บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 การดำเนินการ

การทดลองครั้งนี้ กระทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองทั้งหมด 6 การทดลอง ซึ่งจะมีแผนการศึกษาตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการศึกษา

ตัวแปร / การทดลองที่	ความเร็วไหลขึ้นของน้ำ (เมตร/ชั่วโมง)					
	20		25		30	
	1	2	3	4	5	6
COD น้ำเสียเข้า, มก./ล.	300	500	300	500	300	500
ความสูงของเบดนิ่ง , ซม.	100	100	100	100	100	100
ระยะเวลากักเก็บน้ำ, นาที	8.55	8.55	6.84	6.84	5.70	5.70

พารามิเตอร์ที่ถูกควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน คือ

1) ค่าพีเอช (pH) มีค่าระหว่าง 6.5 - 8.0

2) ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve Oxygen, DO.) ในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดให้มีค่าไม่น้อยกว่า 1-2 มก./ล.

3) ควบคุมอัตราส่วนของสารอาหารให้มีค่า COD : N : P เท่ากับ 150:5:1 ในน้ำเสียเข้า

การหาประสิทธิภาพของการทดลอง กระทำโดยการเก็บข้อมูลน้ำเสียเข้าและน้ำที่ออกจากระบบ นำไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติที่เกี่ยวข้องทั้งทางเคมี และกายภาพ เพื่อเปรียบเทียบดูที่ความแตกต่างของความเร็วไหลขึ้น 3 ค่า และความเข้มข้นของปริมาณสารอาหารอินทรีย์ (COD) 2 ค่า ตามที่ได้กำหนดไว้ โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 28 ตุลาคม 2534 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เวลารวมทั้งสิ้นประมาณ 6 เดือน

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีน้ำตาลทราย (Sucrose) และผงชูรส (Monosodium Glutamate) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลักของสารอาหารคาร์บอนที่ให้พลังงานในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ในที่นี้พิจารณาในรูปของค่า COD ส่วน ค่าไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) นั้น จะใช้ในรูปของสารประกอบ แอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2 SO_4$ และโปรตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ COD : N : P ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้ต้องควบคุมให้มีค่า 150 : 5 : 1 เท่ากันตลอดทุกการทดลอง โดยได้เติมสารอาหารเสริมเช่น โซเดียม (Na) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) และอื่น ๆ อีกมาก ตามที่ได้แสดงส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ในตารางที่ 3.2

การปรับค่าความเป็นกรด - ด่างหรือค่าพีเอช (pH) น้ำเสียสังเคราะห์ จะใช้สารละลายของกรดซัลฟูริค (H_2SO_4) ในการปรับพีเอชให้ต่ำลง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการปรับพีเอชให้สูงขึ้น เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้ประมาณ 6.5-7.5

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า COD ประมาณ 1,000 มก./ล. โดยใช้น้ำประปา

แร่ธาตุ	ส่วนประกอบ	ปริมาณ , มก./ล.
คาร์บอน	น้ำตาลทราย (Sucrose)	550
	ผงชูรส (Monosodium Glutamate)	370
	Peptone	0.50
	Yeast extract	0.50
ไนโตรเจน	$(NH_4)_2 SO_4$	158
ฟอสฟอรัส	KH_2PO_4	30
Trace element	$MgSO_4 . 7H_2O$	50
	$CaCl_2 . 2H_2O$	20
	NaCl	15
	$FeCl_3 . 6H_2O$	0.50

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบฟลูอิดไดซ์เบด แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ดังมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 ถังพักน้ำเสีย (Feed Tank)

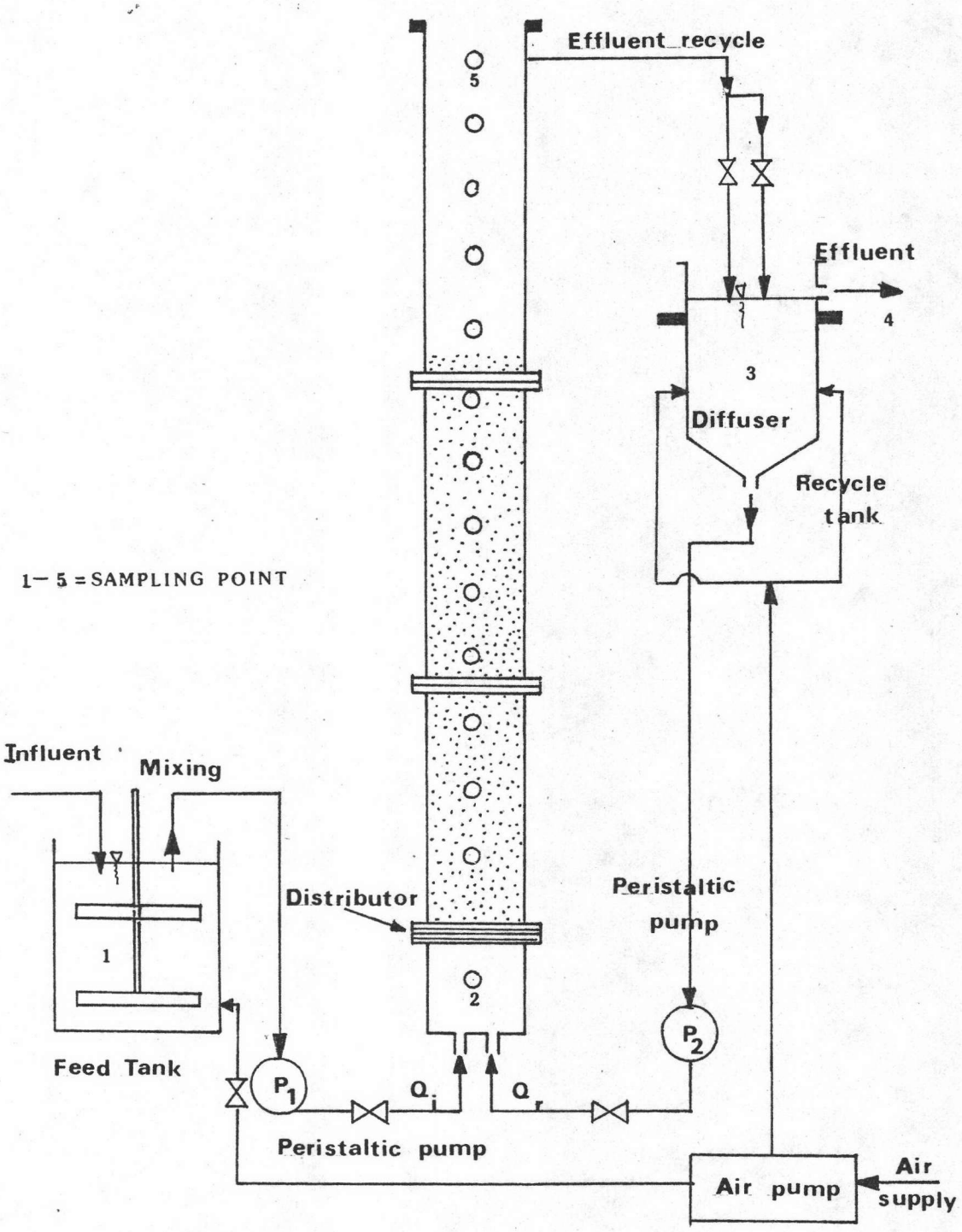
ถังพักน้ำเสียเป็นถังพลาสติกโพลีแอตทิลลีน (Polyethylene) มีความจุประมาณ 500 ลิตร เป็นถังฝาเปิดและมีอุปกรณ์กวนผสมน้ำเสียภายในถังพักน้ำเสีย โดยติดตั้งมอเตอร์ขนาด 102 รอบ/นาที และใบพัดกวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซ็นติเมตร จำนวน 2 ใบ

3.3.2 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ (Feed Pump)

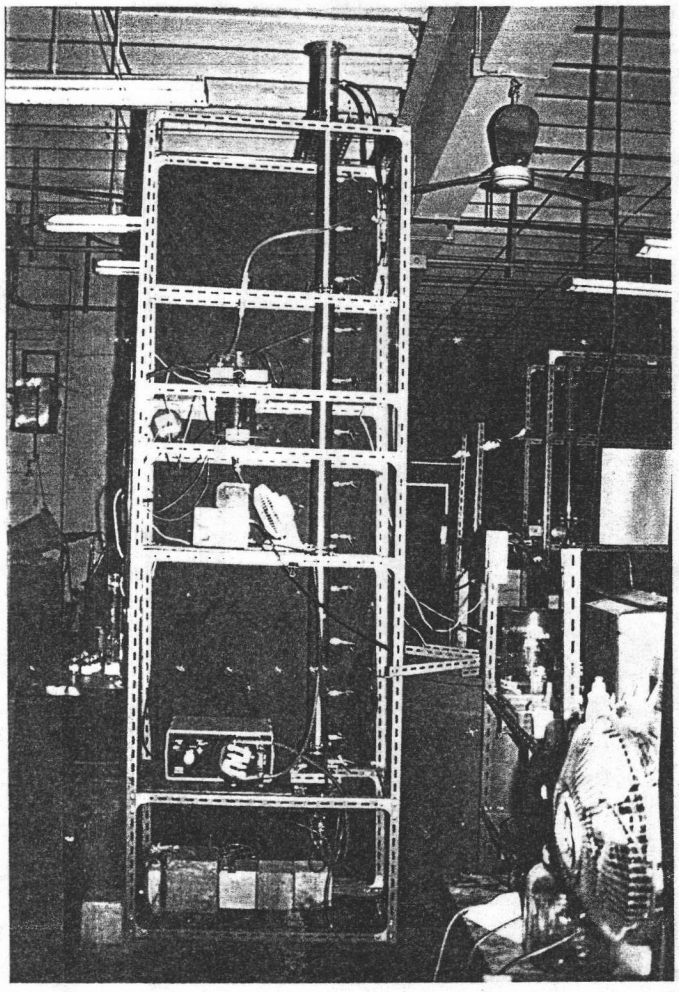
เครื่องสูบน้ำเสียที่ใช้ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ เป็นเครื่องสูบชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) Watson-Marlow Type 501 S 170 สามารถปรับอัตราการไหลได้ไม่น้อยกว่า 0.12 ลิตร/นาที โดยเปิดทำงานตลอดเวลา ยกเว้นขณะทำความสะอาดอุปกรณ์และเปลี่ยนสายยางซิลิโคลน

3.3.3 ถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Reactor)

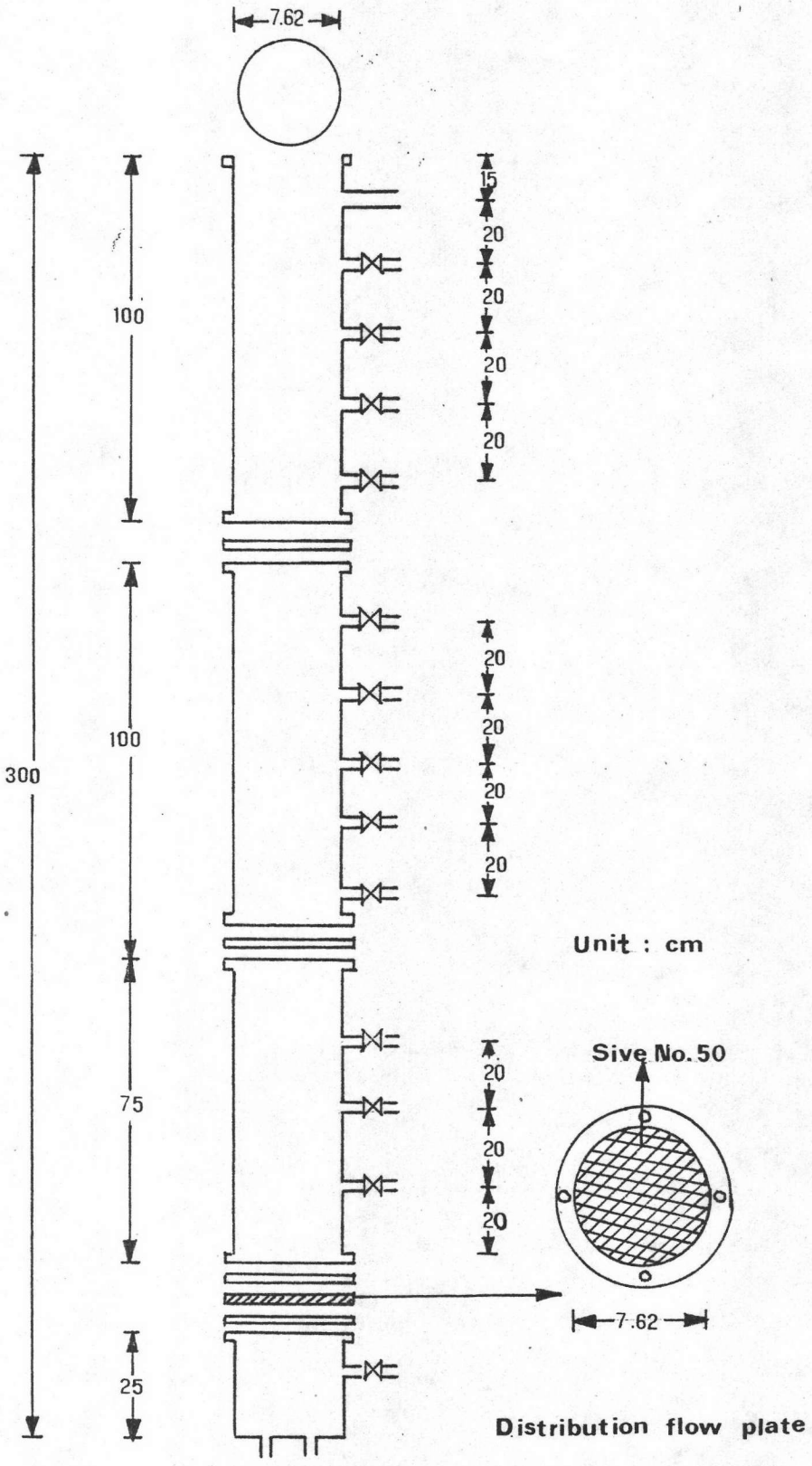
ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ถังปฏิกรณ์ใสทำด้วยอะคริลิค (Acrylic) เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ความสูงทั้งหมด 3.00 เมตร ตลอดแนวความสูงของถังปฏิกรณ์จะเจาะเป็นช่องสำหรับเก็บตัวอย่าง โดยมีระยะห่างแต่ละช่อง 20 ซม. เหนือแผ่นกระจายของไหล (Distribution Flow Plate) และแผ่นกระจายของไหลนี้จะทำด้วยตะแกรงแสตนเลสเบอร์ 50 ซึ่งมีขนาดของรูประมาณ 300 ไมโครเมตร เพื่อรองรับตัวกลางทราย ดังแสดงรายละเอียดของถังปฏิกรณ์นี้ตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 แสดง SCHEMATIC DIAGRAM OF EXPERIMENTAL APPARATUS



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือของแบบจำลองระบบฟลูอิดไดซ์เบด



รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด

3.3.4 ถังหมุนเวียนน้ำกลับ (Recycle Tank)

ถังหมุนเวียนน้ำกลับทำด้วยพลาสติก PVC ใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ส่วนสูงทรงกระบอก 30 ซม. และส่วนสูงของกรวยประมาณ 7.50 ซม. มีช่องน้ำออกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.30 ซม. ที่ระดับห่างจากขอบบน 5 ซม. มีความจุประมาณ 4.60 ลิตร

3.3.5 เครื่องสูบเวียนน้ำกลับ (Recycle Pump)

เครื่องสูบเวียนน้ำกลับทำหน้าที่สูบน้ำออกจากบริเวณก้นถังหมุนเวียนน้ำกลับกลับไปที่ถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด เป็นเครื่องสูบชนิดรีดสาย Watson-Marlow Type 604 U/R Maximum Speed 165 รอบ/นาที สามารถปรับอัตราการไหลได้ไม่น้อยกว่า 1.40 ลิตร/นาที โดยเปิดทำงานตลอดเวลา

3.3.6 ถังรองรับน้ำทิ้งจากถังหมุนเวียนน้ำกลับ

ถังรองรับน้ำทิ้งเป็นถังพลาสติกขนาดความจุประมาณ 30 ลิตร

3.3.7 เครื่องเป่าอากาศ (Air pump)

เครื่องเป่าอากาศที่ใช้ในนี้เป็นเครื่องที่ใช้กับตู้ปลาแบบ President EK - 8000 ซึ่งเป็นชนิดที่ปรับได้ 3 ระดับ คือ สูง ปานกลาง และต่ำ จำนวน 3 เครื่อง มีความสามารถในการจ่ายลมได้ประมาณ 3.50 - 4.50 ลิตร/นาที และใช้หัวทรายรูปร่างทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม. เป็นตัว diffuser ในการทำให้ฟองอากาศที่ออกมามีขนาดเล็ก

3.4 <u>ตัวกลางทราย</u> (Sand Media)

วัสดุตัวกลางที่ใช้ คือ ทรายละเอียดที่มีรูปร่างทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือขนาดสัมฤทธิ์ (Effective Size ; E.S.) ประมาณ 0.48 - 0.60 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของทรายเท่ากับ 2.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

การคัดขนาดทรายจะใช้ตะแกรง เบอร์ 30 และเบอร์ 40 โดยนำทรายทั่วไปมาร่อนให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 40 และนำมาล้างด้วย 0.1 N H_2SO_4 ทิ้งไว้ 1 คืน จึงนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง ผึ่งแดดให้ทรายแห้ง แล้วจึงนำทรายนี้ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 C° เป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และสุดท้ายก็นำทรายมาร่อนซ้ำเช่นเดิมอีกครั้ง ก็จะได้ทรายขนาดตามที่กำหนดไว้สามารถนำไปใช้งานได้ทันที

3.5 การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (Minimum Velocity of Fluidized Bed ; U_{mf})

การทดลองสามารถทำได้โดยการทำตามขั้นตอนแต่ละขั้นตอนต่อไปนี้ คือ

3.5.1 หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นของน้ำที่ไหลผ่านถังปฏิกรณ์ที่ยังไม่บรรจุทราย และความดันลด ($\Delta P_{3.5.1}$)

3.5.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นของน้ำที่ไหลผ่านถังปฏิกรณ์ที่บรรจุทราย มีความสูงของเบดนิ่งเท่ากับ 100 ซม. และความดันลด ($\Delta P_{3.5.2}$)

การวัดค่าความดันลดจะใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) ที่บรรจุด้วยปรอท

จาก 3.5.1 และ 3.5.2 ก็จะทราบความดันลดของการไหลของน้ำผ่านทรายอย่างเดียว (ΔP_{bed}) โดยการคำนวณดังนี้

$$\Delta P_{bed} = \Delta P_{3.5.2} - \Delta P_{3.5.1}$$

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นของน้ำ และ ΔP_{bed} บนกราฟสเกล Log-Log

3.6 ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าความเข้มข้น ซีโอดี (COD) เท่ากับ 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง และปรับให้มีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 150 : 5 : 1

2) ใส่ทรายที่สะอาดลงไปในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดให้มีความสูงของเบดนิ่ง (fixed bed) เท่ากับ 100 เซ็นติเมตร

3) การเพาะเลี้ยงเชื้อ (Seeding) ตัวอย่างของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ เช่น ตะกอนเข้มข้นจากระบบตะกอนเร่งหรือระบบลานกรองจุลินทรีย์ โดยนำมาใส่เข้าไปในถังเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แล้วจึงปล่อยให้ผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด (การใส่เชื้อจุลินทรีย์นี้ไม่จำเป็นถ้าภายในน้ำเสียมีเชื้อจุลินทรีย์อยู่แล้ว) ด้วยความเร็วไหลขึ้นของน้ำตามที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง โดยการเริ่มต้นจากน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นต่ำ ๆ ก่อนแล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้น พร้อมกับการให้ออกซิเจนโดยการเป่าอากาศให้กับน้ำเสีย การขยายตัวของเบดที่ทำให้เกิดช่องว่างของอนุภาคตัวกลางเป็นสิ่งที่ควรจะยกเว้นในตอนนี้ เพราะการขัดสีกันระหว่างอนุภาคกับอนุภาคและอนุภาคกับผนัง สามารถทำให้การเจริญเติบโตของชั้นมวลชีวะ (biolayer) เกิดขึ้นได้ช้า Chartib, B.et. al. (1977) กล่าวว่า ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดจะมีค่าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 13.8 เมตรต่อชั่วโมง สำหรับถังปฏิกรณ์รูปทรงกระบอกและใช้อนุภาคตัวกลางขนาด 0.6 - 1.00 มิลลิเมตร และใช้อัตราส่วนการเวียนกลับของน้ำเท่ากับ 12:1 หรือต่ำกว่า พีเอชต้องควบคุมให้เหมาะสม (6.5-8.0) และปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำจะต้องควบคุมให้ดีเพื่อรักษาสภาวะแบบใช้ออกซิเจน เวลาประมาณ 1/2 -1 สัปดาห์ก็จะเกิดมวลชีวะขึ้นปกคลุมอนุภาคตัวกลางอย่างบางๆ เป็นสีครีม (Cream Colored)

4) คอยปรับความเร็วไหลขึ้นของน้ำให้เท่ากับ 20, 25 หรือ 30 เมตรต่อชั่วโมง ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลองเพื่อทำให้เกิดการขยายตัวของเบดและปรับอัตราส่วนการเวียนกลับของน้ำจนถึงระดับที่ต้องการคือ 12:1 และควบคุมให้คงที่ตลอด น้ำเสียสังเคราะห์ในขั้นตอนนี้จะมีความเข้มข้นของ ซีโอดี (COD) คงที่ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง

ระยะเวลาประมาณ 3 - 4 สัปดาห์ระบบก็จะเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ด้วยข้อจำกัดของความเร็วไหลขึ้นของน้ำหนึ่ง ความหนาของชั้นมวลชีวะจะเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่

หนาแน่น สีของมวลชีวะที่ขึ้นปกคลุมอนุภาคตัวกลาง คือ สีเทาแกมเหลือง-น้ำตาล (Fawn-Brown Colored) ระบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีประสิทธิภาพดีในช่วงนี้ แต่ความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ยังไม่ถึงค่าที่คงตัวและจะถึงค่าที่ต้องการนี้ในระยะเวลาประมาณ 4-5 เดือน(Traverso, P.G. and Gecchi, F., 1989)

3.7 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

3.7.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์จะเก็บจากระบบ ตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) น้ำเสียสังเคราะห์จากถังพักน้ำเสีย
2) น้ำเสียที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด
3) น้ำเสียที่อยู่ในถังหมุนเวียนน้ำกลับ
4) น้ำทิ้งออกจากระบบ
5) น้ำเสียจากส่วนบนของถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด จะเก็บตามจุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวความสูงของถังปฏิกรณ์ สำหรับการวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี (COD) และออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแต่ละวันจะเก็บเป็นแบบตัวอย่างแยก ในการเก็บแต่ละครั้งจะเก็บให้เพียงพอที่จะทำการวิเคราะห์เท่านั้น และจะนำไปวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ทันที โดยแผนการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปร	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ				
	ถังพักน้ำเสีย	ถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด	ถังหมุนเวียนน้ำกลับ	น้ำออก	ส่วนบนของถังปฏิกรณ์
พีเอช (pH)	A	-	A	A	-
ออกซิเจนละลายน้ำ(DO)	-	A,C	A,C	-	A,C
ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	-	-	A	A	-
ซีโอดีทั้งหมด	B	-	B	B	-
ซีโอดีละลาย	B,C	C	B,C	B,C	C
ความเป็นด่างรวม	A	-	A	A	-
ตะกอนแขวนลอยระเหย (VSS)	-	A	-	-	-

หมายเหตุ A หมายถึงตัวแปรที่วิเคราะห์ทุกวัน

B หมายถึงตัวแปรที่วิเคราะห์วันเว้นวัน

C หมายถึงตัวแปรที่วิเคราะห์ทุกวันเป็นเวลา 7 วัน ติดต่อกันหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด

3.7.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1) ค่าพีเอช วิเคราะห์โดยเครื่องวัดพีเอช Beckman (pH meter 7020)

2) ค่า ซีโอดี (COD) หาทั้งปริมาณของ ซีโอดีทั้งหมด (Total-COD) และซีโอดีละลาย (Soluble - COD) วิเคราะห์โดยวิธี Closed Reflux Titrimetric Methods

3) ปริมาณของแข็ง จะหาในรูปของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และตะกอนแขวนลอยระเหย (VSS) วิเคราะห์โดยวิธี Glass fibre filter disks

4) สภาพความเป็นด่างรวม (Total alkalinity) วิเคราะห์โดยการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริคแบบใช้อินดิเคเตอร์

5) ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) วิเคราะห์โดยวิธี Azide Modification และใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ YSI MODEL 51 B OXYGEN METER

ข้อ 1) , 2) , 3) , 4) และ 5) วิเคราะห์ตามวิธี Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ของ APHA, AWWA และ WPCF