

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้ได้ใช้โรงบำบัดน้ำเสียดินแดงมาเป็นตัวอย่างการวิจัย ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนที่สามารถรับปริมาณน้ำเสียได้มากที่สุดในกรุงเทพมหานคร ในปัจจุบันประมาณ 350,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเริ่มทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2547 การศึกษาครั้งนี้จะครอบคลุมถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ แหล่งที่มา ลักษณะและปริมาณของน้ำเสีย มาตรฐานน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษารายละเอียดของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ได้แก่ พื้นที่ที่ครอบคลุมและจำนวนประชากร ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการออกแบบและเดินระบบบำบัดน้ำเสีย องค์ประกอบต่างๆของระบบบำบัด รวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย พื้นที่ที่ครอบคลุมและจำนวนประชากร ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการออกแบบและเดินระบบบำบัดน้ำเสีย องค์ประกอบต่างๆของระบบบำบัด รวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปฏิกิริยาทางชีวภาพที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ซึ่งได้แก่ Activated Sludge Model No.1 (ASM1) และรายงานศึกษาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้

2.1 น้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater)

2.1.1 แหล่งที่มา

น้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานครเป็นน้ำเสียที่รวบรวมโดยท่อระบายน้ำในระบบรวบรวมน้ำเสียและน้ำฝน (Combined Sewer System) ในพื้นที่ที่ครอบคลุมรวมถึง บ้านพักอาศัย ภัตตาคาร ศูนย์การค้า โรงแรม สำนักงาน สถานศึกษา เป็นต้น น้ำเสียที่ได้มาจากการคักน้ำออกจากท่อระบายน้ำด้วยบ่อดักน้ำเสีย (Interceptors) จึงมักทำให้มีปริมาณสูงและความเข้มข้นต่ำ

2.1.2 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

โดยปกติน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยมีความเข้มข้นของบีโอดี (BOD_5) ประมาณ 70-110 mg/l ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) (ในรูปไนโตรเจน) ประมาณ 20 – 40 mg/l และมีความเข้มข้นของคลอไรด์ประมาณ 40 – 60 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ซึ่งข้อมูลลักษณะน้ำเสียชุมชนของประเทศไทยและของสหรัฐอเมริกาแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

พารามิเตอร์	น้ำเสียในประเทศไทย (มก./ล.)	น้ำเสียในสหรัฐอเมริกา(มก./ล.)
บีโอดี	65-110	110-400
ของแข็งแขวนลอย	40-110	100 - 350
ทีเคเอ็น	10-40	20 - 85
ฟอสฟอรัส	1-6	4 - 15
คลอไรด์	40-60	50 - 150

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2546

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าความเข้มข้นของน้ำเสียในสหรัฐอเมริกาส่งกว่าในประเทศไทยมากสาเหตุน่าจะมาจากระบบรวบรวมน้ำเสียที่ต่างกัน โดยที่รวบรวมน้ำเสียของสหรัฐอเมริกจะเป็นระบบท่อระบายแยก (Separated Sewer System) ซึ่งแยกท่อระบายน้ำฝนออกจากท่อรวบรวมน้ำเสีย ส่วนประเทศไทยเป็นแบบระบบท่อระบายรวม (Combined Sewer System) คือใช้ท่อระบายน้ำฝนและน้ำเสียเป็นท่อร่วมกันทำให้เกิดการเจือจางด้วยน้ำใต้ดินหรือน้ำจากแหล่งอื่นที่ซึมเข้าท่อส่งผลให้ความเข้มข้นของน้ำเสียในประเทศไทยต่ำกว่าสหรัฐอเมริกา โดยสามารถดูจากความเข้มข้นของคลอไรด์ซึ่งต่างกันประมาณ 3 เท่า นอกจากนี้อาจเป็นเพราะอุปนิสัยที่แตกต่างกัน เช่น ประชาชนในสหรัฐอเมริกานิยมการบดคัขยะในครัวทิ้งรวมมากับน้ำเสียซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียสูงขึ้นได้ เป็นต้น

2.1.3 ปริมาณน้ำเสียชุมชน

ปริมาณน้ำเสียโดยทั่วไปมีค่าประมาณ ไร่ที่ร้อยละ 70 – 80 ของปริมาณน้ำใช้ ซึ่งแตกต่างกันไปเนื่องจาก ความพร้อมของระบบประปา ลักษณะเศรษฐกิจ จำนวนประชากรแฝงและจร กิจกรรมในชุมชน ราคาประปา สภาพภูมิศาสตร์ เป็นต้น จากตารางที่ 2.2 และ 2.3 จะเห็นได้ว่าอัตราน้ำเสียที่มาจากแหล่งต่างๆของประเทศสหรัฐอเมริกามีปริมาณที่สูงกว่าอัตราน้ำเสียของประเทศไทย

ตารางที่ 2.2 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อผู้ใช้น้ำประเภทต่างๆในประเทศสหรัฐอเมริกา

แหล่งที่มา	หน่วย	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/หน่วย/วัน)
อพาร์ทเมนต์	คน	380-570
โรงแรม	เตียง	1,300-2,300
บ้านพักทั่วไป	คน	95-250
สำนักงาน	พนักงาน	26 - 60
ศูนย์การค้า	พนักงาน	30 - 57
โรงพยาบาล	เตียง	660-1500
โรงเรียนไป-กลับ (มีโรงอาหาร)	นักเรียน	40-80
โรงเรียนประจำ	นักเรียน	280 - 380
โรงภาพยนตร์	ที่นั่ง	8 - 15

ที่มา: Metcalf and Eddy, 2003

ตารางที่ 2.3 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อผู้ใช้น้ำประเภทต่างๆในประเทศไทย

แหล่งที่มา	หน่วย	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/วัน-หน่วย)
ภัตตาคาร	ตร.ม	45-126
โรงแรม	เตียง	472-1,585
ที่พักอาศัย	คน	135-270
สำนักงาน	ตร.ม	2.54*
ห้างสรรพสินค้า	ตร.ม	4.6*
โรงพยาบาล	เตียง	178-1,035
ตลาด	ตร.ม	7-138
สถานที่ศึกษา	คน	10-68

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2546

*จากข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณ และลักษณะน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย, ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, เอกสารประกอบการประชุม สวสท. 2536 สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร 2536

2.1.4 มาตรฐานน้ำทิ้ง

มาตรฐานน้ำทิ้งเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกหรือออกแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายโดยตรงในการควบคุมน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของน้ำเสียชุมชน แต่มีการกำหนดมาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารซึ่งสามารถแบ่งย่อยตามลักษณะของอาคารแต่ละประเภทได้อีก 5 ประเภท (ดูเพิ่มเติมจาก สวสท., 2544) ดังนั้นเบื้องต้นนี้จึงมักใช้ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ดังตารางที่ 2.4 เนื่องจากอาคารประเภท ก เป็นอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งมีความครอบคลุมมากกว่าอาคารประเภทอื่น นอกจากจะมีการประกาศหรือกำหนดใช้มาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนโดยเฉพาะ (กรมควบคุมมลพิษ , 2546)

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์สูงสุด
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5-9
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล	20
3. ปริมาณของแข็ง		
- ของแข็งแขวนลอย (suspended solids)	มก./ล	30
- ตะกอนหนัก (settleable solids)	มก./ล	0.5
- สารที่ละลายได้ทั้งหมด * (total dissolved solids)	มก./ล	500
4. ซัลไฟด์ (sulfide)	มก./ล	1
5. ไนโตรเจน (nitrogen) ในรูปทีเคเอ็น (TKN)	มก./ล	35
6. น้ำมันและไขมัน (fat oil and grease)	มก./ล	20

* เป็นค่าที่เพิ่มจากสารละลายในน้ำใช้ตามปกติ

ที่มา : ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2537

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

2.2.1 พื้นที่ที่ครอบคลุม จำนวนประชากรและปริมาณน้ำเสีย

โรงบำบัดน้ำเสียดินแดงครอบคลุมพื้นที่ เขตดินแดง ปทุมวัน และบางส่วนของพื้นที่เขตดุสิต พญาไท ราชเทวี พระนคร ป้อมปราบศัตรูพ่าย และ สัมพันธวงศ์ แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีจำนวนประชากรในปีพ.ศ.2547 ประมาณ 1,080,000 คน พื้นที่ของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงมีพื้นที่ประมาณ 17 ไร่ และมีเนื้อที่โครงการประมาณ 37 ตารางกิโลเมตร ปัจจุบัน (พ.ศ.2549) ได้ทำการบำบัดน้ำเสียประมาณ 186,310 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยความสามารถในการบำบัดน้ำเสียประมาณ 350,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันซึ่งลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงแสดงดังตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.1 พื้นที่ที่ครอบคลุมในการบำบัดน้ำเสียโดยโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

ตารางที่ 2.5 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณ
Flow	m ³ /d	186,310
BOD	mg/l	30-40
COD	mg/l	70-80
SS	mg/l	25-65
TN	mg/l	15-30
TP	mg/l	2-2.5

ที่มา: รายงานสรุปผลการเดินระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียเฉลี่ย 12 เดือน
โรงบำบัดน้ำเสียดินแดง กทม.2548

2.2.2 องค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

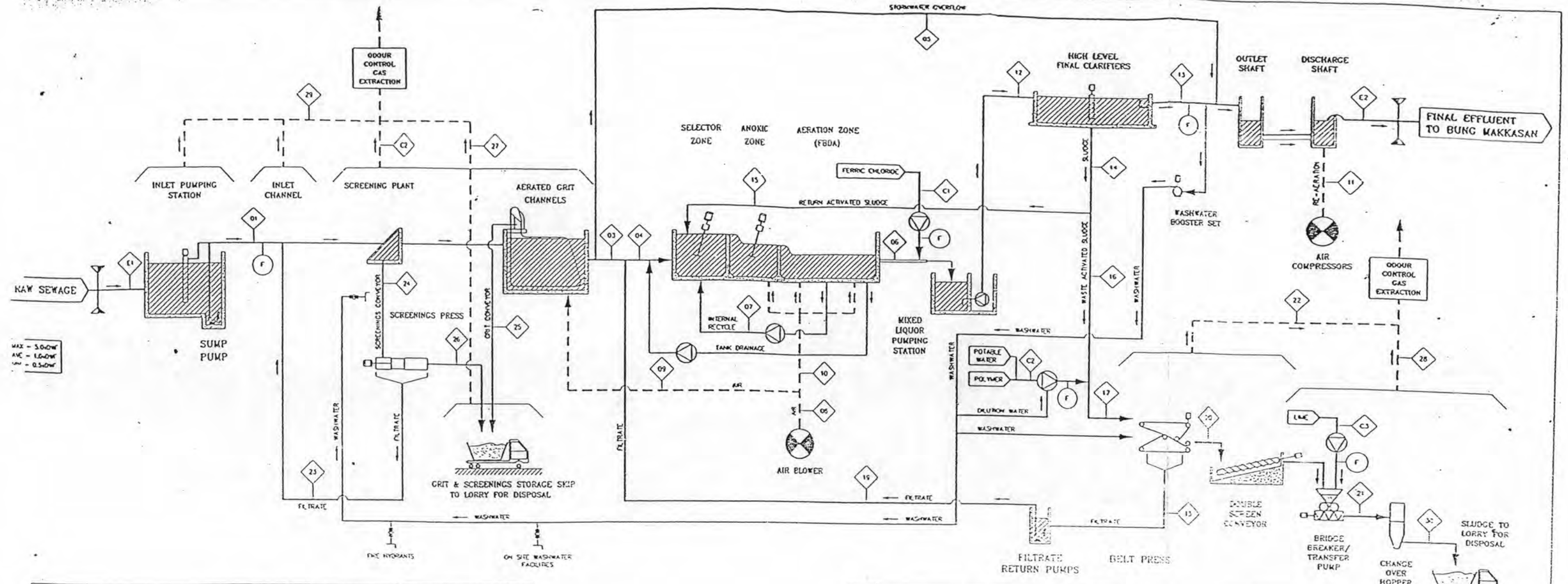
ระบบบำบัดน้ำเสียนั้นเป็นแบบตะกอนเร่งที่มีการกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน และมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียประมาณ 350,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน กระบวนการบำบัดน้ำเสียแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ตะแกรงหยาบ (Coarse screen)

ทำหน้าที่แยกขยะและของแข็งที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสียโดยใช้ตะแกรงหยาบมีขนาดช่องเปิด 150 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันเครื่องสูบน้ำเสีย และอุปกรณ์อื่นๆเสียหาย เช่น มาตรการคัดอัตรการไหลวาล์ว เครื่องสูบ เป็นต้น ขยะที่ติดอยู่หน้าตะแกรงจะถูกกวาดขึ้นมาโดยอาศัยแรงงานคน

2. สถานีสูบน้ำเสีย (Inlet Pumping Station)

สถานีสูบน้ำเสียทำหน้าที่สูบน้ำเสียจากระบบรวบรวมน้ำเสีย เพื่อส่งไปยังระบบบำบัดขั้นต้น (Preliminary Treatment) ตัวสถานีออกแบบเป็นอาคารชั้นเดียวทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.50 เมตร และลึก 22.66 เมตร ภายในจะประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำจำนวน 16 เครื่อง โดยมีอัตราการสูบสูงสุดประมาณ 1,987,200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน



CHEMICAL DATA						
LINE NUMBER		①	②	③		
TYPE OF CHEMICAL		FERRIC CHLORIDE	POLYMER	LIME		
PURPOSE OF APPLICATION		PHOSPHORUS REMOVAL	THICKENING	SOLIDS STABILIZATION		
DERIVED FORM		LIQUID	POWDER	POWDER		
STRENGTH OF SOLUTION (X w/w) AT SITE MAKE-UP/STORAGE POINT		40	0.5	-		
MIN STORAGE CAPACITY (DAYS) BASE ON AVE FLOW/AVE DOSE		30	180	30		
DOOSING LEVEL AS :-		m ³ /day	kg/d	m ³ /day	kg/d	m ³ /day
MAX		32	45624	124	620	37
AVC		23	32936	50	230	34
MIN		19	27208	44	44	33
DILUTION RATIO OF CLARIFIER WATER		-	-	5.1	-	-

EFFLUENT DATA (AVERAGE)			
LINE NUMBER		①	②
TYPE OF FLUID		RAW SEWAGE	TREATED EFFLUENT
BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (mg/l)		150	20
SUSPENDED SOLIDS (mg/l)		150	30
NITROGEN CONTENT (mg/l)		30	10
PHOSPHORUS CONTENT (mg/l)		8	2

LEGEND			
	OPEN CHANNEL		PRIMARY PROCESS LINE
	PRIMARY PROCESS LINE		SECONDARY PROCESS LINE
	SECONDARY PROCESS LINE		MINOR PROCESS LINE
	MINOR PROCESS LINE		PROCESS AIR
	PROCESS AIR		ODOUR CONTROL
	LINE JUNCTION (CONNECTED)		LINE CROSSING (NOT CONNECTED)
	LINE CROSSING (NOT CONNECTED)		LIME SUPPLY

PROCESS DATA																																
LINE NUMBER		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
TYPE OF FLUID		RAW SEWAGE	ODOUR GAS (PRELIM)	SEWAGE AFTER STROM OVER FLOW	SEWAGE TO SECONDARY TREATMENT	STROM SEWAGE FLOW	MAIN AIR INTERNAL RECYCLE	MSS COMPRESSORS	MSS TO MSS PS	AIR TO AERATED GRIT CHANNELS	AIR TO AERATION TANKS	AIR FOR RE-AERATION	MSS TO SECONDARY CLARIFIERS	FINAL EFFLUENT TO OUTFALL SHAFT	ACTIVATED SLUDGE FROM 2	RETURN ACTIVATED SLUDGE	WASTE ACTIVATED SLUDGE	WAS + POLYMER	BFP FILTRATE LIQUORS	FILTRATE RETURN	BIODEGED SLUDGE	SLUDGE CAKE	ODOUROUS GAS SLUDGE BUILDING	SCREENING FILTRATE LIQUORS	SCREENING	GRIT	COMPACTED SCREENING	ODOUROUS GAS SCREEN/SKIP	ODOUROUS GAS SCREEN/SKIP	ODOUROUS GAS SCREEN/SKIP	SLUDGE CAKE DISPOSAL	
DAILY BASIS FLOW MAX (m ³ /day)		1,706,445.0		511,934.0	521,264.0	1,194,511.0		1,023,867.0	954,789				953,993	506,929	447,064	432,686	14,378	14,438	14,140	14,140	258	416		27.5	32.4	176	22.7				416	
DAILY BASIS FLOW AVE (m ³ /day)		341,289.0		341,289.0	350,639.0	0.0		853,223.0	639,099				639,119	341,076	298,043	288,457	9,586	9,624	8,350	8,350	274	365		25	21.6	35.2	15.2				416	
DAILY BASIS FLOW MIN (m ³ /day)		170,645.0		170,645.0	179,998.0	0.0		341,289.0	323,410				324,247	175,225	149,022	144,229	4,793	4,812	4,582	4,582	250	370		22.4	10.8	12.1	7.6				385	
SOLIDS FLOW (kg/day)															1,782,258	1,730,742	57,515	57,745	2,887	54,656	71,315										290,443	
SOLIDS CONTENT (X w/v)															0.6	0.6	0.6	0.6		20	23										20	
GAS FLOW (m ³ /hour)			15,840							2,970	21,355	1,481																				20

(1) RAS SOLIDS CONCENTRATION FROM CLARIFIERS 4000 mg/l
 (2) RAS SOLIDS CONCENTRATION FROM CLARIFIERS 12000 mg/l
 (3) SCREENING FILTRATE PRODUCED & MOISTURE CONTENT 85% OF MAXIMUM SCREENINGS PRODUCTION
 (4) SCREENING FILTRATE PRODUCED & MOISTURE CONTENT 77% OF MAXIMUM SCREENINGS PRODUCTION
 (5) SCREENING FILTRATE PRODUCED & MOISTURE CONTENT 65% OF MAXIMUM SCREENINGS PRODUCTION
 * FIGURES ARE ASSUMING FERRIC AS A COAGULANT WITH 20% BIOLOGICAL PHOSPHORUS (P) REMOVAL
 *** THESE FIGURES ARE ALL ASSUMING THE AVERAGE FERRIC CHLORIDE DOSE

รูปที่ 2.2 แผนผังของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

3. ตะแกรงละเอียด (Fine Screens)

ทำหน้าที่ดักขยะขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นขยะที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เช่น ก้นบุหรี่ เศษไม้ เป็นต้น โดยช่องว่างของตะแกรงขนาดกว้าง 12 มิลลิเมตร ทำความสะอาดตะแกรงโดยอัตโนมัติ โดยอาศัยค่าสูญเสียแรงดันน้ำ (Head Loss) หรือโดยการกำหนดเวลา (Timer Operate) หน่วยกระบวนการตะแกรงละเอียดประกอบไปด้วยตะแกรงขนาดกว้าง 1.75 เมตร จำนวน 8 ชุด

4. ถังดักกรวดทราย (Aerated Grit Channels)

ทำหน้าที่แยกกรวดและทรายออกจากริ่กน้ำเสียก่อนเข้าถังเลี้ยงตะกอน ซึ่งมีขนาดกว้าง 3.7 เมตร ยาว 30 เมตร ลึก 4.5 เมตร จำนวน 8 ราง โดยน้ำเสียที่ผ่านถังดักกรวดทรายจะส่งไปยังระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) ต่อไป

5. ถังเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge Tanks)

เป็นถังที่อยู่ในส่วนของการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองโดยอาศัยกระบวนการแอ็กทิเวเตดสลัดจ์ เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ (BOD) ฟอสฟอรัส และ ไนโตรเจน ถังเลี้ยงตะกอนแต่ละถังมีขนาด กว้าง 32 เมตร ยาว 91 เมตร สูง 8 เมตร จำนวน 4 ถัง ภายในถังเลี้ยงตะกอนแบ่งเป็น 3 โซน ได้แก่ Selector Zone , Anoxic Zone และ Aerobic Zone โดยเปิดทำการบำบัดน้ำเสียจำนวน 3 ถังซึ่งมีปริมาตรเก็บกักน้ำโดยรวม 71,265 ลูกบาศก์เมตร

6. ถังตกตะกอน (Final Clarifiers)

เป็นถังกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31 เมตร ลึก 5 เมตร จำนวน 15 ถัง เปิดการบำบัดน้ำเสีย จำนวน 13 ถัง มีปริมาตรเก็บกักน้ำโดยรวม 49,060 ลูกบาศก์เมตร ทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์จากถังเลี้ยงตะกอนโดยตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถัง และน้ำใสส่วนบนจะไหลไปสู่คลองสามเสนต่อไป ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่ก้นถังส่วนหนึ่งไหลเวียนกลับสู่ถังเลี้ยงตะกอนและอีกส่วนหนึ่งไหลไปเครื่องรีดตะกอน โดยจะมีการเติม $FeCl_3$ ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอน เพื่อกำจัดฟอสฟอรัส

7. เครื่องรีดตะกอน (Belt Filter Press)

ทำหน้าที่รีดน้ำออกจากตะกอน โดยมีการผสมสาร โพลีเมอร์กับตะกอนเพื่อช่วยให้ตะกอนจับตัวกันได้ดี โดยตะกอนที่ผ่านการรีดแล้วต้องมีความเข้มข้นอย่างน้อย 20% โดยกากตะกอนจะถูกนำไปกำจัดที่โรงบำบัดตะกอนหนองแวมต่อไป

2.2.3 กลไกของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในถังเลี้ยงตะกอน

ถังเลี้ยงตะกอนจะทำหน้าที่ลดปริมาณสารอินทรีย์, ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ในน้ำเสีย โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งในถังนี้มีจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น เฮเทอโรโทรฟ (heterotroph), ออโตโทรฟ (autotroph) รวมกันอยู่ซึ่งรวมถึงพวกที่เป็นพีโอโอ (Polyphosphate accumulating organisms; PAOs) ด้วย ถังเลี้ยงตะกอนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมักมีจำนวน 4 ถัง แต่ละถังจะแบ่งออกเป็น 3 โซน คือ โซนคัดพันธุ์ (Selector Zone), โซนแอน็อกซิก (Anoxic Zone) และ โซนแอโรบิก (Aerobic Zone) โดยในแต่ละส่วนภายในถังจะทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

1. โซนคัดพันธุ์

Selector Zone หรือ Anaerobic Selector มีขนาดเล็กรับน้ำเสียเข้าและสลัดจ์สูบลกลับ โดยไม่มีการเติมอากาศ ในโซนนี้มีความเข้มข้นของสารอาหารสูง จุดประสงค์ของโซนนี้คือป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกเส้นใย (filamentous) ที่เป็นสาเหตุจากการอัดของสลัดจ์ (Sludge Bulking) โดยในโซนคัดพันธุ์ของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงมีค่าอัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M) ประมาณ 2.5 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน ทำให้จุลินทรีย์ที่มีการเติบโตแบบแขวนลอย (floc-forming Organisms) สามารถใช้สารอินทรีย์และเติบโตเร็วกว่าจุลินทรีย์พวกเส้นใย นอกจากนี้ในโซนคัดพันธุ์มีปริมาณไนเตรทน้อย ทำให้ไนเตรทถูกใช้หมดเร็วและเกิดการหมัก ทำให้สารอินทรีย์บางส่วนในน้ำเสียกลายเป็นอะซิเตต (acetate) ซึ่งเป็นอาหารให้กับจุลินทรีย์พีโอโอที่มีความสามารถในการจับปล่อยฟอสฟอรัสและสะสมคาร์บอนในรูปของพีโอเอ (Polyhydroxyalkanoates; PHA) ส่งเสริมให้จุลินทรีย์พีโอโอเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลัก ซึ่งมีข้อดีคือเป็นกลุ่มที่ตกตะกอนได้ง่ายและยังสามารถดึงฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียเข้ามาสะสมในเซลล์เมื่อได้รับการเติมอากาศใน Aeration Zone การเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียในโซนนี้ที่ควรเป็นได้แก่ ปริมาณบีโอดีลดลงเล็กน้อย ไม่มีไนเตรทเหลืออยู่ และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจะสูงขึ้น

2. โชนแอน็อกซิก

ในโชนนี้ปริมาณสารอินทรีย์จะลดลง โดยจุลชีพพวกเฮเทอโรโทรปที่ใช้คาร์บอนและพลังงานจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียและใช้ในเครทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ซึ่งในโชนนี้จะมีปริมาณไนเตรทมาก เนื่องจากมีการเวียนน้ำตะกอนที่มีไนเตรทจากโชนเดิมอากาศกลับมาที่โชนแอน็อกซิก ไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนออกสู่อากาศซึ่งเป็นการกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบ (กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน) ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากจุลชีพเอโอไอใช้ในเครทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและใช้พีเอชเอเป็นแหล่งพลังงานทำให้สามารถดึงฟอสฟอรัสกลับเข้าไปในเซลล์ในปริมาณที่มากกว่าที่ปล่อยออกมาในสภาวะแอนเอโรบิก ทำให้ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ของโชนนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าในสภาวะแอนเอโรบิก เนื่องจากไนเตรทมีประสิทธิภาพต่ำกว่าออกซิเจนและตะกอนมักจมด้วยากเพราะมีก๊าซไนโตรเจนติดอยู่

3. โชนแอนโรบิก

ในโชนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสียโดยอาศัยจุลชีพพวกออโตโทรปซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแหล่งคาร์บอนและได้พลังงานมาจากการออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ (NH_3) ที่มีอยู่ในน้ำเสียโดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยจุลชีพพวกออโตโทรปจะทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทและไนเตรท (กระบวนการไนตริฟิเคชัน) ทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลงแต่ไนเตรทจะเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่อยู่ในโชนนี้จะลดลงเนื่องจากจุลชีพเอโอไอใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและใช้พีเอชเอเป็นแหล่งพลังงานทำให้สามารถดึงฟอสฟอรัสกลับเข้าไปในเซลล์ในปริมาณที่มากกว่าที่ปล่อยออกมาในสภาวะแอนเอโรบิก

2.2.4 ค่าของอายุตะกอนที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

อายุตะกอน (θ_c) หมายถึงระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์พืชนวมเวียนอยู่ในระบบ (Mean Cell Residence Time) ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) หรือค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งค่าที่ควบคุมเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของน้ำทิ้ง

$$\text{อายุตะกอน} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ}}{\text{น้ำหนักรวมของจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบต่อวัน}}$$

วิธีควบคุมการทำงานของกระบวนการ โดยใช้ค่าอายุตะกอนเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะเป็นการควบคุมค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ไปในตัวและสามารถคำนวณค่าของตะกอนที่นำไปทิ้งได้อย่างถูกต้อง ซึ่งค่าของอายุตะกอนที่ใช้ในโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมีค่าเท่ากับ 35 วัน

2.3 สมการปริมาณสัมพันธ์สำหรับการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

ปฏิกิริยาทั้งหมดเกิดจาก 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาสังเคราะห์เซลล์ใหม่ (R_c) ปฏิกิริยาสำหรับตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor, R_a) และปฏิกิริยาสำหรับตัวให้อิเล็กตรอน (electron doner, R_d) ซึ่งสามารถรวมกันเป็นปฏิกิริยารวม (R) ดังสมการ

$$R = R_d - f_c R_a - f_s R_c \quad (\text{Grady, Daigger and Lim, 1999})$$

เมื่อ f_c = สัดส่วนของตัวให้อิเล็กตรอนที่ใช้ในการผลิตพลังงาน (ไม่มีหน่วย)

f_s = สัดส่วนของตัวให้อิเล็กตรอนที่ใช้สังเคราะห์เซลล์ (ไม่มีหน่วย)

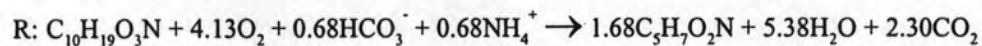
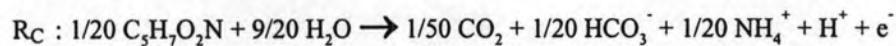
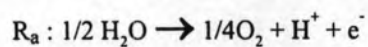
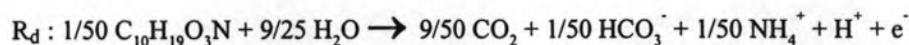
โดยที่ $f_c + f_s = 1.0$

และ $f_s = Y$ เมื่อหน่วยของค่ายิลด์เป็น g-CellCOD/g-SubstrateCOD

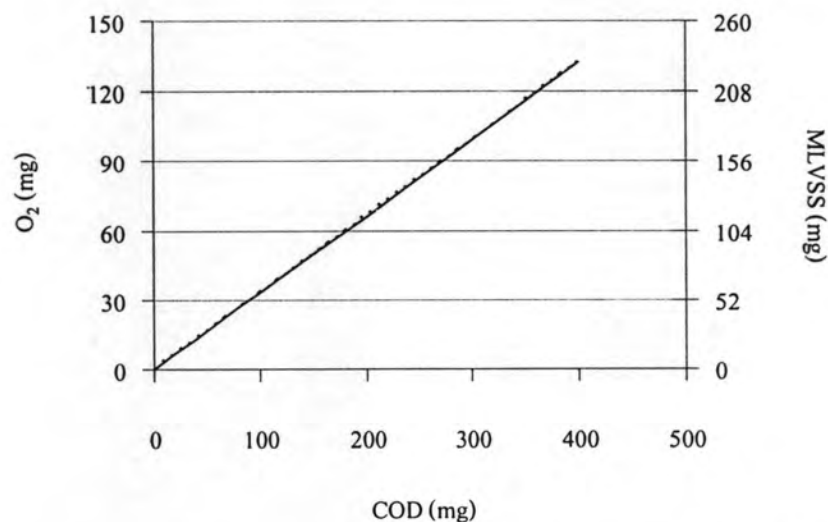
สมการปริมาณสัมพันธ์สำหรับการเติบโตของจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงเป็น ดังนี้

2.3.1 สมการปริมาณสัมพันธ์ของเฮเทอโรโทรฟ (Heterotrophs)

ในการสังเคราะห์เซลล์ ($C_5H_7O_2N$) ของจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟแบบใช้ออกซิเจนจะใช้น้ำเสียชุมชน ($C_{10}H_{19}O_3N$) เป็นตัวให้อิเล็กตรอนและใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และได้สมการปริมาณสัมพันธ์ของเฮเทอโรโทรฟเป็นดังนี้ โดยที่ใช้ค่าyield เท่ากับ $0.67 \text{ g-CellCOD/g-SubstrateCOD}$ ซึ่งจะได้ค่า f_c เท่ากับ 0.33 และ f_s เท่ากับ 0.67



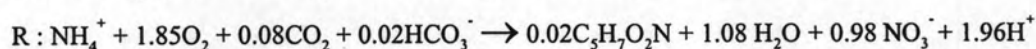
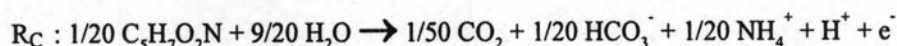
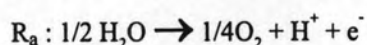
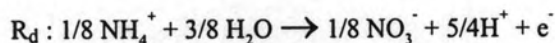
จากสมการข้างต้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของน้ำเสีย ($C_{10}H_{19}O_3N$) และออกซิเจนที่ถูกใช้ ในการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ในรูปของเอ็มแอลวีเอสเอส (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids: MLVSS) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



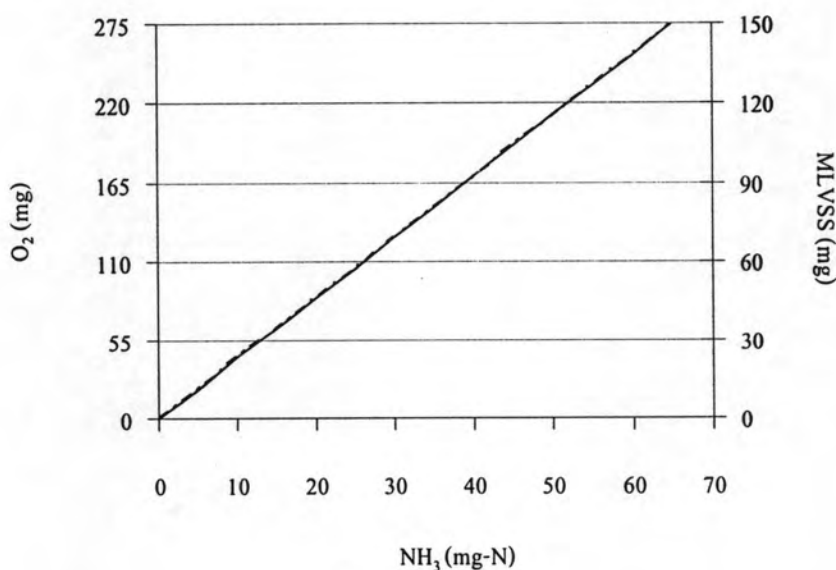
รูปที่ 2.3 ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้และเอ็มแอลวีเอสเอสที่เพิ่มขึ้นต่อความเข้มข้นของน้ำเสีย ที่หายไปโดยจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ

2.3.2 สมการปริมาณสัมพันธ์ของออโตโทรฟ (Autotrophs)

ในการสังเคราะห์เซลล์ ($C_5H_7O_2N$) ของจุลชีพกลุ่มออโตโทรฟแบบใช้ออกซิเจนจะใช้แอมโมเนีย (NH_4^+) เป็นตัวให้อิเล็กตรอนและใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ได้สมการปริมาณสัมพันธ์ของเฮเทอโรโทรฟเป็นดังนี้ โดยที่ใช้ค่ายึดค่าเท่ากับ $0.053 \text{ g-CellCOD/g-SubstrateCOD}$ ซึ่งจะได้ค่า f_c เท่ากับ 0.947 และ f_s เท่ากับ 0.053



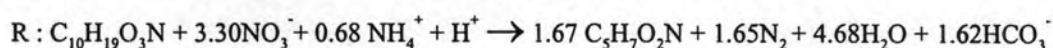
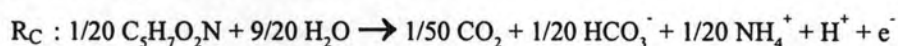
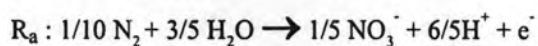
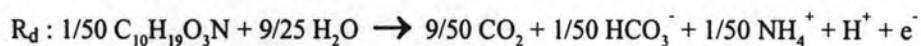
จากสมการข้างต้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของแอมโมเนีย (NH_4^+) และออกซิเจนที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ (MLVSS) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



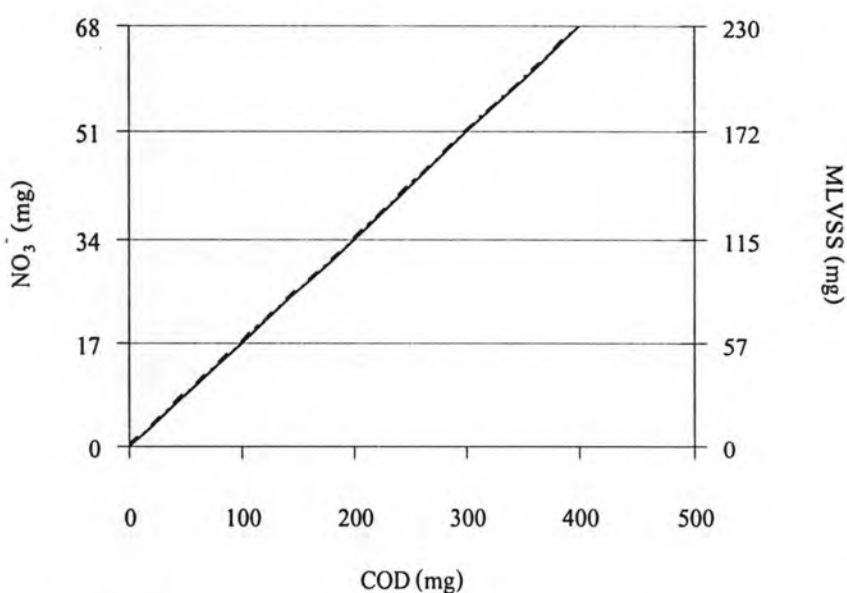
รูปที่ 2.4 ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้และเอ็มแอลวีเอสเอสที่เพิ่มขึ้นต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียที่หายไปโดยจุลชีพกลุ่มออโตโทรฟ

2.3.3 สมการปริมาณสัมพันธ์ของดีไนทริไฟเออร์ (Denitrifier)

ในการสังเคราะห์เซลล์ ($C_5H_7O_2N$) ของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนทริไฟเออร์แบบใช้ออกซิเจนจะใช้น้ำเสียชุมชน ($C_{10}H_{19}O_3N$) เป็นตัวให้อิเล็กตรอนและใช้ในเครทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และได้สมการปริมาณสัมพันธ์ของดีไนทริไฟเออร์เป็นดังนี้ โดยที่ใช้ค่าyield เท่ากับ $0.67 \text{ g-CellCOD/g-SubstrateCOD}$ ซึ่งจะได้ค่า f_c เท่ากับ 0.33 และ f_s เท่ากับ 0.67



จากสมการข้างต้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของสารตั้งต้น ($C_{10}H_{19}O_3N$) และไนเตรทที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ ($C_5H_7O_2N$) โดยพล็อตกราฟเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทที่ถูกใช้และปริมาณเซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นต่อความเข้มข้นน้ำเสียที่หายไป ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปริมาณไนเตรทที่ถูกใช้และเอ็มแอลวีเอสเอสที่เพิ่มขึ้นต่อความเข้มข้นของน้ำเสียที่หายไปโดยจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรป

2.4 การใช้แบบจำลอง AQUASIM 2.1b สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

2.4.1 ชนิดของตัวแปร

1. ตัวแปรปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric parameters) ได้แก่

1.1 ยิลด์ (Growth Yield) กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ; Y_H

1.2 ยิลด์กลุ่มออโตโทรฟ ; Y_A

2. ตัวแปรจลนพลศาสตร์ (Kinetic parameters) ได้แก่

2.1 การเติบโตจำเพาะสูงสุดและการสลายตัวของเฮเทอโรโทรฟ ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum Specific Growth Rate; μ_{mH}), ค่าคงที่การอิ่มตัว (Half-saturation Coefficient; K_{sH}) และค่าคงที่การสลายตัว (Decay Coefficient; b_H)

2.2 การเติบโตจำเพาะสูงสุดและการสลายตัวของออโตโทรฟ ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum Specific Growth Rate; μ_{mA}), ค่าคงที่การอิ่มตัว (Half-saturation Coefficient; K_{sA}) และค่าคงที่การสลายตัว (Decay Coefficient; b_A)

2.4.2 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบบำบัดน้ำเสีย

สมการอัตราสำหรับปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระบบแสดงในตารางที่ 2.6 ประกอบด้วยส่วนประกอบ (i) ทั้งหมด 13 ส่วน โดยตามขวางของตารางด้านบนจะเป็นสัญลักษณ์ส่วนชื่อเรียกสัญลักษณ์อยู่ด้านล่างของตาราง สูตรจลนพลศาสตร์หรือสมการอัตราของแต่ละกระบวนการ (j) อยู่ด้านขวามือสุดของคอลัมน์ ส่วนกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นภายในระบบอยู่ด้านซ้ายมือสุดของคอลัมน์ ซึ่งสัมประสิทธิ์ปริมาณสัมพันธ์ (v_{ij}) มีความสัมพันธ์กับกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบโดยเครื่องหมายบวกแสดงถึงการเจริญเติบโตส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงสารอาหารที่ถูกนำไปใช้ ซึ่งสมการอัตราเกิดจากการนำสัมประสิทธิ์ปริมาณสัมพันธ์คูณกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ ดังสมการ 2.1

$$r_{ij} = \sum_j v_{ij} p_j \quad (2.1)$$

โดยที่ i = ส่วนประกอบ

j = กระบวนการ

r_{ij} = ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบ

v_{ij} = สัมประสิทธิ์ปริมาณสัมพันธ์

p_j = กระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบ

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่ย่อยสลายได้เร็ว (S_s) ให้เลื่อนลูกศรด้านบนไปทางขวามือของตารางที่ $i = 2$ จากนั้นเลื่อนลูกศรลงด้านล่างของตารางจะพบว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบบำบัดได้แก่กระบวนการที่ $j=1$, $j=2$ และ $j=7$ โดยที่กระบวนการที่ $j=1$ นั้นเป็นการเจริญเติบโตของจุลชีพชนิดเฮเทอโรโทรปแบบแอโรบิก ส่วนที่กระบวนการที่ $j=2$ นั้นเป็นการเจริญเติบโตของจุลชีพชนิดเฮเทอโรโทรปแบบแอน็อกซิก ซึ่งจะเลือกใช้กระบวนการไหนนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียว่าเป็นแบบสภาวะใด ถ้าเป็นแบบแอโรบิกให้เลือกที่ $j=1$ แต่ถ้าเป็นแบบแอน็อกซิกก็เลือกที่ $j=2$ ซึ่งทั้งสองกระบวนการมีสัมประสิทธิ์ปริมาณสัมพันธ์เหมือนกัน คือ $(-1/Y_H)$ สำหรับอีกกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ กระบวนการที่ $j=7$ ซึ่งเป็นไฮโดรไลซิสมีสัมประสิทธิ์ปริมาณสัมพันธ์เป็น $(+1)$ โดยสมการที่ได้สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบแอโรบิกและแอน็อกซิกของเฮเทอโรโทรปแสดงดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ แต่ถ้าต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพ (X_B) ก็ใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยสมการที่ได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพแสดงสมการที่ 2.4 ถึง 2.6 ตามลำดับ

- สมการสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบแอโรบิกของเฮเทอโรโทรป คือ

$$r_{21} = -\left(\frac{1}{Y}\right) \mu_{mH} \left(\frac{S_s}{K_s + S_s}\right) \left(\frac{S_o}{K_{o,H} + S_o}\right) X_{BH} + K_b \frac{X_s / X_{B,H}}{K_x + (X_s / X_{B,H})} \left[\left(\frac{S_o}{K_{o,H} + S_o}\right) + \eta_h \left(\frac{K_{o,H}}{K_{o,H} + S_o}\right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \right] X_{BH} \quad (2.2)$$

- สมการสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบแอน็อกซิกของเฮเทอโรโทรป คือ

$$r_{22} = -\left(\frac{1}{Y}\right) \mu_{mH} \left(\frac{S_s}{K_s + S_s}\right) \left(\frac{K_{o,H}}{K_{o,H} + S_o}\right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \eta_e X_{BH} + K_b \frac{X_s / X_{B,H}}{K_x + (X_s / X_{B,H})} \left[\left(\frac{S_o}{K_{o,H} + S_o}\right) + \eta_h \left(\frac{K_{o,H}}{K_{o,H} + S_o}\right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \right] X_{BH} \quad (2.3)$$

- สมการสำหรับการเติบโตแบบแอโรบิกของเฮเทอโรโทรป คือ

$$r_{51} = \mu_{mH} \left(\frac{S_s}{K_s + S_s}\right) \left(\frac{S_o}{K_{o,H} + S_o}\right) X_{BH} - b_H X_{BH} \quad (2.4)$$

- สมการสำหรับการเติบโตแบบแอนีออกซิกของเฮเทอโรโทรป คือ

$$r_{52} = \mu_{mH} \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_b X_{BH} - b_H X_{BH} \quad (2.5)$$

- สมการสำหรับการเติบโตแบบแอโรบิกของออโตโทรป คือ

$$r_{63} = \mu_{mA} \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{BA} - b_A X_{BA} \quad (2.6)$$

จากสมการ 2.4 และ 2.6 เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลชีพเป็นแบบแอโรบิกดังนั้นจุลชีพต้องการออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและใช้น้ำเสียเป็นสารอาหาร (ตัวให้อิเล็กตรอน) ในกรณีที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนมากกว่า K_{OH} และ K_{OA} มากๆ (ในที่นี้ K_{OH} มีค่าเท่ากับ 0.2 g COD m^{-3} และ K_{OA} มีค่าเท่ากับ 0.4 g COD m^{-3}) ทำให้พจน์ $\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right)$ และ $\left(\frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right)$ กลายเป็น 1 สมการที่ได้จะลดรูปเป็นสมการที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

$$r_{51} = \mu_{mH} \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) X_{BH} - b_H X_{BH} \quad (2.7)$$

$$r_{63} = \mu_{mA} \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) X_{BA} - b_A X_{BA} \quad (2.8)$$

ตารางที่ 2.7 ค่าตัวแปรในแบบจำลองที่ pH เป็นกลางที่ 20°C

IAWQ model parameters	symbol	unit	Value
Stoichiometric parameters			
Heterotrophic yield	Y_H	g Cell COD formed (g COD oxidede) ⁻¹	0.67
Autotrophic yield	Y_A	g Cell COD formed (g N oxidede) ⁻¹	0.24
Fraction of biomass yielding particulate products	f_P	dimensionless	0.08
Mass N / mass COD in biomass	i_{XB}	g N (g COD) ⁻¹ in biomass	0.086
Mass N / mass COD in products from biomass	i_{XP}	g N (g COD) ⁻¹ in endogenous mass	0.06
Kinetic parameters			
Heterotrophic max. specific growth rate	μ_{mH}	day ⁻¹	6.0
Heterotrophic decay rate	b_H	day ⁻¹	0.62
Half-saturation coefficient (hsc) for heterotrops	K_S	g COD m ⁻³	20
Oxygen hsc for heterotrops	K_{OH}	g COD m ⁻³	0.20
Nitrate hsc for denitrifying heterotrops	K_{NO}	g NO ₃ -N m ⁻³	0.50
Autotrophic max. specific growth rate	μ_{mA}	day ⁻¹	0.80
Autotrophic decay rate	b_A	day ⁻¹	0.20
Oxygen hsc for autotrops	K_{OA}	g O ₂ m ⁻³	0.40
Ammonia hsc for autotrops	K_{NH}	gNH ₃ -N m ⁻³	1.0
Correction factor for anoxic growth of heterotrops	η_g	dimensionless	0.80
Ammonification rate	k_a	m ³ (g COD day) ⁻¹	0.08
Max. specific hydrolysis rate	k_h	g slowly biodeg.COD (g cellCOD day) ⁻¹	3.0

ตารางที่ 2.7(ต่อ) ค่าตัวแปรในแบบจำลองที่ pH เป็นกลางที่ 20°C

IAWQ model parameters	symbol	unit	Value
Kinetic parameters			
Hsc for hydrolysis of slowly biodeg. substrate	K_x	g slowly biodeg.COD (g cellCOD) ⁻¹	0.03
Correction factor for anoxic hydrolysis	η_h	dimensionless	0.40

หมายเหตุ hsc : half-saturation coefficient

ที่มา : International Association on Water Quality, (1999)

2.4.3 สมการที่ใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

1. อายุสลัดจ์

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_R + Q_c X_c}$$

- โดยที่
- V = ความจุของถังเติมอากาศ (m³)
 - θ_c = อายุสลัดจ์ (d)
 - Q_w = อัตราการทิ้งสลัดจ์จากถังตกตะกอน (m³/d)
 - Q_c = อัตราการไหลของน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนชั้นที่สอง (m³/d)
 - X = ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศ (mg/l)
 - X_R = ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เวียนกลับ (mg/l)
 - X_c = ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่หลุดไปกับน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนชั้นที่สอง (mg/l)

2. อัตราการสูบสลัดจ์เวียนกลับ

การเวียนสลัดจ์กลับจากถังตกตะกอนมายังถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณจุลชีพในถังเติมอากาศให้คงที่ สมดุลมวลในถังเติมอากาศ คือ

$$\text{สะสม} = \text{เข้า} - \text{ออก}$$

$$0 = X_R Q_R - X(Q + Q_R)$$

โดยที่ X = น้ำสลัดจ์ในถังเติมอากาศ (mg/l)

Q = อัตราการไหลเข้าถังตกตะกอน (m^3/s)

Q_R = อัตราการไหลของสลัดจ์ที่เวียนกลับ (m^3/s)

X_R = ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เวียนกลับ (mg/l)

ดังนั้นสมการอัตราการสูบสลัดจ์กลับ ($Q_R/Q = R$)

$$R = \frac{X}{X_R - X}$$

โดยที่ R = อัตราส่วนของการสูบสลัดจ์กลับต่ออัตราส่วนการสูบน้ำเสียเข้า
(Metcalf and Eddy, 2003)

2.5 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

Nakhla และคณะ (2006) ทำการศึกษาสมการจลนพลศาสตร์ของระบบแบบแอิกทีเวเต็ดสตัคจ์ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นถึง 21,500 mg/l และมีความเข้มข้นซีไอดีและบีไอดีที่เข้าเท่ากับ 75,000 และ 60,000 mg/l ตามลำดับ โดยใช้ จุลชีพพันธุ์บริสุทธิ์ ในการวิจัยได้ทำการศึกษาจากสมการของ Monod, Haldane และ Modified Monod ตัวแปรจลนพลศาสตร์ที่ใช้ในสมการ Monod ได้แก่ k , K_s , Y และ K_H ส่วนตัวแปรจลนพลศาสตร์ที่ใช้ในสมการของ Haldane ได้แก่ k , K_s , Y และ K_1 จากการทดลองพบว่าค่าจลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารตั้งต้นหรือสารอาหารที่หาได้จากสมการของ Haldane นั้นเหมาะสมกับข้อมูลของสารอาหาร และจุลชีพมากกว่าสมการของ Monod โดยค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของ Haldane มีค่า k , K_s , Y และ K_1 เท่ากับ $1.28-5.35 \text{ d}^{-1}$, $17,833-23,477 \text{ mg/l}$, $0.13-0.41 \text{ mgVSS/mgCOD}$ และ $48,168 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเป็นอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่ช้า ดังนั้นน้ำมันและไขมันที่มีอยู่ในน้ำเสียนี้อาจทำให้ทำให้อัตราการย่อยสลายของจุลชีพลดลง 57-70 %

Lucas และคณะ (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าจลนพลศาสตร์ของสารอาหารที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียโดยใช้จุลชีพพันธุ์ผสม มีเพียงสารอินทรีย์ในน้ำเสียอุตสาหกรรมบางส่วนเท่านั้นที่สามารถสะสมตัวภายในเซลล์ในสถานะแอนแอโรบิกได้ ซึ่งสารอินทรีย์ที่สามารถสะสมอยู่ภายในเซลล์นั้นจะเป็นสารอาหารที่อยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปมันฝรั่งและเนยนม โดยใช้วิธีการทดลองหาการย่อยสลายทางชีวภาพของพีเอชเอ (Poly-hydroxyalkanoate; PHA) และไกลโคเจน (Glycogen; GLY) ซึ่งเป็นแหล่งสะสมของจีเอโอ (Glycogen accumulating Organism; GAO) โดยใช้การวัดอัตราการหายใจ ซึ่งค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้แต่ละโพลีเมอร์สำรอง จะไม่ขึ้นกับสารอาหารที่ถูกเก็บอยู่ในเซลล์เนื่องจากจุลชีพที่ใช้เป็นจุลชีพชนิดเดียวกัน ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองมีค่าคงที่อิ่มตัว (half-saturation coefficient; K_s) เท่ากับ 16 mgCOD^{-1} และสัมประสิทธิ์สำหรับการหายใจที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (endogenous respiration; b) มีค่า 0.008 h^{-1} ตามลำดับ สำหรับอัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพและค่ายึดซับขึ้นอยู่กับสารอาหารที่ถูกสะสมในสถานะแอนแอโรบิก

Carta-Escobar และคณะ (2004) ทำการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการกำจัดสารอินทรีย์ โดยใช้สมการชีวจลนพลศาสตร์ของ Michaelis-Menten และ Chen-Hashimoto ในการหาอัตราการเติบโตของจุลชีพ, เวลาพักเซลล์เฉลี่ย (mean cell residence time), ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ออกจากระบบ, บิลด์ปรากฏ และค่าคงที่อัตราการสลายตัว ระบบที่ใช้ในการทดลองมี 2 ระบบ ดังนี้ ระบบแรกทำการทดลองในสภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงๆที่ 0.741 ถึง 1.337 kgCOD/m³ ปริมาตรของถังเท่ากับ 80 ลิตร และระยะเวลาที่จุลชีพอยู่ในระบบบำบัด (θ_c) เท่ากับ 2.7 ถึง 5.3 วัน ส่วนระบบที่สองการทดลองเป็นถึงปฏิกรณ์ต่อเนื่องสามถัง และทำการทดลองโดยใช้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ 0.237 ถึง 0.7 kgCOD/m³ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์แต่ละถังเท่ากับ 10, 20 และ 30 ลิตร รวมทั้งมีการเวียนน้ำตะกอนกลับและระบบมีการควบคุมอุณหภูมิ เวลาที่จุลชีพอยู่ในระบบบำบัด (θ_c) เท่ากับ 2.3 ถึง 2.4 วัน ผลที่ได้จากการทดลองในระบบแรกพบว่าค่าอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (q_s) ที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าอัตราการใช้สารอาหารไม่ขึ้นกับอัตราภาระปริมาณสารอินทรีย์ (Volumetric loading rate) ส่วนในระบบที่สองค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (growth yield coefficient : Y) มีค่าเท่ากับ 0.26 mgMLSS/mgCOD, อัตราคงที่การสลายตัว (decay constant rate; K_d) ประมาณ 0.032 d⁻¹ โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของจุลชีพภายในระบบสามารถหา ซึ่งอัตราการเติบโตสูงสุดที่ได้จากสมการของ Michaelis-Menten และ Chen-Hashimoto มีค่าเท่ากับ 0.440 และ 0.410 d⁻¹ ตามลำดับ

Tsuneda และคณะ (2002) ทำการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ชั้นฟลูอิดไดซ์ (fluidized bed) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ (BOD₅) และความเข้มข้นของจุลชีพ (mixed liquor volatile solids; MLVS) ที่ใช้ในแต่ละชั้นมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยชั้นแรกจะเป็นสารอินทรีย์และจุลชีพที่มีความเข้มข้นต่ำ คือ 200 ถึง 400 mg/l D-BOD₅ และ 1,000 mg/l ตามลำดับ ส่วนชั้นที่สองความเข้มข้นของสารอินทรีย์ปานกลางและจุลชีพที่มีความเข้มข้นต่ำ คือ 800 ถึง 1,000 mg/l D-BOD₅ และ 1,000 mg/l ตามลำดับ และชั้นสุดท้าย ชั้นที่สามจะเป็นสารอินทรีย์และจุลชีพที่มีความเข้มข้นสูง คือ 2,000 mg/l D-BOD₅ และ 6,000 mg/l ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการเดินระบบพบว่าในชั้นแรกมีสารอินทรีย์ต่ำมากทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพ ส่วนชั้นที่สองนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์เพียงพอทำให้สามารถเห็นการเจริญเติบโตของจุลชีพ และปริมาณสารอินทรีย์มีปริมาณลดลง และชั้นสุดท้ายพบว่าจุลชีพไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าจลนพลศาสตร์ที่หาจึงหาเฉพาะชั้นที่สอง โดยใช้สมการของโมนอด์ ซึ่งค่าที่ได้มีค่า μ_{max}/Y เท่ากับ 0.23 1/h และ K_s มีค่าเท่ากับ 898 mg/l

Muller และคณะ (2003) ทำการศึกษาค่าบิลด์ของเฮเทอโรโทรปที่สภาวะแอน็อกซิกและแอโรบิกในระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ตามหลักการทางทฤษฎีและตามการทดลองของน้ำเสียดังเคราะห์และน้ำเสียชุมชนค่าบิลด์ของเฮเทอโรโทรปที่สภาวะแอน็อกซิกควรจะน้อยกว่าค่าบิลด์ในสภาวะแอโรบิกประมาณ 78-85 % จากการทดลองค่าบิลด์ที่สภาวะแอโรบิกที่หาได้มีค่าเท่ากับ 0.67 mg-CellCOD/mg-SubstrateCOD ซึ่งมีค่าเท่ากับใน ASM1 ส่วนค่าบิลด์ที่สภาวะแอน็อกซิกที่หาได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.53 mg-CellCOD/mg-SubstrateCOD ซึ่งเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีว่าบิลด์ในสภาวะแอน็อกซิกควรจะน้อยกว่าในสภาวะแอโรบิก บิลด์ที่ลดลงในสภาวะแอน็อกซิกโดยส่วนใหญ่จะมีผลกระทบต่อการผลิตสลัดจ์น้อยมากเนื่องจากในระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา (conventional activated sludge) กำจัดไนโตรเจนมากที่สุด มวลของสลัดจ์ที่เกิดในสภาวะแอน็อกซิกมีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะแอโรบิก

Nuhoglu และคณะ (2004) ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์สำหรับโรงบำบัดน้ำเสียของเมือง Erzincan ซึ่งตั้งอยู่ในประเทศตุรกีซึ่งมีประชากรสมมูล 124,000 คน โดยใช้แบบจำลองแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (ASM 1) ในการกำจัดคาร์บอนที่เกิดขึ้นพร้อมกับกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งประกอบไปด้วยตั้งแต่มีอากาศสามถึง ถึงตกตะกอนสองถึงและถึงห้าชั้นหนึ่งถึง ชั้นแรกของการศึกษาเป็นข้อมูลเกี่ยวกับน้ำเสีย เช่น สารอาหารที่ย่อยสลายได้เร็วทางชีวภาพ (S_s) และสารอาหารที่ย่อยสลายได้ช้าทางชีวภาพ (X_s) ซึ่งวิเคราะห์เกี่ยวกับการหายใจโดยใช้โปรแกรม GPS-X ค่าของตัวแปรที่ถูกใส่เข้าไปในแบบจำลองนี้ ได้แก่ COD ละลายทั้งหมด, ไนโตรเจนทั้งหมด, ของแข็งแขวนลอย, NO_3^- N, NH_4^- N, อินทรีย์ไนโตรเจน, สารอาหารละลายที่ย่อยไม่ได้ (S_i) และ X_s ในการปรับแบบจำลองเพื่อหาค่าตัวแปร 4 ตัว ได้แก่ $\mu_{max H}$, $\mu_{max A}$, K_{NH} และ K_s ซึ่งมีค่า $5.5 d^{-1}$, $35 gCOD/m^3$, $0.19 d^{-1}$ และ $2.5 gNm^{-3}$ ตามลำดับ

Hu และคณะ (2003) ทำการศึกษาการแบบจำลองเพื่อจะทำนายการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียที่มีสีขุ่นและตรวจวัดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีขุ่น ซึ่งผลที่ได้คือ การกำจัดซีโอไซด์ลดลงพร้อมกับภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเป็น 1,500 mg C/l แสดงว่าจะมีภาระสารอินทรีย์จำกัดเกือบ 2,400 mg/l ของซีโอไซด์หรือ 900 mg C/l เนื่องจากการกำจัดซีโอไซด์เพิ่มขึ้น ตาม HRT ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าถ้าเพิ่มเวลาในการกักน้ำ (Hydraulic retention time; HRT) เพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่จะทำการลดปริมาณภาระสารอินทรีย์ลงเพราะเกี่ยวข้องกับ co-metabolism ซึ่งจากการทดลองชีวมวลไม่ทำให้อัตราส่วน C/N เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิมีผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (microbial activity) และกระบวนการทั้งหมดของการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $20^{\circ}C - 30^{\circ}C$ เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง $40^{\circ}C - 50^{\circ}C$ ปริมาณซีโอไซด์ในกระแสออกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Hanaki และคณะ (1990) ทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรป ทำการทดลองโดยการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของแอมโมเนีย 80 mg/l และกลูโคสที่ความเข้มข้นแตกต่างกันดังนี้ 160, 500 และ 1000 mg/l (as COD) เข้าไปในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีการกวนสมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 25 °C จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้นจุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรปจะสามารถเติบโตได้มากขึ้นส่งผลให้ไปยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งค่าจลนพลศาสตร์ที่หาได้จากการทดลองของแอมโมเนียที่ความเข้มข้นของกลูโคสดำได้ค่า μ_m เท่ากับ 0.66 d⁻¹ และ K_s เท่ากับ 1 mg/l และค่าจลนพลศาสตร์ของไนไตรท์ได้ค่า μ_m เท่ากับ 0.58 d⁻¹ และ K_s เท่ากับ 0.35 mg/l แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสสูงถึง 1000 mg/l (as COD) ค่า K_s ของแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 7.2 mg/l ในขณะที่ค่า μ_m ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนไนไตรท์ไม่มีผลกระทบโดยตรง

Kayombo และคณะ (2003) ทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรปและสาหร่ายในบ่อแฟคัลเททีฟขั้นที่สอง (Secondary Facultative Ponds; STP₂) โดยใช้น้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้น 200 และ 800 mg.COD/l เป็นแหล่งคาร์บอนโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20°C และ pH มีค่าเท่ากับ 7 จากการทดลองพบว่าจุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรปสามารถเติบโตได้โดยใช้สารอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ค่าจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรปที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้ μ_m เท่ากับ 3.8 d⁻¹ และ K_s เท่ากับ 200 mg.COD/l จากการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เกิดขึ้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบ ในการทดลองนี้ได้ค่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นดังนี้ μ_m เท่ากับ 2.7 d⁻¹ และ K_s เท่ากับ 110 mg.COD/l