บทที่ 3

แผนงาน และการดำเนินงานวิจัย

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิว และประสิทธิภาพในการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ เป็นสารดูดติดผิว ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ

2. ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ โดยทำการทดลองแบบแบทช์ (Batch) ทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช แล้วพิจารณาความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมของสารดูดติดผิว

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวที่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม ทำการทดลองโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดติดผิว

สารดูดติดผิวที่ผ่านการคัดขนาด และทำความสะอาด แล้วจะนำไปวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ พื้นที่ผิว (Surface Area), ปริมาตรโพรง (Pore Volumn), ความหนาแน่น(Density), ขนาดประสิทธิผล (Effective Size) และ สัมประสิทธิ์ความคงตัว (Uniformity Coefficient) โดยแสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว

ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ	ถ่านกัมมันต์	ถ่านไม้	ถ่านแกลบ
Surface Area ($m^2/g.$)	A	A	A
Pore Volumn (ml./g.)	A	A	A
Density ($kg./m^3$)	A	A	A
Effective Size (mm.)	B	B	B
Uniform Coefficient	B	B	B

A วิเคราะห์โดยเครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) โดยการวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยสารดูดติดผิว

B วิเคราะห์ด้วยวิธีร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตราฐาน โดยนำสารดูดติดผิวน้ำหนัก 100 กรัม ร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตราฐานเบอร์ 4, 8, 16, 20, 30, 40, 50, 80, 100 และ 200 แล้ววัดน้ำหนักสารดูดติดผิวที่ค้างอยู่บนตะแกรง นำค่าที่ได้มาพล็อทลงในกราฟ Log - Probability

3.1.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

ทำการทดลองแบบแบทช์โดยใส่น้ำเสีย 100 มล.ในภาชนะมีฝาปิด และใส่สารดูดติดผิวโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณ 13 ค่าในภาชนะ 13 ใบ แล้วปิดฝาใส่ในเครื่องเขย่า (Shaker) ทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เข้าจุดสมดุล จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μm เพื่อแยกคาร์บอนออกแล้วนำไปวิเคราะห์ โดยการทดลองมีพารามิเตอร์ดังนี้

1. สารดูดติดผิว ใช้ถ่านกัมมันต์ Filtrascrb300 ถ่านไม้ และถ่านแกลบ ขนาดร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 และอบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 150^0ซ แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desicator)

2. ปริมาณสารดูดติดผิว โดยเปลี่ยนแปลง 13 ค่า คือ 0, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 และ 5 กรัมของที่อบ Ho, Boyle และ Ham (1974) แนะนำว่าการทดสอบแบบแบทช์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 400 (325 mesh) ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยพบว่าจำเป็นต้องใช้ปริมาณคาร์บอนอย่างน้อย 4,000 มก./ล. เพื่อให้ผลในการกำจัด COD ดีที่สุด

3. ความเข้มข้นของน้ำเสียโดยมีสารอินทรีย์เริ่มต้นวัดในรูปซีโอดี 4 ค่า คือ 250, 500, 750 และ 1,000 มก./ล.

4. พีเอช ทำการควบคุมพีเอชไว้ที่ประมาณ 8.5

5. อุณหภูมิ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องการทดสอบไอโซเทอมแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด แสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 แผนการทดลองทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว

การทดลอง	สารดูดติดผิว	ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)
1	ถ่านกัมมันต์	250
	ถ่านกัมมันต์	500
	ถ่านกัมมันต์	750
	ถ่านกัมมันต์	1,000
2	ถ่านไม้	250
	ถ่านไม้	500
	ถ่านไม้	750
	ถ่านไม้	1,000
3	ถ่านแกลบ	250
	ถ่านแกลบ	500
	ถ่านแกลบ	750
	ถ่านแกลบ	1,000

3.1.3 ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

ทำการทดลองโดยการป้อนน้ำเสียเข้าในถังดูดติดผิวแบบแท่งอย่างต่อเนื่องแบบไหลลง โดยพารามิเตอร์ในการทดลองมีดังนี้

1. สารดูดติดผิว ใช้ถ่านที่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมขนาดร่อนผ่านตะแกรงมาตราฐานเบอร์ 12 และค้างบนตะแกรงมาตราฐานเบอร์ 40 จะได้ขนาดสารดูดติดผิวอยู่ในช่วงระหว่าง 0.42-1.68 มม. จากนั้นทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 ^{o}ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น

2. ความสูงชั้นสารดูดติดผิว โดยเปลี่ยนแปลง 4 ค่าคือ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 เมตร

3. ความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้น โดยวัดในรูปซีโอดี 5 ค่า คือ 250, 500, 750, 1,000 มก./ล. และ ความเข้มข้นของน้ำเสียจริง

4. อัตราภาระบรรทุกทางน้ำที่เข้าระบบโดยเปลี่ยนแปลง 4 ค่า คือ 0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2 ม^3/ม^2-ชม.

5. พีเอช ทำการควบคุมพีเอชไว้อยู่ในช่วง 7-9 Wang, Leonard, Wang และ Goupil (1975) กล่าวว่า การปรับเปลี่ยนพีเอชในสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีประจุมีอิทธิพลเล็กน้อย หรือไม่มีอิทธิพลเลยในการดูดติดผิวของคาร์บอน เนื่องจากธรรมชาติทางเคมีของสารถูกดูดติดผิวไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีสภาพเป็นกรด หรือเบส

6. อุณหภูมิ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

เนื่องจากมีพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงหลายค่า ดังนั้นแต่ละสารดูดติดผิวที่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมแบ่งเป็น 5 การทดลอง แสดงดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 แผนการทดลองประสิทธิภาพการดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

การทดลอง	ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	อัตราภาระบรรทุกทางน้ำ (ม^3/ม^2-ชม.)
1	250	0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2
2	500	0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2
3	750	0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2
4	1,000	0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2
5	น้ำเสียจริง	0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2

3.2 การเตรียมสารดูดติดผิว และน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สารดูดติดผิว

ทำการร่อนคัดขนาดโดยร่อนผ่านตระแกรงมาตราฐานเบอร์ 12 และค้างบนตะแกรงมาตราฐานเบอร์ 40 จะได้ขนาด 0.42-1.68 มม. แล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเศษผง และสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบเพื่อทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 150^o ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงทิ้งให้เย็นในโถป้องกันความชื้น ซึ่งส่วนนี้จะนำไปใช้ในถังดูดติดผิว และนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดติดผิว ส่วนในการทดสอบไอโซเทอมจะบดสารดูดติดผิวแล้วคัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงมาตราฐานเบอร์ 325 สารดูดติดผิวที่ใช้มีดังนี้คือ

1. ถ่านกัมมันต์ เป็นชนิดแบบเม็ด ผลิตโดยบริษัท Calgon Corp. โดยใช้รุ่น Filtrasorb 300 ซึ่งเป็นรุ่นที่เหมาะในการใช้บำบัดน้ำเสีย

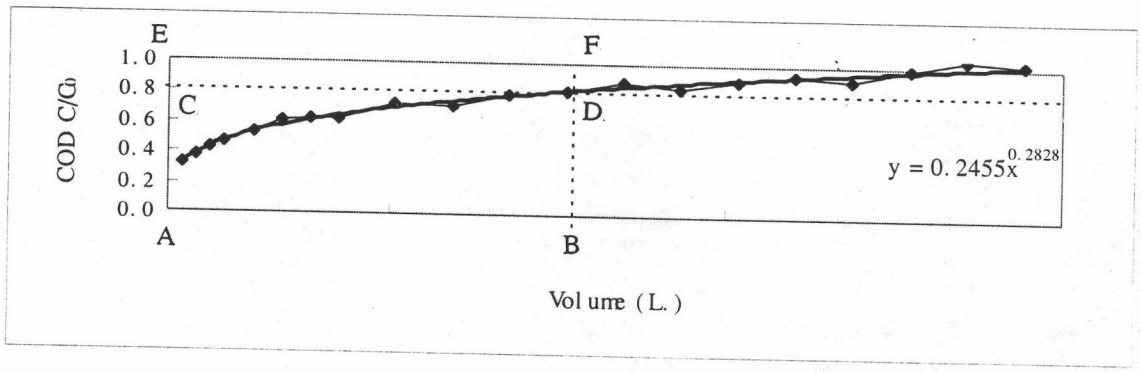
2. ถ่านไม้ เป็นของแข็งที่ประกอบด้วยคาร์บอน 85-95% เกิดจากการเผาไหม้ของไม้ ซึ่งในการทดลองใช้ถ่านไม้โกงกาง หาได้ง่ายโดยทั่วไป

3. ถ่านแกลบ ได้จากการนำแกลบไปเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในโรงสีข้าว ซึ่งหาได้โดยทั่วไป

3.2.2 น้ำชะมูลฝอย ทำการเก็บน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนอ่อนนุช ซึ่งเป็นแบบเปิดโล่งแจ้ง (Open-dump) โดยเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากผ่านบ่อผึ่ง (Facultative Pond) ซึ่งจะเก็บไว้ในถังพลาสติก และจะเก็บในจุดเดียวกันทุกครั้งเพื่อที่จะให้น้ำชะมูลฝอยมีลักษณะคงที่ นอกจากนี้เพื่อที่จะก่อให้เกิดการย่อยสลายน้ำเสียเกิดน้อยที่สุดที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นจึงเก็บถังน้ำเสียไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ^{o}ซ Ho, Boyle และ Ham (1974) แนะนำว่า ในการเก็บน้ำชะมูลฝอยไว้ในถังโดยแช่ในตู้เย็น 4 ^{o}ซ จนกระทั่งนำมาใช้นั้น แม้ว่าคุณลักษณะของน้ำเสียจะเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่เก็บ แต่การเปลี่ยนแปลงนี้พบว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะน้ำชะมูลฝอยและการแปรผันของส่วนประกอบน้ำชะมูลฝอยที่เก็บในวันที่แตกต่างกัน น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองใน 1 วัน ประมาณ 38.25 ลิตร

3.3 ความจุการดูดติดผิวในการทดลองแบบต่อเนื่อง

ความจุการดูดติดผิวในการทดลองแบบต่อเนื่องสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้า กับปริมาตรน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ตัวอย่างแสดงดังรูป 3.1



รูป 3.1 ตัวอย่างการหาความจุการดูดติดผิว

จากรูป 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้า กับปริมาตรน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ความจุการดูดติดผิวของคาร์บอนสามารถคำนวนหาได้จากผลต่างของปริมาณสารถูกดูด

ติดผิวที่เข้าระบบ กับปริมาณสารถูกดูดติดผิวที่หลุดออกจากระบบ เทียบกับน้ำหนักคาร์บอนที่ใช้ ผลลัพธ์จะได้ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อหน่วยน้ำหนักคาร์บอน

ในการทดลองกำหนดจุดเบรคทรูจ์ ,C ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของค่ามาตราฐานน้ำทิ้ง ความจุการดูดติดผิวที่จุดเบรคทรูจ์หาได้ดังนี้ เริ่มต้นหาสมการที่เข้ากับผลการทดลองที่ได้ จากนั้นคำนวนพื้นที่ใต้กราฟ ABD ได้โดยการอินทิเกรทสมการที่ได้ขอบเขตจาก A ถึง B โดยจุด B หมายถึงปริมาตรน้ำเสียที่บำบัดได้จนกระทั่งน้ำออกมีค่าเท่ากับมาตราฐานน้ำทิ้งที่กำหนด นำค่าพื้นที่ที่ได้หักออกจากพื้นที่ ABFE ซึ่งจะได้พื้นที่ ADFE จากนั้นนำค่าพื้นที่ที่ได้คำนวนเป็นปริมาณสารถูกดูดติดผิวโดยคูณกับความเข้มข้นน้ำเข้า แล้วหารด้วยน้ำหนักคาร์บอนที่ใช้ก็จะได้ ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อหน่วยน้ำหนักคาร์บอน

3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์มีดังนี้

3.4.1 ถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column) ใช้ท่อพีวีซีแบบใสจำนวน 4 ท่อ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 เซนติเมตร ความสูง 3 เมตร เพื่อมีความสูงเพียงพอสำหรับชั้นรองรับสารดูดติดผิว และเฮดของน้ำ Jeffrey และ Benjamin (1991) แนะนำว่า ถังดูดติดผิวแบบแท่งที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีอัตราการไหล ชนิดของคาร์บอน และน้ำเข้า เหมือนกับถังสัมผัสขนาดจริงที่ถูกออกแบบ โดยสิ่งสำคัญที่แตกต่าง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่า โดยถังทดลองโดยปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1-6 นิ้ว และ Joy (1991) กล่าวว่า ท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 3 เซนติเมตร จะไม่มีผลกระทบจากอิทธิพลของผนังด้านข้าง (Sidewall Effect)

3.4.2 ถังเก็บน้ำชะมูลฝอย เป็นถังพักน้ำเสียซึ่งเครื่องสูบน้ำจะทำการสูบน้ำเสียขึ้นไปยังถังเฮดคงที่

3.4.3 เครื่องมือวัดเฮดของน้ำ (Piezometer) ไว้สำหรับวัดเฮดของน้ำที่จุดเก็บน้ำตัวอย่างตามความยาวถัง

3.4.4 เครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบไดอะแฟรม (Diaphram) อัตราการไหลสูงสุดของปั๊ม 15 ลิตรต่อวัน ใช้จำนวน 4 เครื่อง โดยใช้สำหรับสูบน้ำเสียจากถังเก็บน้ำเสียไปสู่ถังดูดติดผิว อัตราการไหลแต่ละเครื่องเท่ากับ 2.55, 5.1, 10.2 และ 20.4 ลิตรต่อวัน

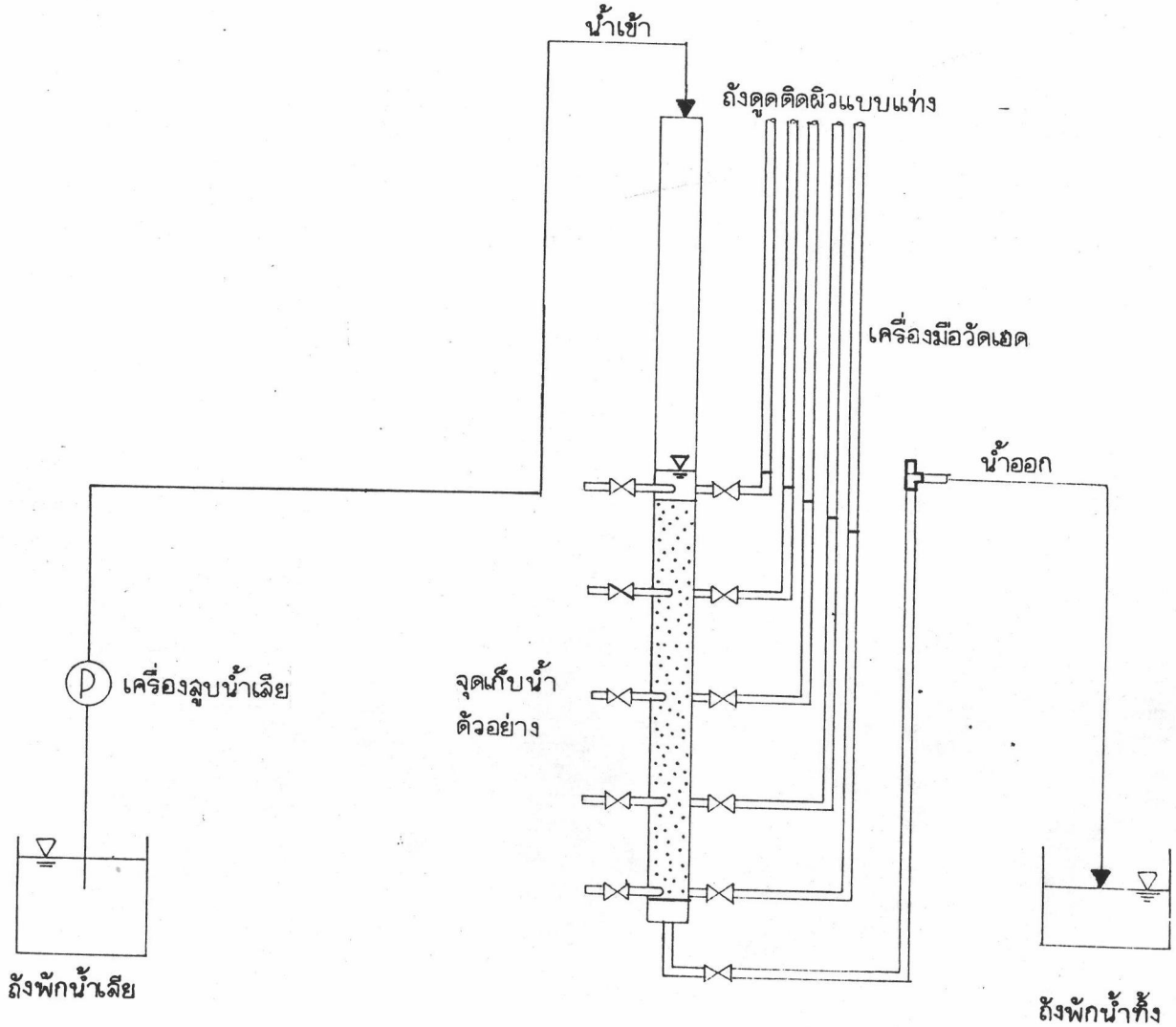
3.4.5 ท่อน้ำ โดยท่อต่างๆใช้เป็นแบบใส และเป็นซิลิโคนในบางจุด

3.4.6 ขวดใส่น้ำเสีย มีปริมาตร 180 มล. เพื่อใส่น้ำเสีย 100 มล. ในการเขย่าเพื่อทำการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว

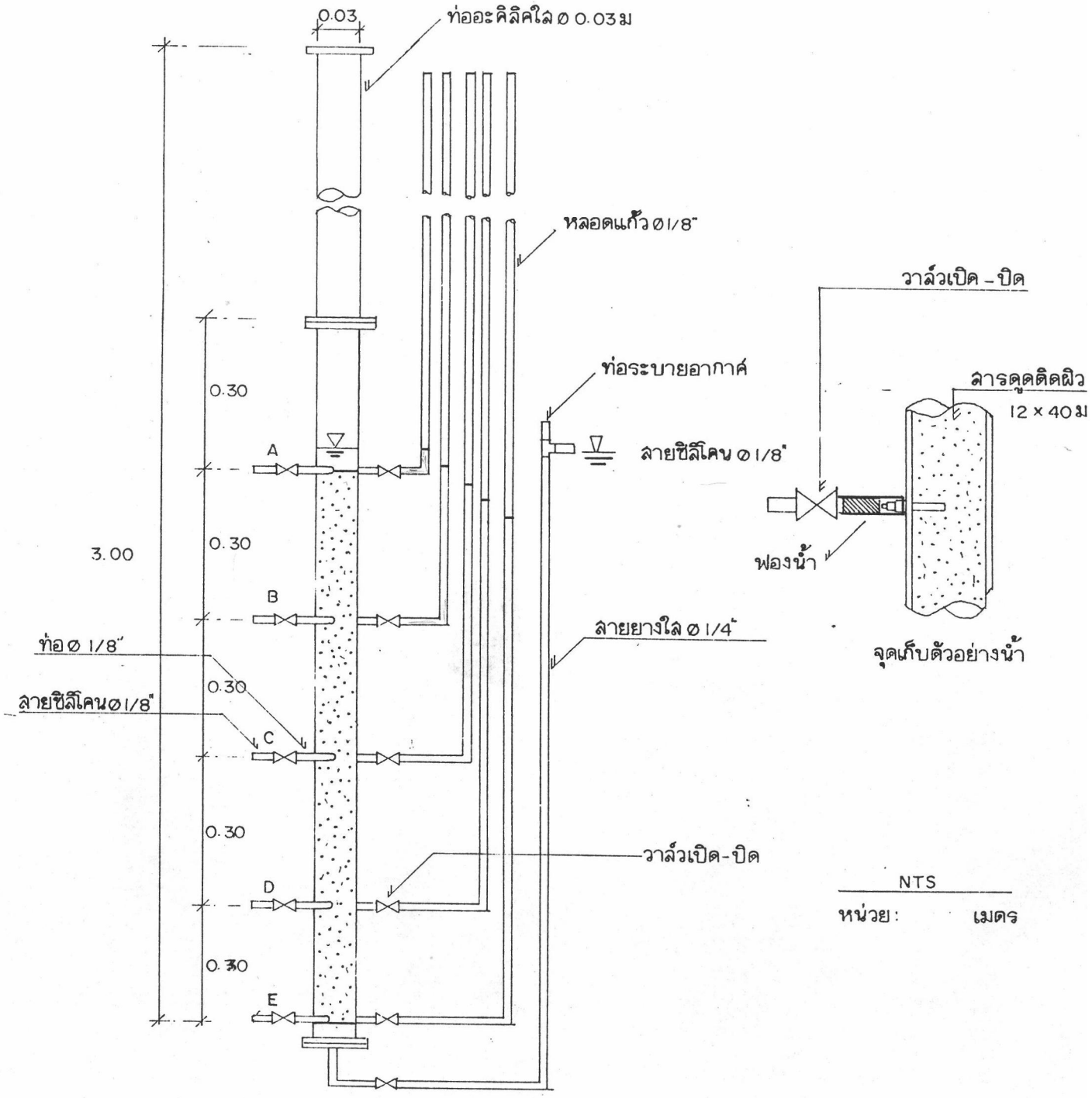
3.4.7 เครื่องเขย่า (Shaker) ใช้ในการทดสอบไอโซเทอม

3.5 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองติดตั้งดังแสดงในรูป 3.2-3.4



รูป 3.2 แผนภาพการทำงานของระบบ



รูป 3.3 ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

รูป 3.4 ถังดูดติดผิวแบบแท่งในการทดลอง

3.6 การเก็บตัวอย่างน้ำ และการวิเคราะห์

3.6.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างน้ำที่เก็บนำมาวิเคราะห์จะมีการจัดเก็บตามตำแหน่งต่างๆ 5 จุดดังนี้ แสดงในรูป 3.3

1. น้ำชะมูลฝอยเก็บจากทางน้ำเข้าที่จุด A
2. น้ำออกจากถังดูดติดผิวที่ 0.3 เมตร จากผิวหน้าตัวกลางที่จุด B
3. น้ำออกจากถังดูดติดผิวที่ 0.6 เมตร จากผิวหน้าตัวกลางที่จุด C
4. น้ำออกจากถังดูดติดผิวที่ 0.9 เมตร จากผิวหน้าตัวกลางที่จุด D
5. น้ำออกจากถังดูดติดผิวที่ 1.2 เมตร จากผิวหน้าตัวกลางที่จุด E

ตัวอย่างน้ำที่เก็บแต่ละจุดมีประมาณ 20 มล. โดยนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 พารามิเตอร์ ตำแหน่ง และความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่งการจัดเก็บตัวอย่างน้ำ					ความถี่
	A	B	C	D	E	
COD	*	*	*	*	*	1 ครั้งต่อวัน #
BOD	*				*	1 ครั้งต่อสัปดาห์
Color	*	*	*	*	*	1 ครั้งต่อวัน #
pH	*				*	1 ครั้งต่อวัน
Temp.	*				*	1 ครั้งต่อวัน

การวิเคราะห์ COD และ Color วันที่ 1 และ 2 วิเคราะห์ทุก 12 ชั่วโมง
วันที่ 3 ถึงวันที่ 7 วิเคราะห์ 1 ครั้งต่อวัน
หลังจากวันที่ 7 วิเคราะห์ 2 วันต่อ 1 ครั้ง

3.6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำแสดงดังตาราง 3.5 และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมีดังนี้ คือ

1. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) เป็นเครื่องวัดพีเอชของ Horiba รุ่น F-13 โดยสามารถวัดพีเอช และอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างได้พร้อมกัน

2. เครื่องวัดแสง ใช้วัดการดูดกลืนของแสง แสดงค่าแอบซอบแบนซ์ (Adsorbance) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ของ Shimadzu รุ่น UV-1201 โดยสำหรับสีของน้ำธรรมชาติจะวัดที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีโดมิแนนท์สูงสุด ค่าแอบซอบแบนซ์ที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอบซอบแบนซ์ กับหน่วยแพลทตินัมโคบอลท์ของสี แสดงดังรูป ก.2 ภาคผนวก ก

3. ตู้อบ ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ซีโอดี โดยอบที่อุณหภูมิ 150 ^{o}ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. ตู้บ่ม (Incubator) ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์บีโอดี โดยบ่มที่อุณหภูมิ 20 ^{o}ซ เป็นเวลา 5 วัน

5. โถกันความชื้น (Desicater) ใช้ในการเก็บสารดูดติดผิวหลังจากผ่านการอบแห้ง

6. เครื่องเขย่า (Shaker) ใช้ในการทดลองทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว

ตาราง 3.5 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
COD	Dicromate Closed Reflux Method
BOD	5 Days Incubate Method
Color	Spectrophotometric Method
pH	Electronic pH Meter with Glass Electrode Method
Temp.	Thermometer Method

3.7 การควบคุมการทดลอง

การควบคุมการทดลองที่สำคัญในระบบ คือ การควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ถังดูดติดผิวให้ได้ตามต้องการ โดยอัตราการไหลเข้าระบบจะเป็นแบบคงที่ (Constant Flow Rate) ดังนั้นจึงต้องทำการล้างเครื่องสูบน้ำทุก 3 วัน และปรับแต่งอัตราการไหลทุกวัน โดยในการล้างเครื่องสูบน้ำจะต้องถอดวาล์วกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) ที่มีสิ่งสกปรก และทำความสะอาดสายยางเมื่อมีคราบสิ่งสกปรกเกาะบริเวณผิวด้านใน ส่วนการปรับแต่งอัตราการไหล ทำโดยการวัดปริมาตรน้ำออกใน 30 นาที แล้วทำการปรับอัตราการไหลให้ได้ตามที่ต้องการ