หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสีย

น้ำเสีย [Wastewater เสริมพล รัตสุข และ ชัยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524) ใช้คำว่า "น้ำทิ้ง"] หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การชำระล้างร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร ฯลฯ ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ถ่ายเทเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งจึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524)

2.1.1 ความหมายของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและจากที่พักอาศัย

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน [Domestic wastewater, เสริมพล รัตสุข และ ชัยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524) ใช้คำว่า "Sewage"] ได้แก่ น้ำทิ้งจากที่พักอาศัย อาคารร้าน ตลาด โรงมหรสพ โรงแรม ฯลฯ เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การชำระร่างกาย การซักเสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่าย ฯลฯ สิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก อุจจาระ ปัสสาวะ ฯลฯ (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524)

2.1.2 ปริมาณน้ำเสียจากที่พักอาศัย ปริมาณที่น้ำเสียย่อมแตกต่างกันออกไปตามประเภทต่าง ๆ ของอาคารและตามลักษณะของระบบประปา คนที่อาศัยในบ้านพักแบบทันสมัยที่มีมาตรฐานการครองชีพสูงจะใช้น้ำมากกว่าบ้านพักแบบเก่าที่มีมาตรฐานการครองชีพต่ำ ปริมาณน้ำเสียที่น่าเชื่อถือได้มากที่สุดอาจคำนวณได้จากข้อมูลการใช้น้ำประมาณร้อยละ 70-90 ของน้ำประปาที่ใช้จะกลายเป็นน้ำเสีย (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524)

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2530) ได้รายงานถึงการศึกษาปริมาณน้ำเสียต่อคนของอาคารที่อยู่อาศัยของอาคารการเคหะแห่งชาติ 5 ชุมชน ตั้งกระจายอยู่

ในพื้นที่ต่าง ๆ ของกรุงเทพฯ สรุปได้ว่าอาคารที่อยู่อาศัยชานเมืองซึ่งไม่มีการประกอบกิจการค้าขายใด ๆ ได้แก่ การเคหะบางบัว และการเคหะบางนา มีปริมาณน้ำเสียต่ำสุดประมาณ 110 ลิตร/คน/วัน อาคารที่อยู่อาศัยใจกลางเมืองไม่มีการประกอบกิจการค้าใดๆ ได้แก่ การเคหะบ่อนไก่และการเคหะห้วยขวาง มีปริมาณน้ำเสียประมาณ 160 ลิตร/คน/วัน ส่วนอาคารอยู่อาศัยใจกลางเมืองที่มีร้านค้าขายและบริการอยู่ภายในอาคารด้วยคือการเคหะดินแดง จะมีปริมาณน้ำเสียต่อคนสูงสุดประมาณ 200 ลิตร/คน/วัน

2.1.3 คุณลักษณะของน้ำเสียจากที่พักอาศัย โดยทั่วไปจะมี pH ค่อนข้างจะเป็นกลาง สิ่งสกปรกในน้ำมีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์เป็นของแข็งและสารละลาย นอกจากนี้ยังอาจมีเชื้อโรคและพยาธิปนอยู่ด้วย แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญที่สุดได้แก่สารอินทรีย์ ซึ่งแบคทีเรียย่อยสลายได้ นิยมวัดรวมกันเป็นค่า Biochemical Oxygen Demand หรือ บี.โอ.ดี. (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524) สำหรับประเทศไทย คุณลักษณะของน้ำเสียจากที่พักอาศัยซึ่งศึกษาจากน้ำเสียของชุมชนที่อยู่อาศัยของการเคหะแห่งชาติ 5 ชุมชน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของน้ำเสียจากชุมชนที่อยู่อาศัยการเคหะแห่งชาติในกรุงเทพฯ 5 ชุมชน (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ 25307)

คุณลักษณะ	Average	50% Prob (Z=0)	15.8% Prob (Z=1)	84.13% Prob (Z=1)	Correlation Coefficient (R)
BOD	134	131	101	169	0.957678
COD	246	240	182	317	0.965862
TS	557	554	419	731	0.965690
TVS	214	207	149	288	0.981818
TSS	120	119	100	141	0.975681
TKN	32.52	32.27	27.21	38.27	0.993015
Org-N	10.72	10.44	7.78	14.01	0.973744
NH_3-N	21.79	21.58	17.85	26.09	0.982439

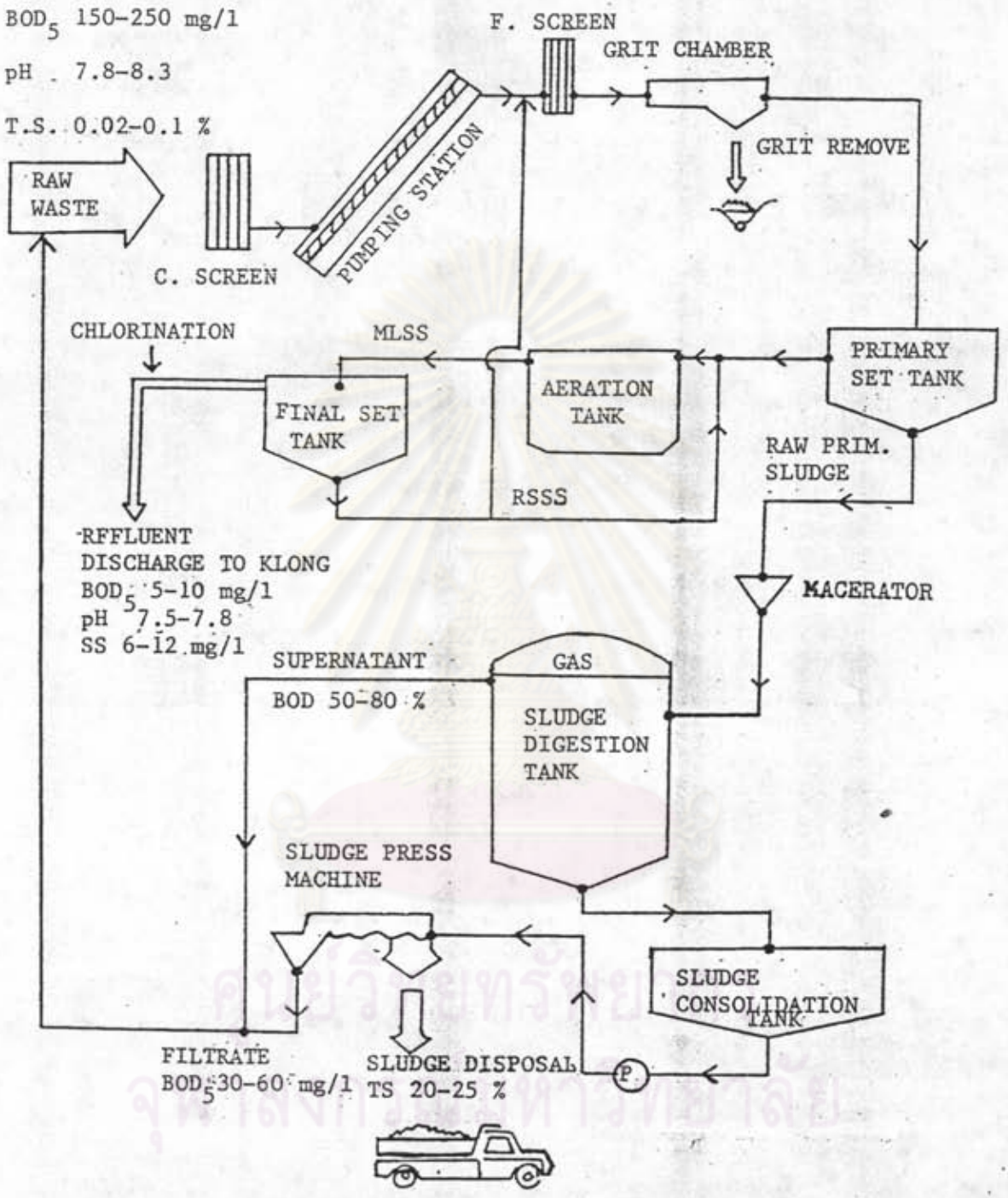
เมื่อพิจารณาในรูปของ บี. โอ. ดี. ต่อคนต่อวัน สำหรับชุมชนทั้ง 5 แห่งมีค่าใกล้เคียงกัน คือการเคหะดินแดงประมาณ 20-24 กรัมต่อคนต่อวัน ในขณะที่ชุมชนอื่นที่อยู่กลางเมือง คือ การเคหะบ่อนไก่และการเคหะห้วยขวาง และชุมชนบ้านกึ่งเมืองได้แก่การเคหะบางบัวและการเคหะบางนามีปริมาณ บี. โอ. ดี. ต่อคนต่อวันไม่แตกต่างกัน คือประมาณ 18-20 กรัมต่อคนต่อวัน แสดงว่ามีอัตราการปล่อยมลสารที่ใกล้เคียงกันแม้ว่าจะมีปริมาณการใช้น้ำที่แตกต่างกันก็ตาม (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2530)

2.1.4 การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยของเคหะชุมชนห้วยขวาง

2.1.4.1 รูปแบบระบบบำบัดและข้อมูลพื้นฐาน เคหะชุมชนห้วยขวางอยู่ในความดูแลของการเคหะแห่งชาติ เป็นอาคารชุดอยู่บนเนื้อที่ประมาณ 82 ไร่ จำนวน 3,360 หน่วย ประชากร 17,304 คน มีปริมาณน้ำเสีย 2,698.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (จริยา ทองจันทึก, 2529)

พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ (2525) ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโรงงานบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง รายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 เป็นระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) ประกอบกับการย่อยตะกอนด้วยถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงโรงกำจัดน้ำเสียห้วยขวางของการเคหะแห่งชาติ
(นิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2526)

2.1.4.2 คุณภาพของน้ำทิ้งที่เข้าระบบ (Influent)

บุญสิน สุภัควงศ์ (2521) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสีย มีค่า ซี.โอ.ดี.เท่ากับ 268 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า บี.โอ.ดี.เท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 26 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสารแขวนลอย เท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า Alkalinity เท่ากับ 432 มัลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต และค่า pH เท่ากับ 7.78

วิษุ เลาหนันท์ (2521) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสีย มีค่า ซี.โอ.ดี เท่ากับ 189 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า บี.โอ.ดี. เท่ากับ 94 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ที.เค.เอ็น. เท่ากับ 27 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออร์กานิค-ไนโตรเจน เท่ากับ 11 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสารแขวนลอย เท่ากับ 79 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า Alkalinity เท่ากับ 472 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต ค่า pH เท่ากับ 7.96 และตรวจไม่พบไนไตรต์ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2523) ได้ศึกษาลักษณะน้ำเสียจากชุมชนการเคหะแห่งชาติในกรุงเทพมหานคร ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียมีค่า ซี.โอ.ดี. เท่ากับ 317 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า บี.โอ.ดี. เท่ากับ 139 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสารแขวนลอย เท่ากับ 136 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 28.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต เท่ากับ 4.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

นิมิต บำรุงกิจ (2529) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าเมื่อนำค่าที่ตรวจวิเคราะห์ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้ค่า ซี.โอ.ดี เท่ากับ 392.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 39.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 34.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH เท่ากับ 7.8 และตรวจไม่พบไนเตรตไนโตรเจน

จริยา ทองจันทึก (2529) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียมีค่า ซี.โอ.ดี. เท่ากับ 222.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ซี.โอ.ดี เท่ากับ 114.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ที.เค.เอ็น. เท่ากับ 34.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออร์กานิค-ไนโตรเจน เท่ากับ 11.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 22.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า

สารแขวนลอย เท่ากับ 91 มิลลิกรัมต่อลิตร ไขมันและน้ำมัน 590 มิลลิกรัมต่อลิตร

ศรัญยา เปียแดง และคณะ,(2529) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียมีค่า ซี.โอ.ดี. เท่ากับ 338 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า บี.โอ.ดี. เท่ากับ 218 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสารแขวนลอย เท่ากับ 111 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า Alkalinity เท่ากับ 242 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต และค่า pH เท่ากับ 7.19

2.1.4.3 คุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนขั้นปฐมภูมิ

ราเมศวร์ ปทุมาสูตร (2524) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนขั้นปฐมภูมิของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่ามีค่า ซี.โอ.ดี.ระหว่าง 134-278 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า บี.โอ.ดี.ระหว่าง 69-139 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนโตรเจนทั้งหมดระหว่าง 30-51.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนระหว่าง 7.8-33.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสเฟต 3.5-12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสารแขวนลอย เท่ากับ 96-172 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH เท่ากับ 7.2-8

ทศพร ธงทอง (2529) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนขั้นปฐมภูมิของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของค่า ซี.โอ.ดี เท่ากับ 190.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 33.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 30.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออร์กานิค-ไนโตรเจน เท่ากับ 2.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรตไนโตรเจน เท่ากับ 0.0007 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรตไนโตรเจน เท่ากับ 3.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 6.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโปรตัสเซียม เท่ากับ 27.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH เท่ากับ 7.28

2.1.4.4 คุณภาพของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Effluent)

ทศพร ธงทอง (2529) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า ซี.โอ.ดี. เท่ากับ 44.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ที.เค.เอ็น เท่ากับ 2.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 109 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออร์กานิคไนโตรเจน เท่ากับ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนไตรตไนโตรเจน เท่ากับ 0.0882 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรตไนโตรเจน เท่ากับ 19.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 3.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโปรตัสเซียม เท่ากับ 21.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH เท่ากับ 7.03

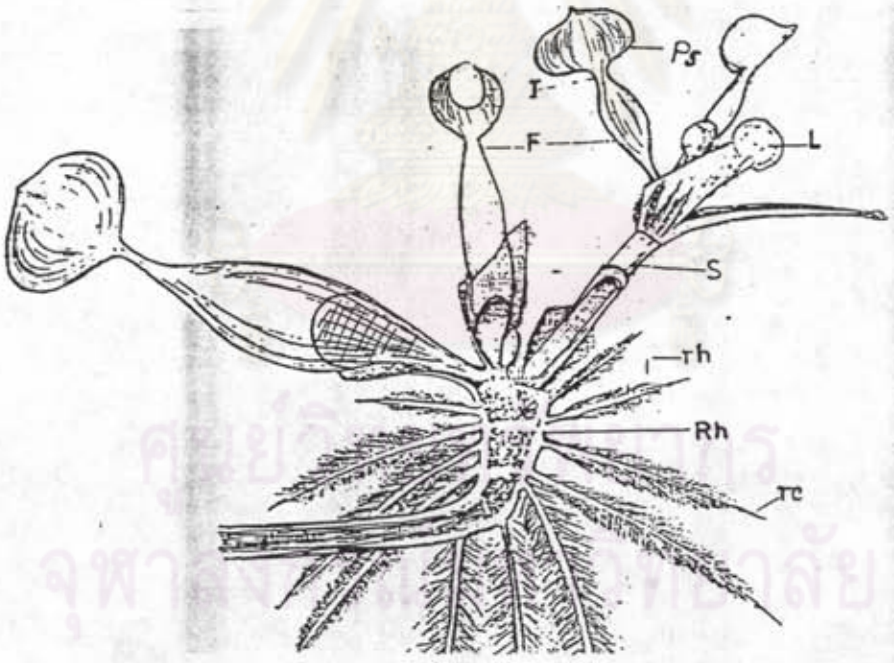
ศรัญยา เปียแดง และคณะ (2529) ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าซี.โอ.ดี. เท่ากับ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า บี.โอ.ดี. เท่ากับ 19.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสาร

แขวนลอย เท่ากับ 12.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า Alkalinity เท่ากับ 185 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต

2.2 ผักตบชวา

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของผักตบชวา

ผักตบชวา [Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.] เป็นพืชหลายฤดูที่มีอายุนาน (perennial) เป็นพืชน้ำที่ลอยอยู่เป็นกลุ่มก้อน แพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่น มีถิ่นกำเนิดในประเทศบราซิลและขยายไปสู่ประเทศต่าง ๆ ในอเมริกาใต้และอเมริกากลาง ปัจจุบันได้แพร่กระจายไปทั่วโลก เช่น ออสเตรเลีย จีน อินเดีย คาบสมุทรอินโดจีน ญี่ปุ่น ไทย และแอฟริกาใต้ เป็นต้น ผักตบชวาที่โตเต็มที่แล้วจะมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.2 และมีลักษณะภายนอก ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ภาพตัดตามยาวแสดงโครงสร้างต่าง ๆ ของผักตบชวา
B-Leaf blade, F-Float, I-Isthmus, L-Ligule,
R-Rhizome rh-Root hairs, rc-Root cap, S-Stolon.
(Penfound & Earle, 1948)

รูปที่ 2.3 ลักษณะภายนอกของผักตบชวา

(Penfornol & Earle, 1948 และ Suttipong, 1980)

1. Plant
2. Flower
3. Prominent upper tepal of inner whorl
4. L.s. flower
5. Three anterior exserted stamens with pubescent filaments and three included stamens with glabrous filaments
6. Anterior stamen
7. Pistil
8. L.s. ovary
9. T.s. ovary
10-15. Stages of seed germination

016445

เรียม เตชะโสภณณี (2530) ได้กล่าวถึงผักตบชวาว่าเป็นพืชน้ำที่อยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล น้ำลึกและน้ำตื้น ถ้าเจริญในน้ำลึกจะล่องลอยอย่างอิสระโดยมีทุ่นลอย (floating structure) แต่ถ้าเจริญในน้ำตื้นที่เบื้องล่างเป็นดินโคลนประกอบด้วยซากสัตว์และพืชที่ตายทับถมกันนาน ๆ และอุดมด้วยสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ทำให้ผักตบชวามีรากหยั่งลงดินไม่ล่องลอยอิสระจะมีความเจริญทางด้านสูงมาก ใบสีเขียวปนแดง ไม่สร้างทุ่นลอย การดูดซึมอาหารของผักตบชวาใช้วิธีดูดซับทางรากซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นเดียว ไม่แตกแขนง อาจมีความยาวถึง 50 เซนติเมตร การสืบพันธุ์มี 2 วิธี คือ แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อหรือไหล ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ผักตบชวาเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว และแบบอาศัยเพศโดยการออกดอกซึ่งนับได้ว่ามีส่วนในการเพิ่มจำนวนต้นไม่มากนัก แต่มีความสำคัญในการรักษาสายพันธุ์ไม่ให้สูญหายไป เมล็ดจะมีความทนทานในที่แห้งแล้งเป็นเวลาหลายปีโดยที่เมล็ดพร้อมที่จะเจริญพันธุ์ได้เมื่อสิ่งแวดล้อมเหมาะสม

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบสูงอยู่ในช่วง 93% ถึง 96% (Penfound & Earle, 1948) และได้รายงานอีกว่าในส่วนต่าง ๆ ของผักตบชวาจะมีปริมาณน้ำไม่เท่ากัน โดยใบจะมีปริมาณน้ำน้อยที่สุด 89.3% ราก 93.4% ทุ่นลอย 93.9% เหง้า 95.1% และไหล (stolons) มีปริมาณน้ำมากที่สุดคือ 96.7% เมื่อรวมทุกส่วนของผักตบชวาจะมีน้ำในปริมาณน้อยกว่า 96.05% และจากการนำข้อมูลจากการศึกษาของทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิต (2519) มาคำนวณพบว่าผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบเฉลี่ย 94.7%

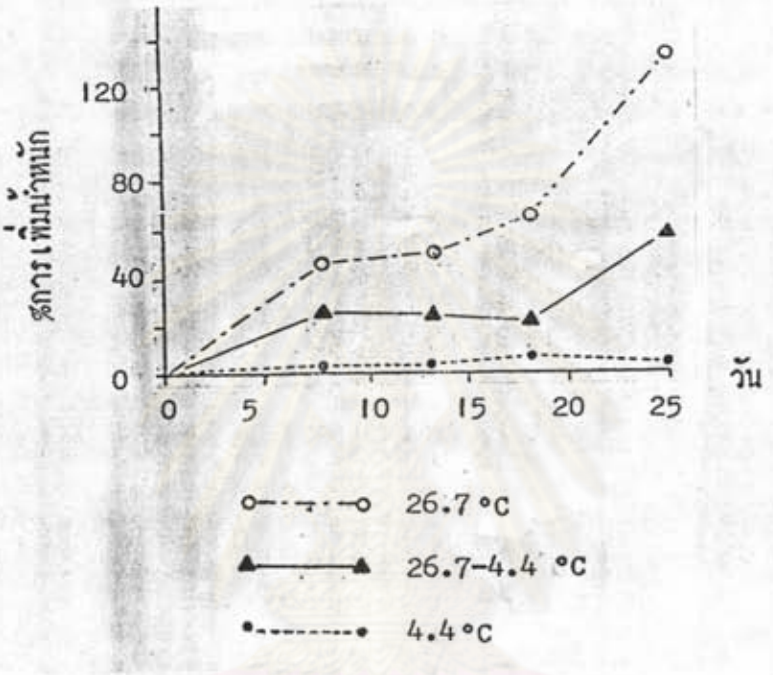
2.2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงชนิดหนึ่ง มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้สูง (Reddy & Sutton ,1984) ได้รายงานว่าอัตราการเจริญเติบโตของผักตบชวาขึ้นกับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการคือ อุณหภูมิ รังสีแสงอาทิตย์หรือแสงสว่าง ปริมาณสารอาหารในน้ำ ความหนาแน่นของผักตบชวา

2.2.2.1 อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของผักตบชวา ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 34°ซ. นาน 4-5 สัปดาห์ ผักตบชวาจะไม่สามารถทนทานอยู่ได้ และเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำลงถึง -2.7°ซ.(27°F) ใบจะตายใน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ -5°C (23°F) ในเวลา 48 ชั่วโมงผักตบชวาจะตาย เมื่อปลายเหง้า (rhizome tip) แข็ง (Penfound & Earle, 1948)

Bock (1969) พบว่าผักตบชวาที่ Northern California มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการขยายพันธุ์ต่ำกว่าผักตบชวาในแถบโซนร้อน ในฤดูร้อนจะมีการเพิ่มกำลังผลิตสูงและในฤดูหนาวจะมีอัตราการตายสูง และ

ได้ทำการศึกษาต้นแบบ (Pilot study) ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร พบว่าผักตบชวาเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 26.7°C ได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 4.4°C ซึ่งผักตบชวาจะเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้น้อยมากดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเพิ่มของน้ำหนักเปียกของผักตบชวาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยให้แสง 8 ชั่วโมง และมืด 12 ชั่วโมง (Bock, 1969)

Tucker & DeBusk (1983) พบว่าอัตราเพิ่มกำลังผลิตของผักตบชวาจะน้อยในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำในเดือนมกราคม ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 15°C เพียง 6 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่เดือนสิงหาคมมีอุณหภูมิเฉลี่ย 25°C มีอัตราเพิ่มกำลังของผักตบชวาเป็น 33 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน

Reddy & Tucker (1983) พบว่าในการทดลองปลูกผักตบชวาที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 26-28°C การเพิ่มของผลได้มวลชีวภาพของผักตบชวาอยู่ระหว่าง 19-53 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ย 16-22°C การเพิ่มของผลได้มวลชีวภาพอยู่ในช่วง 10-13 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน

Chassany de Casabianca (1985) ได้รายงานการศึกษากำลังผลิตของผักตบชวาในน้ำเสีย (wastewater) พบว่าผักตบชวาจะมีการเจริญเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15°C ซึ่งมีระยะเวลาประมาณ 6 เดือน 4 ใน 5 ของผลได้มวลชีวภาพจะเกิดใน 3 เดือนของฤดูร้อนและมีกำลังผลิตมากกว่า 20 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน

2.2.2.2 แสงสว่าง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวาเป็นอย่างมาก ถ้าผักตบชวาได้รับแสงสว่างต่ำกว่า 130 ฟุต-เทียน ผักตบชวาจะตายหรือแห้ง เมื่อความเข้มของแสงสว่างอยู่ในช่วง 130-500 ฟุต-เทียน ผักตบชวาจึงจะสามารถสร้างใบที่ยาวเรียว (elogate leaves) ได้และเมื่อความเข้มของแสงสว่างมากกว่า 500 ฟุต-เทียน ผักตบชวาจึงจะสามารถสร้างใบที่มีทุ่นลอย (Penfound & Earle, 1948)

2.2.2.3 ความหนาแน่นและการเก็บเกี่ยวผักตบชวา อัตราการเจริญเติบโตของผักตบชวาขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความถี่ในการเก็บเกี่ยวผักตบชวา ความหนาแน่นของผักตบชวาที่เหมาะสมที่จะให้อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในน้ำเสียอยู่ในช่วง 15-35 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร (Reddy & Sutton, 1984)

Chassany de Casabianca (1985) ได้รายงานว่ากำลังผลิตของผักตบชวาในระบบที่มีการเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วง 30.6-35.2 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนในระบบที่ไม่มีการเก็บเกี่ยวจะให้กำลังลดลงครึ่งหนึ่งของระบบที่มีการเก็บเกี่ยว

ทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิต (2519) ได้ศึกษากำลังผลิตของผักตบชวา พบว่าขณะที่ผักตบชวามีความหนาแน่นสูงสุด 40.58 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ถ้าปลูกต่อไปจะมีบางส่วนเริ่มตาย ความหนาแน่นจะลดลงเรื่อย ๆ จะเหลือเพียง 17.11 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตรในเวลา 60 วัน

2.2.2.4 ปริมาณสารอาหารในน้ำ มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา ซึ่งผักตบชวาจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในน้ำที่มีความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมด 28 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัสทั้งหมด 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนกับฟอสฟอรัสเท่ากับ 3.6:1 (Sato & Kondo, 1981)

Reddy & Tucker (1983) ได้รายงานว่า จากการศึกษากำลังผลิตของผักตบชวาในน้ำที่มีปริมาณไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ กัน พบว่าในน้ำที่มีปริมาณไนโตรเจนในรูป NH_4^+ และ NO_3^- มีความเข้มข้นเท่ากันที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีกำลังผลิตสูงสุด

Reddy & Sutton (1984) ได้รายงานว่า การสร้างมวลชีวภาพของผักตบชวาจะขึ้นกับปริมาณสารอาหารในน้ำ ซึ่งสารอาหารที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส

2.2.2.5 ความเค็ม ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้ดีในน้ำจืด และไม่สามารถที่จะปรับตัวให้เจริญเติบโตในน้ำเค็มได้ นอกจากน้ำกร่อยอ่อน ๆ เท่านั้น (Penfound & Earle, 1948)

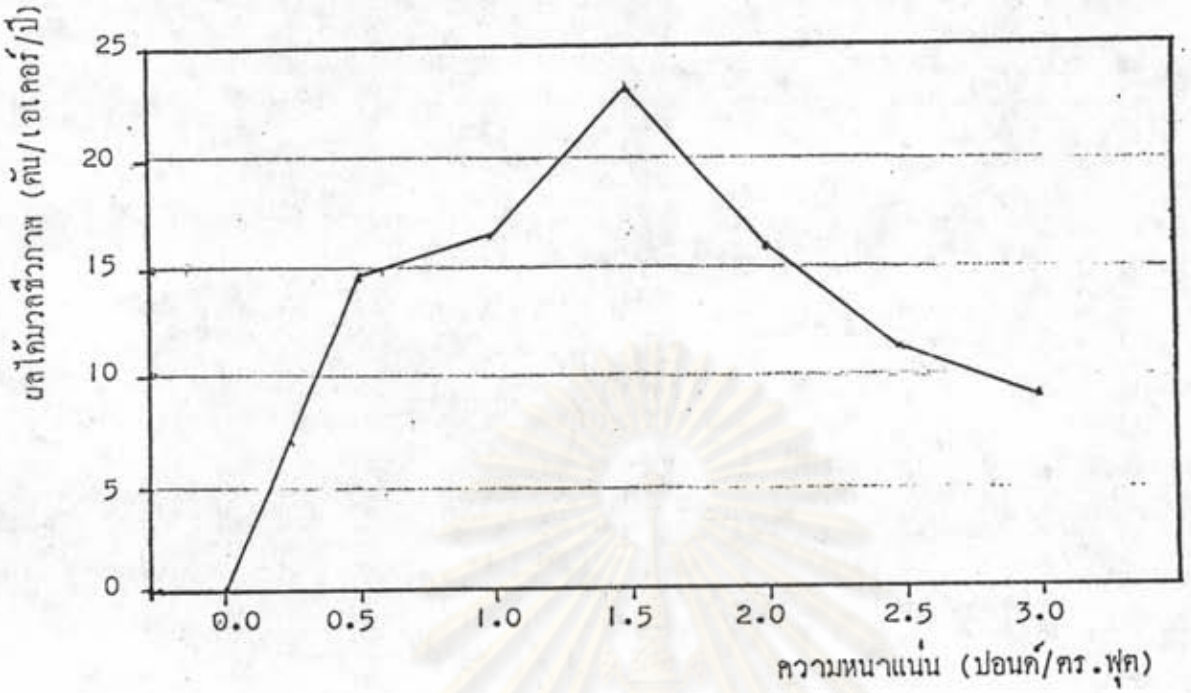
2.2.3 กำลังผลิตและอัตราการเจริญเติบโตของผักตบชวา

ทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิตร (2519) ได้ศึกษากำลังผลิตของผักตบชวา พบว่าผักตบชวามีกำลังผลิตสูงสุดเท่ากับ 19.9 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน โดยเริ่มปลูกผักตบชวาที่ความหนาแน่น 500 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตร หรือ 31.03 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรในเวลา 105 วัน ผักตบชวาจะมีความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 40.580 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร หรือ 2.130 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตร

Wooten & Dood (1976) ได้ศึกษากำลังผลิตของผักตบชวาในน้ำเสียโดยใส่ผักตบชวาในบ่อขนาด 5,000 ตารางฟุต ลึก 2.6 ฟุต จำนวน 5 บ่อ น้ำทิ้งไหลเข้าระบบด้วยอัตรา 127 แกลลอนต่อนาที พบว่าผักตบชวาในฤดูที่เจริญเติบโตได้ดีจะมีกำลังผลิต 29 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน และมีความหนาแน่นสูงสุด 64.5 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร หรือ 2.9 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตร

Sato & Kondo (1981) ได้ศึกษากำลังผลิตของผักตบชวาในน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารต่าง ๆ กัน พบว่าผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด 639 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีความหนาแน่นของผักตบชวา 6.7 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร

Lee & McKim (1981) ได้รายงานว่าผักตบชวาที่เจริญเติบโตในระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่ฝึกอาศัย ความหนาแน่นที่เหมาะสมที่จะให้ผลได้มวลชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 1.5 ปอนด์น้ำหนักเปียกต่อตารางฟุต หรือ 7.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งจะให้ผลได้มวลชีวภาพประมาณ 23 เมตริกตันต่อเอเคอร์ต่อปี ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงผลได้มวลชีวภาพของผักตบชวาที่ความหนาแน่นต่าง ๆ กัน (Lee & McKim 1981)

Center & Spencer (1981) ได้รายงานว่าผักตบชวามีการสะสมเพิ่มมวลชีวภาพคำนวณได้ประมาณ 20 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน และมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate) สูงสุดเท่ากับ 1.50 % ต่อวัน ซึ่งจะมีการเจริญเติบโตสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน และมีความหนาแน่นของจำนวนต้นสูงสุด 180 ต้นต่อตารางเมตร

Reddy & Sutton (1984) ได้รายงานว่าผลได้มวลชีวภาพของผักตบชวาอยู่ในช่วง 47 ถึง 106 เมตริกตันน้ำหนักแห้งต่อแฮกตาร์ต่อปี ครึ่งหนึ่งจะเป็นมวลชีวภาพที่ได้ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม ผักตบชวาที่เจริญเติบโตในน้ำที่มีสารอาหารน้อย เช่น น้ำในทะเลสาปหรือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีมวลชีวภาพของรากประมาณ 35-50% แต่ผักตบชวาที่เจริญเติบโตในน้ำที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยสารอาหาร เช่น น้ำเสียจากชุมชนที่พักอาศัย จะมีมวลชีวภาพของรากอยู่ในช่วง 14-25 %

2.2.4 การใช้บ่อผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย

การใช้บ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยเป็นวิธีประหยัดและใช้ได้ผลดี เพราะผักตบชวาเป็นพืชลอยน้ำที่มีความสามารถในการลดสาหร่าย แบคทีเรียของแข็งแขวนลอย โลหะหนัก สารอินทรีย์ และสารปนเปื้อนอื่น ๆ ในน้ำเสีย (Gupta, 1980)

Dinges (1978) ได้ศึกษาการใช้บ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยซึ่งผ่านการบำบัดมาแล้วด้วยบ่อเติมอากาศ และบ่อผันสภาพ (stabilization pond) โดยใช้บ่อผักตบชวาขนาดกว้าง 9.1 เมตร ยาว 64 เมตร ในระยะที่ 1 ของการศึกษาความลึกเฉลี่ยของน้ำทิ้งในบ่อผักตบชวาประมาณ 1 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียประมาณ 5.3 วัน และมีค่าความสกปรกของน้ำเสียต่อพื้นที่ผิวของบ่อผักตบชวาในรูป บี.โอ.ดี. เท่ากับ 4.34 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน การศึกษาระยะที่ 2 ความลึกเฉลี่ยของน้ำเสียในบ่อทดลองประมาณ 0.85 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียประมาณ 4.5 วัน ค่าความสกปรกของน้ำเสียต่อพื้นที่ผิวของบ่อผักตบชวาในรูป บี.โอ.ดี. เท่ากับ 8.89 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน พบว่าบ่อผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดี ผลการทดลองสรุปได้ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ประสิทธิภาพของบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยที่ออกจากบ่อผันสภาพ (Dinges, 1978)

พารามิเตอร์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การศึกษาระยะที่ 1			การศึกษาระยะที่ 2		
	น้ำเข้า	น้ำออก	% การลด	น้ำเข้า	น้ำออก	% การลด
BOD	22.6	5.2	77	46.5	5.7	87
COD	84	40	52	184	51	72
Total Nitrogen	8.16	2.47	69	9.94	3.59	63
VSS	38	5	86	97	6	93
Chloroghyll a	0.351	0.028	93	0.35	0.017	95

Wolverton (1979) ได้ศึกษาการใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยแบบครั้งคราว (Batch System) ใช้เวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 6-7 วัน พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลด บี.โอ.ดี. เฉลี่ย 1.5 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียกของผักตบชวา และเมื่อรวมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ด้วยประสิทธิภาพการลด BOD ของน้ำเสียจะเพิ่มเป็น 4.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียกของผักตบชวา และเมื่อมีการเติมให้น้ำเสียมีความเข้มข้นของ Phenol 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาการเก็บกักน้ำทิ้ง 7 วัน ผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการลด บี.โอ.ดี. เฉลี่ย 1.4 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเปียกผักตบชวา เมื่อรวมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ การลด บี.โอ.ดี. จะเท่ากับ 3.5 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียกของผักตบชวา

McDonald & Wolverton (1980) ศึกษาการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยโดยใช้และไม่ใช้ผักตบชวา ในบ่อขนาดพื้นที่ผิว 3.6 แฮกตาร์ ความลึกเฉลี่ย 1.73 เมตร ในการศึกษา 3 ปี ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ปีแรกใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ มีปริมาณน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ย 935 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปีที่ 2 ใส่ผักตบชวา 33% ของพื้นที่ผิวบ่อมีปริมาณน้ำเสียเข้าบ่อเฉลี่ย 1.240 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปีที่ 3 ไม่ใส่ผักตบชวา มีปริมาณน้ำเสียเข้าบ่อเฉลี่ย 957 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่าการใส่ผักตบชวาในบ่อจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ย 5 เดือน (เดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน) ของการทดลอง 3 ปี เปรียบเทียบประสิทธิภาพของบ่อในการบำบัดน้ำเสีย (McDonald & Wolverton, 1980)

ดัชนีคุณภาพน้ำ*	100% ผักตบชวา		33% ผักตบชวา		0% ผักตบชวา	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
BOD	161	23	121	25	127	52
TSS	125	6	85	57	140	77
TKN	30.3	14.4	26.2	14.8	28.2	18.7
TP	8.5	7.9	7.8	8.2	8.1	8.6
TOC	93	40	73	60	66	72
DO	1.5	0.6	2.2	0.8	2.1	4.4
pH	7.3	7.0	7.1	7.1	7.3	7.7

* หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น pH

Tridech et al (1981) ได้ศึกษาการใช้พืชน้ำเป็นการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยในการบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิ (Tertiary Treatment) ได้ใช้พืชน้ำหลายชนิดในการทดลองแบบครั้งคราว (Batch System) ในอ่างทดลองความจุ 90 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารปนเปื้อน ของแข็ง และสารอาหารในน้ำทิ้งได้ดีและได้ทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous flow study) ในบ่อทดลองขนาด 900 ลิตร บำบัดน้ำทิ้งจากที่พักอาศัยที่ผ่านการบำบัดของระบบ Tricking filter ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment) และเติมสารปนเปื้อนเพิ่มเติมจำพวกโลหะหนักและสารมีพิษ ปรับอัตราไหลของน้ำทิ้งที่เข้าระบบให้มีระยะเวลาเก็บกักในบ่อทดลอง 15 วัน ผลการทดลองพบว่าผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดสารต่าง ๆ ได้ดังนี้ บี.โอ.ดี. ลดได้ 95% TOC ลดได้ 80% ไนโตรเจนทั้งหมดลดได้ 85% ฟอสฟอรัสลดได้ 95% สารแขวนลอยรวม (TSS) ลดได้ 99.2% และผักตบชวายังมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักและสารมีพิษได้ดีเทียบเท่ากับ Physical-chemical processes.

Lee & MeKing (1981) ได้ใช้ระบบบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียที่ Walt Disney World จากการศึกษาพบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบได้มาตรฐานของการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ บ่อผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลด บี.โอ.ดี. และสารแขวนลอยรวม (TSS) ได้ 80-90% ลดไนโตรเจนทั้งหมดได้เฉลี่ยประมาณ 30-50% และลดฟอสเฟตได้ประมาณ 20-40%

Reddy & Tucker (1983) ได้ศึกษาการใช้สารอาหารของผักตบชวาโดยการศึกษาในอ่างทดลองความจุ 300 ลิตร ใช้น้ำสังเคราะห์ พบว่าการดูดซับไนโตรเจนของผักตบชวามีแนวโน้มสัมพันธ์กับผลได้มวลชีวภาพของผักตบชวา การดูดซับไนโตรเจนของผักตบชวาอยู่ในช่วง 533-2,161 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนการดูดซับฟอสฟอรัสนั้นมีแนวโน้มสัมพันธ์กับการดูดซับไนโตรเจนผลได้มวลชีวภาพ การดูดซับฟอสฟอรัสของผักตบชวาอยู่ในช่วง 59-542 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

Hauser (1984) ได้ศึกษาการใช้บ่อผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยที่ผ่านการบำบัดขั้นทุติยภูมิของ Roseville wastewater treatment plant พบว่าบ่อผักตบชวาสามารถลดแอมโมเนียไนโตรเจนในฤดูร้อนได้ 70% และถ้ามีการเติมอากาศจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 99% สำหรับประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนทั้งหมดในฤดูร้อนลดได้ 55% และจะเพิ่มเป็น 70% เมื่อมีการเติมอากาศ น้ำที่ออกจากระบบมีค่าสารแขวนลอยรวม และ บี.โอ.ดี. ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.5 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อผักตบชวา

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อผักตบชวา (Dinges (1978) ได้เสนอแนะปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ ขนาดของบ่อ รูปร่างของบ่อ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย ปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย Middlebrooks (1979) ได้สรุปข้อเสนอแนะเกณฑ์ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยบ่อผักตบชวาดังตารางที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ข้อเสนอแนะเกณฑ์ในการออกแบบระบบบ่อผักตบชวา (Middlebrooks, 1979)

Parameter	Design Value	Expected effluent quality
(a) Raw Wastewater System		
Hydraulic residence time	>50 days	BOD_5 ≤30 mg/L
Hydraulic loading rate	200 m^3/ha-day	TSS ≤30 mg/L
Maximum depth	≤ 1.5 m	
Area of individual basins	0.4 ha	
Organic loading rate	≤ 30 kg of BOD_5/ha-day	
Length to width ratio of hyacinth basin	> 3:1	
Water temperature	> 10°C	
Mosquito control	Essential	
Diffuser at inlet	Essential	
Dual systems, each designed to treat total flow	Essential	
Plant harvesting	Seasonal to annual	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) ข้อเสนอแนะเกณฑ์ในการออกแบบระบบบ่อผักตบชวา (Middlebrooks, 1979)

Parameter	Design Value	Expected effluent quality
(b) Secondary Effluent Sustem		
Hydraulic residence time	⩾ 6 days	BOD_5 ⩽ 10 mg/L
Hydraulic loading rate	800 m^3/ha-day	TSS ⩽ 10 mg/L
Maximum depth	0.91 m	TP ⩽ 5 mg/L
Minimum depth	0.38 m	TN ⩽ 5 mg/L
Area of individual basins	0.4 ha	
Organic loading rate	⩽ 50 kg BOD_5/ha-day	
Nitrogen loading rate	⩽ 15 kg of TKN/ha-day	
Length to width ratio of hyacinth basin	⩾ 3:1	
Water temperature	⩾ 20°C	
Mosquito control	Essential	
Diffuser at inlet	Essential	
Dual systems, each designed to treat total flow	Essential	
Plant harvesting	Monthly to weekly	