

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม โรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทล์มิลล์ จำกัด อำเภอ นครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

#### 3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับและประสิทธิภาพในการลดสีและซีไอดี ออกจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้น้ำสารดูดซับ 5 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา ถ่านชานอ้อย ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านกะลา และถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย โดยการผสมจะใช้สัดส่วนร้อยละ 50 ของทั้งหมดระหว่างถ่านกัมมันต์ – ถ่านกะลา และถ่านกัมมันต์ – ถ่านชานอ้อย ซึ่งในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้ คือ

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ
2. การศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา ถ่านชานอ้อย โดยทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Frundlich Isotherm)
3. การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของสารดูดซับ 5 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา ถ่านชานอ้อย ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านกะลา และถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย โดยทำการทดลองโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (Adsorption Isotherm) ทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

##### 3.1.1 ลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ

นำสารดูดซับที่ได้ทำการคัดขนาดและทำความสะอาดแล้วไปวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ พื้นที่ผิว (Surface Area) , ปริมาตรโพรง (Pore Volumn) , ขนาดโพรงเฉลี่ย (Average Pore Size) , ขนาดประสิทธิผล (Effective Size) , สัมประสิทธิ์ความคงตัว (Uniformity Coefficient) โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยวิธีการดังต่อไปนี้

- พื้นที่ผิว (Surface Area)
- ปริมาตรโพรง (Pore Volumn)

- ขนาดโพรงเฉลี่ย (Average Pore Size)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer – Emmett – Teller) โดยการวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยสารดูดซับ

- ขนาดประสิทธิผล (Effective Size)

- สัมประสิทธิ์ความคงตัว (Uniformity Coefficient)

วิเคราะห์โดยวิธีการร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) เบอร์ 6, 10, 16, 20, 30, 30, 40, 50 และ 80 แล้ววัดน้ำหนักสารดูดซับที่ค้างอยู่บนตะแกรง แล้วจึงนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ Log – Probability

### 3.1.2 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Frundlich Isotherm)

ทำการทดลองแบบแบชท์ (Batch) โดยใส่น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ลงในภาชนะที่มีฝาปิด แล้วจึงใส่สารดูดซับโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณ 16 ค่า ในภาชนะ 16 ใบ ปิดฝาและนำไปใส่เครื่องเขย่า (Shaker) ทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้ถ่านจมตัวจากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 40 เพื่อแยกถ่านออกและนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสี โดยในการทดลองมี ตัวแปรดังต่อไปนี้ คือ

1. สารดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์, ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย ที่บดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desicator)

2. ปริมาณสารดูดซับเปลี่ยนแปลง 16 ค่า คือ 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.10, 0.30, 0.50, 0.70, 0.09, 1.00, 3.00, 5.00, 7.00 และ 9.00 กรัม

3. สีของน้ำเสียเปลี่ยนแปลง 3 สี คือ เหลือง, แดง และน้ำเงิน

4. ความเข้มข้นของสีเปลี่ยนแปลง 4 ค่า คือ 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. ควบคุมพีเอชไว้ที่ประมาณ 7 – 9

6. ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ประมาณอุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบพรุนลักษณะ

การทดลอง	สารดูดซับ	น้ำเสีย
1	ถ่านกัมมันต์	สีเหลือง ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดง ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงิน ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2	ถ่านกะลา	สีเหลือง ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดง ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงิน ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
3	ถ่านชานอ้อย	สีเหลือง ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดง ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงิน ความเข้มข้น 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 3.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอโซเทอมการดูดซับแบบแท่ง (Adsorption Column)

ทำการทดลองโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังแบบไหลลง (Downflow) อย่างต่อเนื่อง โดยมีตัวแปรดังต่อไปนี้ คือ

1. สารดูดซับ 5 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ , ถ่านกะลา , ถ่านชานอ้อย , ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านกะลา และถ่าน กัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย โดยการผสมจะใช้สัดส่วนร้อยละ 50 ของทั้งหมดระหว่างถ่านกัมมันต์ – ถ่านกะลา และถ่านกัมมันต์ – ถ่านชานอ้อย เรียงกันตามแนวความยาวของถังดูดซับ โดยนำสารดูดซับมาผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ซึ่งจะได้สารดูดซับซึ่งมีขนาดระหว่าง 0.59 – 2.38 มิลลิเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desicator)
2. น้ำเสียเปลี่ยนแปลง 4 ชนิด คือ น้ำทิ้งจริงของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ , น้ำเสียสังเคราะห์ สีเหลือง , แดง และน้ำเงิน
3. ความเข้มข้นของสีเปลี่ยนแปลง 4 ค่า คือ 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ความสูงของชั้นถ่านเปลี่ยนแปลง 4 ค่า คือ 0.3 , 0.6 , 0.9 และ 1.2 เมตร
5. ควบคุมพีเอชไว้ที่ประมาณ 7 – 9
6. ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ประมาณอุณหภูมิห้อง
7. ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 5 ลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับด้วยถังดูดซับแบบแห้ง

การทดลอง	สารดูดซับ	น้ำเสีย
1	ถ่านกัมมันต์	สีเหลือง ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดง ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงิน ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจริงของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
2	ถ่านกะลา	สีเหลือง ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดง ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงิน ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจริงของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
3	ถ่านชานอ้อย	สีเหลือง ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดง ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงิน ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจริงของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
4	ถ่านกัมมันต์ ผสมถ่านกะลา	สีเหลืองความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดงความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงินความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจริงของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
5	ถ่านกัมมันต์ ผสมถ่านชานอ้อย	สีเหลืองความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีแดงความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีน้ำเงินความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจริงของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

### 3.2 การเตรียมสารดูดซับและน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2.1 สารดูดซับ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดชนิด Filtrasorb 300 ซึ่งเป็นชนิดที่เหมาะสมในการใช้บำบัดน้ำเสียหาซื้อได้ตามท้องตลาด

2. ถ่านกล้านั้นใช้ถ่านกล่าสำเร็จรูปที่หาซื้อจากท้องตลาด นำมาบดให้มีขนาดเล็ก หลังจากนั้นจึงนำมากระตุ้น(Activated)เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยการนำถ่านกล่าแช่ไว้ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 คีน แล้วจึงนำไปเผาในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 550 °ซ เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำถ่านมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้งจนสะอาด

3. ถ่านซันอ้อยจะทำการเผาเอง โดยนำวัตถุดิบ คือ ซันอ้อยมาทำการตัดให้ได้ขนาดที่พอเหมาะ แช่ไว้ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) 1 คีนแล้วจึงนำไปเผาในภาชนะปิดที่ทำจากดินเผาที่อุณหภูมิ 550 °ซ เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำถ่านมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้งจนสะอาดเช่นเดียวกับถ่านกล่า

ทำการคัดขนาดของสารดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ , ถ่านกล่า และถ่านซันอ้อย โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และค้ำงบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ซึ่งจะได้สารดูดซับที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.59 – 2.38 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desicator) ซึ่งถ่านส่วนนี้จะไปใช้ในการวิเคราะห์หลักขณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดซับและการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ส่วนสารดูดซับที่ จะใช้ในการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบพุนดลิกซัน นั้น จะทำการบดสารดูดซับจนละเอียดสามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desicator) เช่นเดียวกัน

### 3.2.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ใช้น้ำทิ้งหลังการบำบัดทางชีววิทยาและทางเคมีของโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทลส์มีลล์จำกัด อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบริเวณรางที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำนครชัยศรี และในการทดลองทุกครั้งจะเก็บตัวอย่างน้ำจากที่เดียวกันทุกครั้ง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากการละลายสีข้อมประเภทไดเรกต์ (Direct) 3 ชนิด ในน้ำ โดยสีที่ใช้เป็นสีชนิดเดียวกันกับที่โรงงานใช้ในการย้อมผ้า คือ สีเหลือง (Indosol Yellow SF – 2 RL) , สีแดง (Indosol Rubine SE – RGN) และสีน้ำเงิน (Indosol Navy SE – BL240) ซึ่งความเข้มข้นสีที่ใช้ในการทดลองนั้นมี 4 ค่า คือ 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ถังดูดติดผิวแบบแห้ง (Adsorption Column) ใช้ท่ออะคริลิก (Acrylic) ใส เส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายในขนาด 3 เซนติเมตร ความสูง 3 เมตร

3.3.2 ถังเก็บน้ำเสียเพื่อที่จะทำการสูบเข้าสู่ถังดูดติดผิวแบบแห้ง

3.3.3 เครื่องมือวัดระดับของน้ำเพื่อใช้ในการวัดระดับของน้ำตามจุดเก็บตัวอย่าง

3.3.4 เครื่องสูบน้ำ ใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้สำหรับตู้ปลาี่ห้อ JUN รุ่น HX – 4500 ใช้สำหรับสูบน้ำเข้าสู่ถังดูดติดผิวแบบแห้ง โดยจะทำการปรับอัตราการไหลของน้ำไว้ที่ 5 ลิตรต่อชั่วโมง

3.3.5 ท่อน้ำที่ใช้ต่อกับถังดูดติดผิวเพื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามจุดความสูงต่าง ๆ

3.3.6 ขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร มีฝาปิดที่ใช้ในการทดสอบไอโซเทอร์มแบบพรีนคลิช

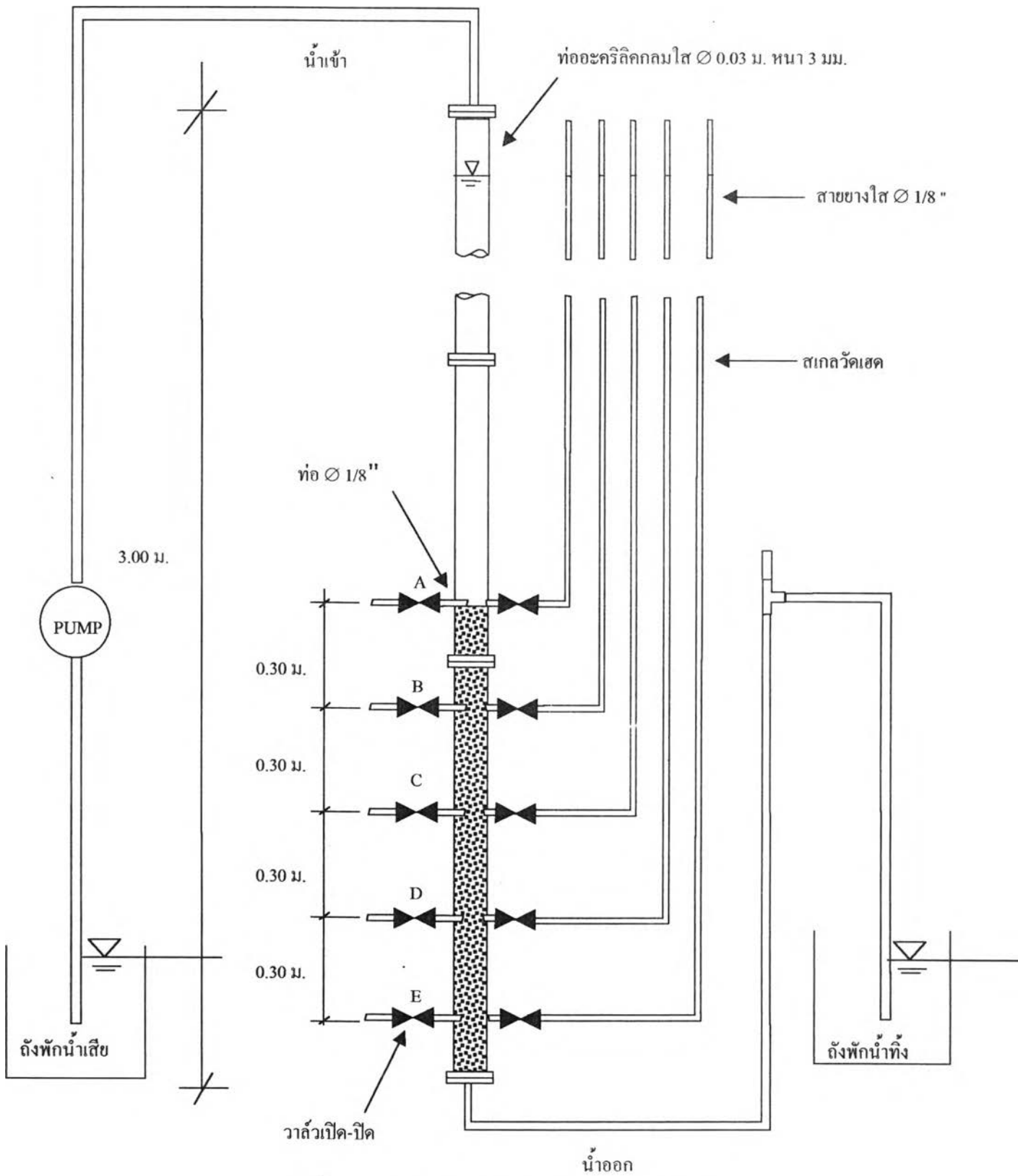
3.3.7 เครื่องเขย่า (Shaker)

3.3.8 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)

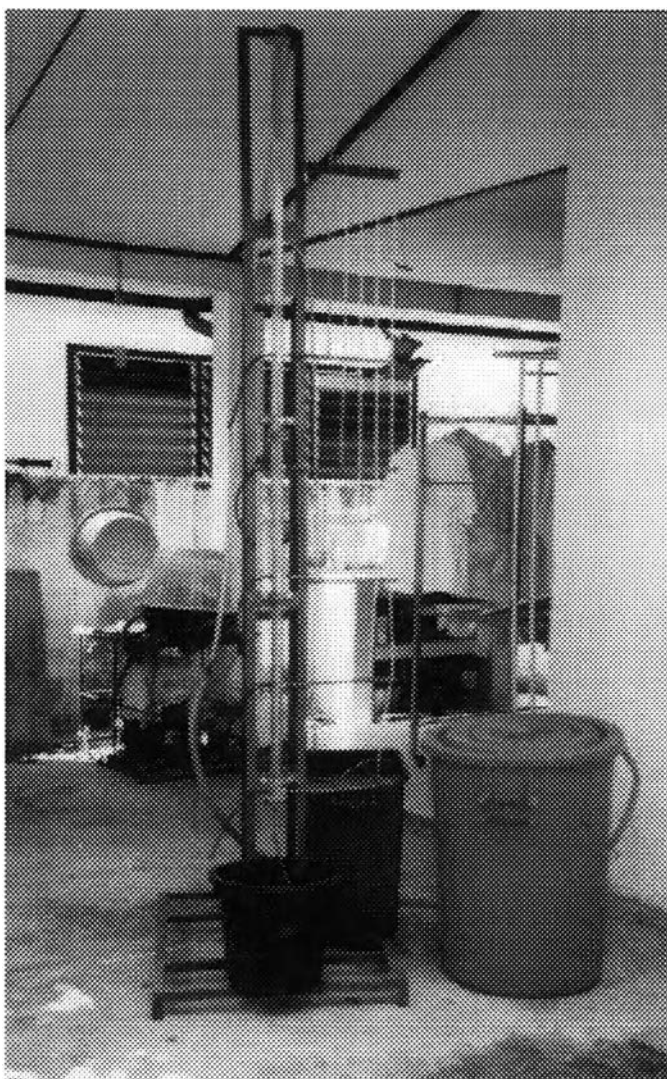
3.3.9 โถป้องกันความชื้น (Desicator)

### 3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ถังดูดติดผิวแบบแห้ง

แผนผังการทำงานของถังดูดติดผิวแบบแห้งแสดงไว้ดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของถังดูดดีดผิวแบบแท่ง



รูปที่ 3.2 ถังดูดติดผิวแบบแท่งที่ใช้ในการทดลอง

### 3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ จะทำการเก็บที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังดูดติดผิวแบบแท่ง 5 จุด ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 คือ

1. จุด A เป็นจุดที่น้ำเข้าสู่ถังซึ่งยังไม่สัมผัสกับสารดูดติดผิว
2. จุด B เป็นจุดที่น้ำออกจากถังซึ่งได้ผ่านสารดูดติดผิวที่ความสูง 0.3 เมตร
3. จุด C เป็นจุดที่น้ำออกจากถังซึ่งได้ผ่านสารดูดติดผิวที่ความสูง 0.6 เมตร



4. จุด D เป็นจุดที่น้ำออกจากถังซึ่งได้ผ่านสารดูดซับที่ความสูง 0.9 เมตร
  5. จุด E เป็นจุดที่น้ำออกจากถังซึ่งได้ผ่านสารดูดซับที่ความสูง 1.2 เมตร
- โดยจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ ตำแหน่ง และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง					ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง
	จุด A	จุด B	จุด C	จุด D	จุด E	
สี	*	*	*	*	*	1 ครั้ง / วัน
ซีโอดี	*				*	1 ครั้ง / วัน
พีเอช	*				*	1 ครั้ง / วัน
อุณหภูมิ	*				*	1 ครั้ง / วัน

\*\*หมายเหตุ            2 วันแรก เก็บตัวอย่างวันละ 2 ครั้ง            ( 12 ช.ม. )  
                                   วันต่อไป เก็บตัวอย่างวันละ 1 ครั้ง            ( 24 ช.ม. )

### 3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำแสดงไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
สี	ใช้เครื่อง UV - Spectrophotometer
ซีโอดี	Dicromate Closed Reflux Method
พีเอช	ใช้เครื่อง pH Meter
อุณหภูมิ	ใช้ Thermometer

โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำดังต่อไปนี้

1. เครื่อง UV – Spectrophotometer ใช้ในการวัดการดูดกลืนของแสง ซึ่งจะแสดงเป็นค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance) โดยจะทำการวัดค่าการดูดกลืนของแสงของตัวอย่างน้ำต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมของแต่ละตัวอย่างน้ำซึ่งจะได้จากการทดลอง
2. ตู้อบ ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี โดยจะอบที่อุณหภูมิ 150 °ซ. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
4. เทอร์โมมิเตอร์ ใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำ

### 3.6 การควบคุมการทดลอง

การควบคุมการทดลองที่สำคัญคือ ในการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับ โดยใช้อัตราการไหลแบบคงที่ ซึ่งในการทดลองนั้นใช้อัตราการไหลที่ 5 ลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งอัตราการไหลให้คงที่ทุกวัน นอกจากนี้ยังต้องทำความสะอาดเครื่องสูบน้ำ , สายยาง , ถังเก็บน้ำ และตัวถังดูดซับไม่ให้มีสิ่งสกปรกหรือตะไคร่เกาะติดซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองได้