หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาน้ำเสีย หรือมลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมจัดเป็นปัญหาสำคัญที่ประเทศไทยกำลังประสบ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการระบายน้ำทิ้งของโรงงานลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยมิได้ผ่านกรรมวิธีบำบัดให้สะอาดเสียก่อนจึงก่อให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของน้ำในแม่น้ำลำคลองมากยิ่งขึ้น

สารมลพิษที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ เกลืออนินทรีย์ โลหะหนัก และอื่น ๆ ซึ่งเมื่อลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติมักจะก่อให้เกิดผลเสียหายต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณมากก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ แต่ถ้ามีปริมาณน้อยมักจะก่อพิษเรื้อรังหรือพิษสะสมในสิ่งแวดล้อม เช่น สะสมในสัตว์น้ำโดยเฉพาะสัตว์ประเภทหอย และปู สะสมในพืชโดยเฉพาะพืชกินใบหรือลำต้นที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้น เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์และพืชเป็นอาหารก็อาจเกิดอันตรายต่อร่างกายเนื่องจากมีการสะสมของสารมลพิษในห่วงโซ่อาหาร

โรงงานที่ปล่อยสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจำนวนมากในปัจจุบันได้แก่ โรงงานประเภทชุบโลหะซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดเล็กและมักจะไม่มีการบำบัดน้ำเสียหรือกำจัดโลหะหนักก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จึงทำให้มีสารมลพิษปนเปื้อนจำนวนมาก ซึ่งโรงงานชุบโลหะมีหลายประเภทแต่ที่สนใจกันมากคือ โรงงานชุบโลหะประเภทสังกะสีและทองเหลือง เนื่องจากโรงงานเหล่านี้มีอยู่จำนวนมากและส่วนใหญ่ตั้งอยู่ริมแม่น้ำลำคลองมักจะปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลองโดยมิได้ผ่านกรรมวิธีบำบัดให้สะอาดเสียก่อน ซึ่งโลหะหนักที่ปล่อยออกมามีหลายชนิด เช่น แคดเมียม, ทองแดง ตะกั่ว, สังกะสี ฯลฯ ซึ่งพบว่าโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น ๆ

จากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2525 ได้กำหนดค่ามาตรฐานของโลหะหนักต่าง ๆ กล่าวคือ

แคดเมียม	ไม่มากกว่า	0.03	มิลลิกรัม/ลิตร
ทองแดง	ไม่มากกว่า	1	มิลลิกรัม/ลิตร

ตะกั่ว	ไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัม/ลิตร
สังกะสี	ไม่มากกว่า	5	มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงสนใจโลหะหนักประเภทแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว

จากการศึกษาถึงโทษของโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงต่อสิ่งมีชีวิต พบว่า ตะกั่วเป็นธาตุ ที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายทั้งพืชและสัตว์ แต่กลับจะเป็นพิษอย่างรุนแรงต่อเซลของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งมนุษย์ด้วย เมื่อตะกั่วสะสมในแหล่งน้ำและมนุษย์ได้รับเข้าไปโดยทางตรง หรือทางอ้อมก็ตามอาจจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย และถึงขั้นเสียชีวิตในบางราย มีการวิจัยพบว่า ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปปริมาณมากในทันทีทันใดโดยระดับตะกั่วในเลือดมีมากกว่า 0.8 ส่วนในล้านส่วนจะเกิดพิษอย่างเฉียบพลัน เช่น ปวดท้องอย่างรุนแรง ความจำเสื่อม ตื่นเต้นง่าย และเป็นอันตรายต่อไต ฯลฯ แคดเมียมเมื่อสะสมในร่างกายในปริมาณสูงจะทำให้คนหรือสัตว์เป็นหมัน นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ก่อความเสียหายต่อตับและไต กลไกของการเป็นพิษที่แท้จริงของแคดเมียมในปัจจุบันยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนัก (พิมล เรียนวัฒนาและ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525)

สำหรับทองแดงถ้าเข้าระบบทางเดินอาหารในปริมาณมากพอจะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียนอาเจียน ปวดกระเพาะ เลือดออกในกระเพาะ และท้องร่วงได้ ถ้าร่างกายได้รับสารประกอบนี้ในปริมาณมาก ๆ ก็อาจทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เนื่องจากร่างกายสามารถควบคุมปริมาณทองแดง โดยเมือกในลำไส้ได้ และยังสามารถกำจัดทองแดงออกได้ที่ตับโดยน้ำดี จึงทำให้ไม่เกิดการสะสมของทองแดงในร่างกายจนเป็นเหตุให้เกิดโรคเรื้อรัง ดังเช่นเดียวกับโลหะหนักอื่น ๆ ความต้องการของร่างกายมีปริมาณจำกัดค่อนข้างต่ำประมาณ 2 - 25 มิลลิกรัม/วัน สำหรับสร้าง hemoglobin และการทำงานของ enzyme บางชนิด เช่น Catalase, Peroxidase และ Cytochrome C Oxidases (เพริศพรรณ คณาธารณา และนันทนา สันตติวุฒิ, 2523)

การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี เช่น chemical precipitation, electrode position, solvent extraction, Ultrafiltration, ion exchange และ activated carbon adsorption ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถกำจัดโลหะหนักได้ผลดี แต่ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณการลงทุนตลอดจนใช้เทคโนโลยีและความชำนาญค่อนข้างสูงในกระบวนการกำจัดรวมทั้งต้องมีการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพดังเช่นในประเทศที่พัฒนาแล้ว สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนามักจะประสบปัญหาในการลงทุน และขาดแคลนเครื่องมืออุปกรณ์ที่ทันสมัย ราคาแพง จึงควรจะมีการศึกษารูปแบบวิธีการที่เหมาะสม ใช้เงินลงทุนไม่มากนักในการดำเนินการกำจัดโลหะหนักดังกล่าว

จากการศึกษาวิจัยพบว่า การกำจัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological methods) จะประหยัดในแง่เศรษฐกิจมากกว่าวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์ (physical-chemical methods) และพืชน้ำ (Vascular aquatic plant) มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักและสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารของมันได้ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) เป็นพืชลอยน้ำที่มีอัตราการดูดซับโลหะหนักได้ค่อนข้างสูงมาก (Wolverton etal, 1975)

ในต่างประเทศมีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักโดยผักตบชวากันมาก สำหรับในประเทศไทยการศึกษาเรื่องนี้ยังค่อนข้างน้อย หากจะนำผลจากการทดลองในต่างประเทศมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักโดยผักตบชวา เพื่อใช้งานสำหรับประเทศไทยก็ยังไม่แน่ชัดว่าจะเหมาะสมเนื่องจากสถาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการศึกษาวิจัยเรื่องนี้ในประเทศไทย

1. การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms)

หวีสักดิ์ ศักดินิมิต (2519) ได้รายงานการวิจัยว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่สามารถขึ้นในน้ำนิ่งหรือน้ำไหลถ่ายเทกลับไปกลับมาอย่างช้า ๆ ได้ ผักตบชวามีทั้งลักษณะที่ลอยตัวอยู่ตลอดเวลาและที่หยั่งรากเป็นฝอยลงไปในโคลน รูปร่างโดยทั่วไปมีลำต้นเป็นเหว้าเล็ก ๆ ไม่มีเนื้อไม่แข็ง ซึ่งเมื่อเจริญเติบโตแล้วจะมีไหล (Stolon) ยอกออกมาหลายทางไปเกิดเป็นหน่อใหม่เหมือนต้นแม่ พร้อมที่จะแยกตัวออกไปเจริญเติบโตเป็นอิสระได้ทันที รากของผักตบชวางอกจากเหง้าเป็นรากฝอยมีจำนวนมากและมีขนาดสั้นยาวแตกต่างกันขึ้นแล้วแต่ระดับของน้ำที่ผักตบชวาขึ้นอยู่ ความยาวของรกอยู่ระหว่าง 10 - 25 เซนติเมตร แต่ละต้นจะมีใบประมาณ 5 - 10 ใบ งอกออกเรียงซ้อนกันเป็นวงรอบเหง้า ดอกจะมีสีม่วงอ่อนอมน้ำเงินมีกลีบดอก 5 - 6 กลีบ ดอกจะบานวันเดียวแล้วโรยกลายเป็นผลซึ่งมีร้อยกันนั้นช่อดอกจะอ่อนโค้งงอลง แต่จะไม่หลุดจนกระทั่งผลแก่ ถ้าผลไม่มีช่อดอกก็จะเน่าไปในที่สุด เมล็ดของผักตบชวาเล็กมากมีขนาดความยาว 1.3 - 1.6 มิลลิเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.6 มิลลิเมตร ทั่วทั้งต้นของผักตบชวาจะมีสีเขียวของคลอโรฟิลเป็นจำนวนมาก ซึ่งแสดงว่าผักตบชวามีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงมาก และถ้าจะเปรียบเทียบผักตบชวากับพืชน้ำชนิดอื่น ๆ แล้วจะพบว่า ในพื้นที่เท่ากันอัตราการสังเคราะห์แสดงของผักตบชวาจะสูงกว่าพืชน้ำชนิดอื่น

Joseph (1976) ได้แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาโดยคิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนักแห้งดังนี้

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง
C	32.0-34.5
H	5.4-5.8
N	2.72-3.52
K	2.0-3.5
P	0.7-1.0
Na	1.5-2.5
S	0.3-0.42
Ca	0.6-1.25
Mg	0.2-0.3
Mn	0.005-0.008
Fe	0.025-0.050
Zn	0.005-0.05

1.2 กำลังผลิต (Productivity) ของผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms)

Penfound (1956) รายงานว่า กำลังผลิตของผักตบชวาใน Louisiana มีปริมาณ 12.7-14.6 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อตารางเมตรต่อวัน

Weslake (1963) คำนวณข้อมูลของ Penfound และ Earl (1948) เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของผักตบชวาใน Louisiana พบว่าในฤดูที่ผักตบชวามีกำลังผลิต (Productivity) สูงสุดจะมีกำลังผลิตเท่ากับ 7.4-22.0 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อตารางเมตรต่อวัน และมีความหนาแน่นเท่ากับ 29 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อตาราเมตร หรือ 15.1 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อตารางเมตร

จากการทดลองของ Boyd (1970) พบว่า ผักตบชวามีกำลังผลิตสูงสุดเป็น 14.6 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อวันต่อตารางเมตร

Miner etal. (1970) กล่าวว่า การเจริญแพร่พันธุ์ของผักตบชวาโดยจะงอกงามมีใบสีเขียวสดใส และมีดอกสีสรรสะดุดตาสีม่วง วงเหลืองในใจกลางดอก ผักตบชวาเจริญแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม ผักตบชวาเพียง 2 ต้นสามารถแตกหน่อได้ 30 หน่อในเวลา 23 วัน และเพิ่มเป็น 1200 หน่อ ภายในเวลา 4 เดือน

จากการศึกษาวิจัยของทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิต (2519) พบว่า ผักตบชวามีความสามารถในการดูดพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้ในการสร้าง Organic matter จาก inorganic matter โดยกระบวนการสังเคราะห์ได้ดีมาก และพบว่าผักตบชวาสามารถสร้าง Organic matter ได้สูงสุดถึง 19.9 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งผักตบชวามีกำลังการผลิตสูงมาก ผักตบชวาจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตจากต้นเล็ก ๆ จนโตเต็มที่ประมาณ 105 วัน และจากต้นเล็ก ๆ 1 ต้นในเวลา 42 วันจะเจริญเพิ่มจำนวนต้นได้ถึง 76.8 ต้นโดยเฉลี่ย

1.3 บทบาทของตะกั่ว แคดเมี่ยม และทองแดงในพืช

1.3.1 ตะกั่ว (Pb)

Puckett etal. (1973) รายงานว่าในบรรดาโลหะหนักด้วยกันเมื่อเรียงตามความสามารถในการดูดซับโดยจากพืชจากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ เหล็ก> ตะกั่ว > ทองแดง > นิเกิล, สังกะสี > โคบอลต์ ซึ่งจะเห็นว่าตะกั่วมีแนวโน้มจะถูกดูดซับโดยรากพืชได้มากรองจากเหล็กเท่านั้น

โดยทั่วไปตะกั่วมีหลายรูปซึ่งสารประกอบของตะกั่วบางรูปละลายน้ำได้บางรูปไม่ละลายน้ำ จากการทดลองปรากฏว่ารากพืชสามารถดูดตะกั่วได้ทั้ง 2 รูป และรูปของตะกั่วไม่ใช่องค์ประกอบเดียวสำหรับพิจารณาเลือกพืชว่าจะใช้ดูดซับโลหะหนักได้หรือไม่ได้ แต่มีหลักฐานยืนยันว่าตะกั่วในรูปคาร์บอเนตซึ่งไม่ละลายน้ำ อาจจถูกจำกัดการเคลื่อนย้ายจากรากพืชไปยังส่วนของพืชและพบว่าในดินจะมีตะกั่วในรูปที่ละลายน้ำอยู่น้อยมาก (John& Laerhoven, 1972)

Johnes, Clement และ Hooper (1973) พบว่า หญ้าที่ปลูกในสารละลายของธาตุอาหารที่มีตะกั่วเจือปนมีตะกั่วในต้นเพียง 0.2-58.4 pp.m.ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ตะกั่วในรากมีถึง 5.5-5,310 ppm.ของน้ำหนักแห้ง

นอกจากนี้ปริมาณการดูดซับตะกั่วของรากพืชยังขึ้นกับชนิดของสารตะกั่วและอัตราการดูดซับตะกั่วของรากพืชยังจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชอีกด้วย (John & Laerhoven, 1972 : Bazzaz et al., 1974)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับขึ้นสู่ลำต้นพบว่า ส่วนใหญ่จะเกาะติดกับผนังเซลและจะไปกระจายในไซโต ปลาสซึม ตะกั่วบางส่วนสามารถแทรกผ่านผนังของคลอโรพลาสต์เข้าไปจับอยู่บนกรานาของคลอโรพลาสต์ได้ (Sharpe & Denny, 1976)

Simola (1977) รายงานว่า ตะกั่วจะเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชโดยทางรากด้วยความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายของธาตุอาหารภายนอกรากเสมอ จากการทดลองปลูกพืชใน Sand culture พบว่า พืชอาจสะสมตะกั่วเอาไว้ได้สูงถึง 2,000 ppm. ของน้ำหนักแห้ง โดยไม่มีอาการผิดปกติเลย (Baumherdt & Weleh, 1972)

Rosen et al. (1977) คาดว่า ตะกั่วมีผลต่อการดูดซับและลำเลียงธาตุเหล็กของพืชอันจะมีผลรบกวนต่อการสร้างคลอโรฟิลของพืช

Bazzaz, Rolfe & Windle (1974) พบว่า ตะกั่วเป็นตัวการที่ทำให้การสังเคราะห์แสงและการคายน้ำของข้าวโพดและถั่วเหลืองลดลงอย่างมาก ความรุนแรงของผลที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายของธาตุอาหาร

1.3.2 แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นโลหะที่เคลื่อนที่ได้ดีในพืช เมื่อเทียบกับทองแดง, โครเมียม, ตะกั่ว และนิเกิล (Pilegard, 1978) จึงถูกลำเลียงจากส่วนรากไปยังส่วนต้นและใบอย่างสม่ำเสมอ ขบวนการลำเลียงแคดเมียมในพืชยังไม่ทราบรายละเอียดแน่นอน แต่คาดว่าอาจไปตาม Symplastic pathway (Cutler & Rains, 1974) หรือโดย Transpiration Stream (Raddy & Patrick, 1977)

ส่วนใหญ่แล้วพืชดูดซับและสะสมแคดเมียมโดยวิธี exchange adsorption (Cutler & Rain, 1974; Jarvis et al.1976) วิธี diffusion (Cutler & Rain, 1974) และวิธี active absorption (Ito & Iimura, 1976)

Page et al. (1972), John (1973), Bingham et al. (1975), John & Van Laerhoven (1976) รายงานผลจากการทดลองตรงกันว่า พืชต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการสะสมแคดเมียมและทนทานต่อแคดเมียมได้ต่างกัน และ Jarvis & John (1978) รายงานว่าพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้า เนื่องจากสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม และมีสารอาหารจำกัดจะสะสมแคดเมียมได้มากกว่าพวกที่มีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง

ความเป็นพิษของแคดเมียมต่อพืช เกิดจากการที่แคดเมียมไปมีผลต่อเมตาบอลิสมของพืช (Miller et al., 1973)

แคดเมียมยังมีผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการคายน้ำของพืชด้วย ซึ่งคาดว่าแคดเมียมไปทำให้ปากใบปิด (Bazzaz et al, 1974) และ Lamoreause & Chaney (1978) เสนอว่า แคดเมียมยับยั้งการสังเคราะห์แสงของพืช โดยทำให้ใบมีการต้านทานต่อการแพร่กระจาย (diffusive resistance) หรือการเคลื่อนย้ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้แคดเมียมยังมีผลต่อการลดปริมาณคลอโรฟิล, คาโรตินอยด์ และทำให้โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ เช่น การจัดเรียงตัวของลาเมลลา (Lamella) และ กรานา (Grana) ผิดปกติ (Baszynki, 1980) และ Iwai, et al. (1975) ยังลาดว่า แคดเมียมทำให้พืชได้รับธาตุบางอย่างน้อยลงด้วย เช่น เหล็ก, มังกานีส, สังกะสี. แคดเมียม, ไนโตรเจน และทองแดง

John et al. (1972), Haghiri (1973) & Bazzaz etal. (1974 รายงานว่าอาการผิดปกติ เนื่องจากแคดเมียมที่สังเกตได้ชัดเจนคือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง พืชบางชนิดมีใบบางลง ปลายใบม้วน ลำต้นเล็กแกร็น อัตราการเจริญของรากลดลง

1.3.3 ทองแดง (Cu)

ทองแดงจะมีผลต่อระบบรากของพืชเป็นอันดับแรกโดยถ้ามีปริมาณมากเกินความต้องการมันจะขัดขวางต่อการเจริญเติบโตและงอกรากใหม่ของพืช หลังจากนั้นจะทำให้ใบเกิด Chlorosis ซึ่งจะเป็นสัญญานโดยตรงต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก (Tatsuyama et al., 1979)รบกวนการทำงานของ Metabolism (Sutton & Blackburn, (1971), Giddings & Eddlemon, (1978), Filbin & Hough (1979), Jana & Choudhury (1981)) และทำการขัดขวางต่อการดูดสารอาหารขึ้นมาใช้ (Setton & Blackburn (1971), Dabin et al. (1978), Lee et al. (1981))

1.4 <u>ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักที่ผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.) สามารถเจริญเติบโตได้</u>

Kay, Halier และ Garrard (1983) รายงานว่า แม้ตะกั่วจะมีความเข้มข้นมากกว่า 5 ppm.ก็ไม่ปรากฏผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา แต่แคดเมียมจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวาเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 0.5 ppm. และทองแดงมีความเข้มข้นมากกว่า 1.0-2.0 ppm. ในระยะเวลาการทดลอง 3 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่า แคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.5-1.0 ppm. จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของผักตบชวาลดลงมากกว่า 60%

ภายหลัง 3 สัปดาห์ และแคดเมียมหรือทองแดงที่มีความเข้มข้น 5.0 ppm.จะทำให้ผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตลดลงมากกว่า 80% ภายหลัง 3 สัปดาห์ และ 90% ภายหลัง 6 สัปดาห์

ความเป็นพิษของตะกั่วที่มีต่อผักตบชวาเมื่อดูจากภายนอกจะสังเกตค่อนข้างยาก แต่สัญญาณที่แสดงความเป็นพิษที่อาจจะสังเกตได้คือ การที่ผักตบชวาดูดซับตะกั่วได้น้อยลง (Reininger (1977); Dabin et al. (1978), Peter et al (1979); Tatsuyama et al. (1979) & Wals et al. (1978))

Suttipong (1980) ได้ศึกษาหาประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง, โครเมียม และนิเกิล โดยใช้ผักตบชวาทดลองในอ่างขนาด 5 ลิตร เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายที่มีโครเมียม 40 ppm. แต่เพียง 3 ppm. สำหรับทองแดง และนิเกิล ซึ่งถ้าหากใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่านี้ผักตบชวาไม่สามารถเจริญเติบโตได้

นอกจากนี้เขาได้นำโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดนี้คือ โครเมียม, ทองแดง และนิเกิล ซึ่งมีความเข้มข้น 40 ppm.,3 ppm. และ 3 ppm. ตามลำดับมารวมกันและทดลองเลี้ยงผักตบชวาในความเข้มข้นดังกล่าว ปรากฏว่าผักตบชวาตายภายใน 1 สัปดาห์ แต่ถ้าหากทดลองโดยใช้โครเมียม 20 ppm., ทองแดง 1.5 ppm. และนิเกิล 1.5 ppm. ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ดี ตลอดการทดลอง 3 สัปดาห์

Suttipong ยังได้รายงานต่อไปว่า การกำจัดโลหะหนักจากส่วนผสมของโลหะหนักทั้งสามชนิด (Combined-three-heavy metal mixtures) ผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยกว่าการกำจัดโลหะหนักจากส่วนผสมของโลหะหนักเพียง 2 ชนิด (Combined-two-heavy metal mixtures) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าส่วนผสมของโลหะหนักทั้งสามชนิดก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผักตบชวามากกว่า

1.5 ประสิทธิภาพของผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) ในการกำจัดโลหะหนัก

Wolverton, Barlow และ MeDonald.(1975) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักโดยทำการศึกษาทั้งในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Experiment) และในภาคสนาม (Field potential) ในห้องปฏิบัติการได้นำผักตบชวามาเลี้ยงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร และเติมโลหะหนักลงไปใช้เวลาทดลองเลี้ยง 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาตรวจหาประสิทธิภาพการดูดซับ ส่วนในภาคสนามได้ออกแบบบ่อเป็นแบบ Zig-Zag canal-type lagoon ขนาด 0.4 Hectare หรือ 1 acre เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมง นำมาตรวจหาประสิทธิภาพการดูดซับ ดังผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย (Wolverton, 1975)

Chemical and Metal Pollutants	Laboratory Experiments		Field Potential
	initial concentration (ppm.)	mg absorbed per gram dry weight Per day	Quantity-Removed, Absorbed or Metabolized
Cadmium*	1.905	0.670	0.161 kg**
Lead*	0.529	0.176	0.042 kg**
Mercury*	0.875	0.150	0.036 kg**
Nickel*	1.970	0.500	0.120 kg**
Silver*	1.946	0.650	0.156 kg**
Cobalt*	1.905	0.570	0.137 kg**
Strontium*	1.982	0.540	0.130 kg

* Ionized form

** Based on removal of mature plants every 24 hours.

Tridech (1980) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักโดยใช้ผักตบชวา ซึ่งใช้วิธี Bach study โดยการออกแบบถังสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 45.7 เซนติเมตร × 71.1 เซนติเมตร × 30.5 เซนติเมตร ภายในถังทดลองมี Buffle กั้นเป็นช่วง ๆ และมีปั๊มให้น้ำไหลวนเวียนภายในถังตลอดเวลา ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 28 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ดังผลแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ประสิทธิภาพในการดูดซับสารปนเปื้อนโดยผักตบชวาในอ่างทดลอง (เวลา 28 วัน) (Tridech, 1980)

Contaminants in Waste water	Relative uptake efficiency		
	O Day (ppm.)	% Removal	Concentration of contaminants in Water at completion of Experiment (ppm.)
Arsenic	1.176	12.50	1.03
Boron	4.912	12.46	4.30
Cadmium	1.375	68.60	0.43
Mercury	0.764	70.16	0.23
Selenium	1.440	8.19	1.32
Penol Method of determination is not sufficiently sensitive	0.537	100.00	0.00
Polychlorinated biphenyls (PCB)	0.007	100.00	0.00
Total nitrogen (TKN, NO_3-N and NO_2-N)	18.3	50.82	9.0
phosphate	5.6	13.30	4.93

นอกจากนี้ Tridech ยังได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของพืชน้ำต่าง ๆ อีกมากมายหลายชนิด และสรุปได้ว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดโลหะหนัก เมื่อเทียบกับพืชประเภทลอยน้ำด้วยกัน

Suttipong (1980) รายงานว่าประสิทธิภาพของผักตบชวาในการดูดซับโลหะหนักจะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลา (Detention time) เพิ่มมากขึ้น และน้ำหนักของผักตบชวาจะมีผลต่อการลดลงของโลหะหนักในน้ำทิ้ง กล่าวคือ ผักตบชวาที่มีน้ำหนักมากจะสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งได้มากกว่า ผักตบชวาที่มีน้ำหนักน้อยกว่าเมื่อระยะเวลาเท่ากัน แต่ผักตบชวาที่มีน้ำหนักน้อยกว่าจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับและสะสมโลหะหนักได้มากกว่า และ Suttipong ได้สรุปประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักและดูดซับโลหะหนักของผักตบชวาดังผลแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดและดูดซับโลหะหนักโดยผักตบชวาในสารละลาย' โลหะหนักชนิดเดียว (Suttipong, 1980)

Size of plants Removal or Absorbtion	small* size	Medium* size	Large* size
1. Removal Efficiency (%)			
a. Cr	46.25	59.30	71.25
b. Cu	86.51	93.97	99.65
c. Ni	81.23	93.37	94.65
2. Absorption Ability (mg of Metal Absorption per g. dry plant Meterial)			
a. Cr	3.36	2.93	2.78
b. Cu	0.46	0.36	0.23
c. Ni	0.43	0.36	0.24

* Small plants were 50-100 g in wet weight.
Mediam plants were 100-150 g in wet weight.
Large plants were > 150 g in wet weight

1.6 การนำผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) หลังจากกำจัดโลหะหนักมาใช้ประโยชน์

Wolverton, et al. (1976) รายงานว่า ผักตบชวาภายหลังจากกำจัดโลหะหนักไม่ควรนำมาทำปุ๋ยสำหรับพืชที่ใช้เป็นอาหาร แต่มันสามารถจะถูกใช้ได้อย่างปลอดภัยในการทำ Biogas

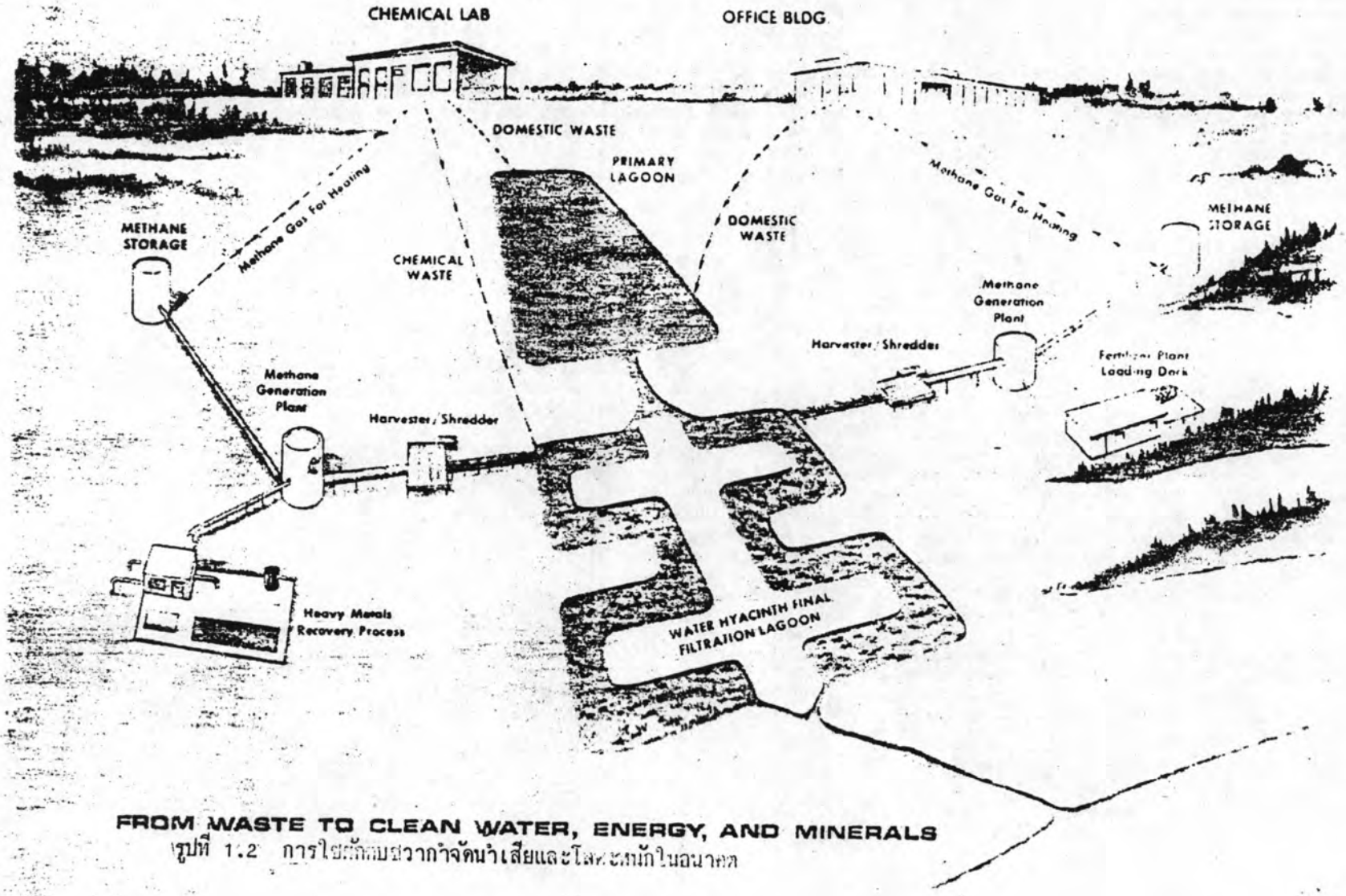
Wolverton et al. ได้ทำการทดลองโดยใช้ผักตบชวาที่ปราศจากโลหะหนักทำ Biogas พบว่าถ้าให้ C/N ratio เท่ากับ 30 :1 จะให้ค่า Biogas สูงที่สุด และพบว่าถ้าทำ Biogas โดยใช้ผักตบชวาจะให้ gas Methane เฉลี่ย 13.9 มิลลิกรัมของก๊าซต่อกรัมน้ำหนักเปียกของพืช

นอกจากนี้เขาได้เสนอแนะแนวทางในการที่จะนำผักตบชวาหลังจากกำจัดโลหะหนักแล้วมาใช้ประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และเขาได้เสนอวิธีการออกแบบระบบกำจัดน้ำเสียโดยใช้ผักตบชวา ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งผักตบชวาหลังจากเก็บเกี่ยวขึ้นจากระบบกำจัดโลหะหนักหรือจากตะกอน (sludge) ที่ได้จากการทำ Biogas ควรจะถูกใส่ลงในหลุมพิเศษที่ออกแบบโดยไม่ให้น้ำซึมเข้าไปได้ ดังเช่น หลุมที่ออกแบบที่ N STL Zig-Zag Lagoon โลหะหนักจากผักตบชวาหรือจากตะกอนจะถูกใส่ลงไปในหลุมจนเพียงพอที่จะนำมาสกัดหรือ recycle นำโลหะหนักมาใช้ใหม่ได้ (Wolverton, et al., 1976)

POLLUTION REMOVAL APPLICATIONS	HARVESTED PLANTS-PROCESSING ALTERNATIVES	PRODUCTS
REMOVAL OF HEAVY METALS FROM CHEMICAL AND INDUSTRIAL WASTE WATERS	ANAEROBIC FERMENTATION	METHANE GAS
	RESIDUAL SLUDGE → METAL EXTRACTION PROCESSES	SILVER, GOLD, CADMIUM, MERCURY, LEAD, ETC. BASE METALS
REMOVAL OF NITRATES AND PHOSPHATES FROM DOMESTIC SEWAGE	ANAEROBIC FERMENTATION	METHANE GAS
	RESIDUAL SLUDGE → DRYED - UTILIZING METHANE GAS OR SOLAR ENERGY AS SOURCE OF THERMAL ENERGY	AGRICULTURAL FERTILIZER (BAGGED OR BULK)
	AND/OR	
	CHOPPED AND DRYED PLANT MATERIAL → ANIMAL FEED PROCESSING	ADDITIVE FOR CATTLE, SWINE AND POULTRY FEEDS
	CHOPPED AND DRYED PLANT MATERIAL → POTABLE - FOOD PROCESSING	PROTEIN SUPPLEMENT FLOUR OR MEAL CEREAL INGREDIENT
	AND/OR	
	COMPOSTED	YARD AND GARDEN MULCH (BAGGED OR BULK)

รูปที่ 1.1 ทางเลือกสำหรับการนำเอาพืชน้ำ (Vascular aquatic plants) มาใช้ประโยชน์ (Wolverton et al., 1976)

012422



FROM WASTE TO CLEAN WATER, ENERGY, AND MINERALS

รูปที่ 1.2 การใช้ผักตบชวากำจัดน้ำเสียและโลหะหนักในอนาคต