทิ้งจากการทำความสะอาดโรงงานและอ่างชุบ (Morisset, 1954)

2.3.3 ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียม (+6) มีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียม (+3) และโครเมียมในรูปอื่นๆ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ฉบับที่ 12 (2525) ได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีปริมาณโครเมียม (+6)ได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอากาศมีฝุ่นของโครเมียม บริเวณที่ทำงานได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร องค์การอนามัยโลกได้กำหนดค่าโครเมียมทั่วไปไว้ว่า คนที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์สามารถรับโครเมียมเข้าในร่างกายได้ 50 – 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงกว่านี้จะมีผลกระทบต่อตับ ไต และระบบเลือด ผลกระทบที่เกิดขึ้นแบบเฉียบพลัน ทำให้เกิดการอาเจียน อุจจาระร่วง ตกเลือด และมีเลือดไหลเข้าสู่ระบบลำไส้ ทำให้เกิดการช็อคได้ ถ้าคนไข้ไม่เสียชีวิตจะมีการตายของเนื้อเยื่อบริเวณตับและไต และมีระบบเลือดที่เป็นพิษ ส่วนผู้ที่ได้รับโครเมียมปริมาณไม่มาก จะได้รับผลกระทบแบบเรื้อรัง คนอาจรับโครเมียมได้ 2 ทาง คือ จากการสัมผัสกับโครเมียมโดยตรง ซึ่งโครเมียมสามารถทำลายผิวหนัง ทำให้เกิดแผลพุพอง และอีกทางหนึ่งก็คือการหายใจเอาไอของโครเมียมเข้าไป ซึ่งจะมีผลต่อปอด ตับ ไต ระบบลำไส้ และโดยเฉพาะผนังกั้นจมูกซึ่งจะสัมผัสกับโครเมียมโดยตรง อาจทำให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนั้นไอของโครเมียมยังอาจทำให้เป็นโรคเยื่อจมูกอักเสบ โรคปอด หลอดลมอักเสบ และมะเร็งปอด อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานว่าโครเมียมทำให้เกิดมะเร็งที่เนื้อเยื่อบริเวณอื่น นอกจากนี้โครเมียมยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้ เนื่องจากโครเมียมทำปฏิกิริยากับ RNA ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (US.EPA., 1988)

2.4 งานวิจัยที่ศึกษาความทนทานและการดูดซับสารพิษและโลหะหนักของหญ้าแฝก ในดินและน้ำ

2.4.1 การศึกษาความทนทานและการดูดซับสารพิษและโลหะหนักของหญ้าแฝกในดิน

หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ดินส่วนใหญ่ในเขตร้อนจะเป็นดินกรด และกรดจัด ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช กรมพัฒนาที่ดิน(2543) พบว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์มอนโต้สามารถทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างของดินได้สูงถึง 3.3 ซึ่งสอดคล้องกับ Truong (1992) ซึ่งได้ศึกษาความทนทานต่อสภาพดินเค็มและดินกรดจัดของหญ้าแฝกในประเทศออสเตรเลีย

ผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับ Rhodes grass (*chloris guyana*) ซึ่งเป็นหญ้าอาหารสัตว์ที่ทนเค็มได้ดีที่สุดของพื้นที่กึ่งร้อนของออสเตรเลีย พบว่าหญ้าแฝกสามารถปลูกในสภาพดินด่างที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงถึง 9.5 และในสภาพดินกรดจัดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำถึง 3.3 ทั้งนี้เนื่องมาจากหญ้าแฝกมีระบบรากลึก รากจึงเจริญเติบโตพ้นระดับผิวดินซึ่งมีความเค็มและความเป็นกรดสูงได้

หญ้าแฝกยังสามารถทนความเค็มได้ดีด้วย โดย พรชัย สุธาทร (2536) ศึกษาความทนทานต่อสภาพดินเค็มของหญ้าแฝก 28 กลุ่มพันธุ์ที่พบในประเทศไทย โดยปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ดินเค็มชายทะเล จังหวัดจันทบุรี พบว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ และกลุ่มพันธุ์สงขลา 2 ทนทานต่อความเค็มได้ดีกว่ากลุ่มพันธุ์อื่นๆ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า

ในสภาพที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก หญ้าแฝกก็สามารถทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก โดย Truong และ Baker (1996, 1998) ศึกษาความทนทานต่อความเป็นพิษของโครเมียมในดินของหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์มอนโต้ โดยปลูกหญ้าแฝกในดินที่มีระดับโครเมียมที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 200 และ 600 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัมดิน พบว่า ระดับความเป็นพิษอยู่ระหว่างความเข้มข้น 200 – 600 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัมดิน ในขณะที่พืชส่วนใหญ่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 10 – 30 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัมดิน และพบว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 0, 50, 100, 200 และ 600 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัมดิน จะมีค่าลดลงโดยลำดับ มีค่าเท่ากับ 35.29, 28.71, 34.64, 25.80 และ 4.68 กรัมต่อต้น ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาการกระจายตัวของโครเมียมในส่วนยอด และรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่มีระดับโครเมียมเข้มข้น 600 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัมดิน พบโครเมียมในส่วนยอด 18 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และในส่วนราก 175 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าแฝกสามารถทนความเป็นพิษของอลูมิเนียม และแมงกานีส ได้สูงถึง 578 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (Truong, 1992)

Roongtanakiat และ Chairoj (2000) ตามที่อ้างถึงใน Wongpanga Sengsai (2001) ศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ของหญ้าแฝกดอน กลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร และ หญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์ราชบุรี และสุราษฎร์ธานี โดยใช้ระยะเวลาการปลูก 60 -120 วัน พบว่าที่เวลา 60 วัน มีน้ำหนักแห้งส่วนรากสูงกว่าน้ำหนักแห้งส่วนยอด เมื่อทำการศึกษาต่อจนถึงระยะเวลา 120 วัน พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนยอดมีค่าต่ำกว่าที่ระยะเวลา 60 วัน ส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักในรากมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะเวลา 60 วัน การที่ส่วนยอดมีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำ เป็นผลเนื่องมาจากการเจือจางโลหะหนักในเนื้อเยื่อ (dilution effect) ดังนั้น หากมีการตัดส่วนยอดของหญ้าแฝกทุก ๆ 3- 4 เดือน ส่วนยอดที่งอกขึ้นมาใหม่จะกระตุ้นการดูดซับโลหะหนักจากรากไปสู่ยอด นอกจากนี้พบว่า การดูดซับโลหะหนักของหญ้าแฝกทั้ง 3 กลุ่มพันธุ์เพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใส่ลงในดิน

ดุษลักษณ์ ฐิติวร (2543) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี และหญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ในการกำจัดสารหนูในดินที่ระดับความ เข้มข้น 0, 50, 75, 100,125 และ150 มิลลิกรัมอาร์ซินิกต่อกิโลกรัมดิน โดยทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า หญ้าแฝกทั้งสองกลุ่มพันธุ์มีการสะสมสารหนูในส่วนรากมากกว่าในส่วนใบ โดยการสะสมสารหนูในตหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารหนูในดิน การสะสมสารหนูในใบของหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการปลูกนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Roongtanakiat และ Chairoj (2000) ที่พบความเข้มข้นของโลหะหนัก ในส่วนยอดลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาการปลูกนานขึ้น หญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการสะสมสารหนูในส่วนใบสูงกว่ากลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ส่วนการสะสมของสารหนูในส่วนรากของหญ้าแฝกทั้งสองกลุ่มพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพการดูดดึงสารหนูจากดินของหญ้าแฝกทั้งสองกลุ่มพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้นเช่นกัน โดยกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์

2.4.2 การศึกษาความทนทานและการดูดซับสารพิษและโลหะหนักของหญ้าแฝกในน้ำ

หญ้าแฝกสามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากระบบรากของหญ้าแฝกมีการแผ่กระจายในดินเป็นอย่างดี และสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีการรดด้วยน้ำเสีย มานพ รุ่งสุข (2538) ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม 5 กลุ่มพันธุ์ คือ กลุ่มพันธุ์อินเดีย บราซิล ศรีลังกา อินโดนีเซีย และราชบุรี ในการบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนจังหวัดเพชรบุรี พบว่าหญ้าแฝกทุกกลุ่มพันธุ์สามารถเจริญเติบโตได้ โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์อินเดียมีน้ำหนักต้นสูงสุด ส่วนกลุ่มพันธุ์ศรีลังกามีน้ำหนักรากสูงสุด สำหรับการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนต้นพบว่ากลุ่มพันธุ์ราชบุรีมีการสะสมธาตุอาหารดังกล่าวสูงสุด ส่วนความสามารถในการดูดซับโลหะหนักพบว่า กลุ่มพันธุ์อินโดนีเซียและราชบุรีมีสะสมตะกั่วและปรอทได้สูงสุด ตามลำดับ ส่วนรากของกลุ่มพันธุ์ศรีลังกา ราชบุรี และอินโดนีเซียสะสมปรอท แคดเมียม และตะกั่วได้สูงสุด ตามลำดับ ดังนั้นผลการทดลองนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์อินเดีย บราซิล ศรีลังกา อินโดนีเซีย และราชบุรีดังกล่าวข้างต้นนี้ สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียได้

ธนียา เจติยานุกรกุล (2539) ได้ศึกษาทดลองใช้หญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธุ์ราชบุรี และหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี อินโดนีเซีย ศรีลังกา และบราซิล ในการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งชุมชนมีความเข้มข้น 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์ และจากโรงงานอุตสาหกรรมนมที่ระดับความเข้มข้น 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์ จากการศึกษาพบว่าหญ้าแฝกที่รดด้วยน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนมีการเจริญเติบโตที่ แตกต่างกัน โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ราชบุรีมีน้ำหนักต้นสูงสุด กลุ่มพันธุ์บราซิลน้ำหนักรากสูงสุด นอกจากนี้ส่วนของกลุ่มพันธุ์ บราซิลมี

ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงสุด ในส่วนรากยังพบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมสูงสุด สำหรับในชุดที่รดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกามีน้ำหนักต้นสูงสุด กลุ่มพันธุ์ สุราษฎร์ธานีมีน้ำหนักรากสูงสุด ส่วนกลุ่มพันธุ์บราซิลมีปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม และแคดเมียมสูงสุด ในส่วนรากยังพบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมสะสมสูงสุด โดยปริมาณ โลหะหนักที่วิเคราะห์ได้พบในระดับความเข้มข้น 100 เปอร์เซนต์ ซึ่งตะกั่วและแคดเมียมพบการสะสมในบริเวณรากมากกว่าต้น โดยรวมกลุ่มพันธุ์ที่มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักได้ดีที่สุด คือกลุ่มพันธุ์บราซิล รองลงมา คือ กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี

Hanping (1999) อ้างถึงใน วงศ์พงา เส็งสาย (2544) ศึกษาความทนทานค่าซีโอดี แอมโมเนีย และไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ในมณฑลกวางเจา ประเทศจีน โดยทำการปลูกพืช 12 ชนิด คือ *Vetiveria zizanioides*, *Sannerus chinensis*, *Cyperus exaltatus*, *Polygonum hydropiper*, *Polygonum lapathifolium*, *Juncellus serotinus*, *Ranunculus cantoniensis*, *Scirpus triangulates* ในระบบบึงประดิษฐ์ โดยมีค่าซีโอดี 1,040, 1,300, 1,900, 2,200 และ2,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 150, 200, 240, 290 และ390 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าพืชส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าซีโอดี ระหว่าง1,300 - 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ระหว่าง 200 - 240 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโต ได้ดีในทุกความเข้มข้นที่กำหนดให้

นอกจากนั้นยังพบว่ามีการศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก Kumaran (1994) ศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธูปฤาษีบำบัดโครเมียมและนิเกิล พบว่า สามารถบำบัดโครเมียมและนิเกิลได้สูงถึง 99 เปอร์เซนต์ และสามารถลดค่าซีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด และไนโตรเจนทั้งหมดได้ 64, 89 และ 85 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

Yin และ Shen (1995) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า -4 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราภาระบรรทุกน้ำ 3 – 4 เซนติเมตรต่อวัน พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักมีค่า 72 – 99 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งลดค่าบีโอดี 89 – 97 เปอร์เซนต์ ซีโอดี 78 – 87 เปอร์เซนต์ ของแข็งแขวนลอย 77 – 88 เปอร์เซนต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 60 – 90 เปอร์เซนต์ และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 73 – 91 เปอร์เซนต์

ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากขยะ (leachate) ซึ่งมีองค์ประกอบของโลหะหนักได้ Summerfelt, Adler, Glenn และ Kretsxhmann (1999) ศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นแบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS) และแบบไหลผ่านใต้ผิวดิน (SF) เพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอย (leachate) โดยใช้หญ้าแฝกหอมพบว่าในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว สามารถลดค่าสารแขวนลอยได้ 96 เปอร์เซนต์ และซีโอดี 72 เปอร์เซนต์ ส่วนในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านใต้ผิวดินสามารถลดค่า

สารแขวนลอยได้ 98 เปอร์เซนต์ และซีโอดีได้ 91 เปอร์เซนต์ และพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้ง 2 ประเภทสามารถลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 82 – 92 เปอร์เซ็นต์

Martin และ Johnson (1995) พบว่า ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินและมีการเติมอากาศในการบำบัดน้ำเสียจากขยะ (leachate) สามารถบำบัดไนโตรเจน สารแขวนลอย ฟอสเฟต คาร์บอนอินทรีย์ ซีโอดี เหล็ก และแมงกานีสได้ 64 – 99 เปอร์เซนต์ นอกจากนั้น Tjasa, Danijel และ Vlasta (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านใต้ผิวตัวกลาง ซึ่งปลูกกก และอ้อ โดยน้ำชะมูลฝอยที่ใช้มีความเข้มข้นของซีโอดี 1,240 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 60 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย-ไนโตรเจน 88 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็ก 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ป้อนเข้าระบบที่ภาระปริมาณน้ำ 3 เซนติเมตรต่อวัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 68 เปอร์เซนต์ บีโอดี 46 เปอร์เซนต์ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน 81 เปอร์เซนต์ และเหล็ก 80 เปอร์เซนต์

การใช้ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ ลักษณี คณานิธินันท์ (1996) ศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 4 ชนิด คือ กกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียม พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม มีค่า 98.21, 95.96, 95.90 และ 94.87 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ รวมทั้งพบว่าการสะสมโครเมียมในพืชทั้งสี่ชนิดใกล้เคียงกัน และมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 29.156 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง พบว่าแห้วทรงกระเทียมสะสมโครเมียมได้สูงสุด คือ 397.150 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ณ สิ้นสุดการทดลอง

2.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม

การสะสมของสารพิษในสิ่งมีชีวิตสามารถคำนวณได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมวิธีหนึ่งคือการเปรียบเทียบปริมาณของสารพิษในสิ่งมีชีวิตกับตัวกลางที่มีสารพิษดังกล่าวปนเปื้อนอยู่ (Lowell and Jerry, 1982) โดยการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพืชในช่วงระยะแรกได้กำหนดแหล่งที่มาพื้นฐานของโลหะหนักว่ามาจากดิน ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างปริมาณโลหะหนักที่พบในพืชต่อปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน (concentration factor: CF) จึงใช้เพื่อการคำนวณการสะสมของ โลหะหนักในพืช ดังแสดงในสมการ

$$\text{การสะสมโลหะหนักในพืช (CF)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักในพืช}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน}}$$

อัตราส่วนดังกล่าวจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช และชนิดของโลหะหนัก จากการศึกษาค่า CF ในพืชหลายชนิดของ Harrison and Chirgawi (1989) พบว่า ค่า CF ของ โลหะหนัก 5 ชนิด สามารถจัดอันดับได้ดังนี้ Zn > Cd > Ni > Cr > Pb

นอกจากนี้ สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งคำนึงถึงความเข้มข้นของสาร ต่อหน่วยเวลา สำหรับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของสิ่งทดลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวได้แก่ สมการลำดับหนึ่ง (first-order equation) (Chapra, 1997) ซึ่งเป็นแบบจำลอง ที่กล่าวถึงความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาที่เปลี่ยนไป จากสูตร $C_t = C_0 e^{(-kt)}$ (Chapra, 1997; Newman, 1995)