



## บทที่ 3

### แผนการทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สถานที่ทำการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้กระทำที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

##### 3.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

- 1) ถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ (Adsorptive Column) ที่ทำจาก PVC ใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 นิ้ว สูง 1 ม. (รูปที่ 3.1)
- 2) ชุดเครื่องแก้ว
- 3) เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle Furnace)
- 4) เครื่องบดละเอียด
- 5) เครื่องเขย่า (Shaker)
- 6) ขวดพลาสติกที่มีฝาปิดสนิทเครื่องบดหยาบ
- 7) เครื่องเขย่าตะแกรง (Sieve Shaker)
- 8) ตะแกรงแยกขนาด (Sieve) เบอร์ 20, เบอร์ 80 และ เบอร์ 325
- 9) เครื่องเหวี่ยง (Centrifugal)
- 10) เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด (Analytical Balance)
- 11) ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
- 12) ตู้อบ (Oven)
- 13) โถป้องกันความชื้น (Desiccator)
- 14) กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร
- 15) เครื่องสูบน้ำเสียแบบรีด อัตราการไหล 0.912, 0.456 และ 0.304 ลิตรต่อชั่วโมง
- 16) ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างขนาด 60 มิลลิลิตร
- 17) ถังเก็บน้ำเสีย
- 18) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

- 19) Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS): GBC, Avanza
- 20) Scanning Electron Microscope Analyzer (SEM): JSM-5400
- 21) BET Surface Area Analyzer: Autosorb version 1.19
- 22) X-Ray Fluorescence (XRF) : Phillips, รุ่น PW 2400
- 23) Fourier Transform Infrared : Perkin Elmer, รุ่น 1760X

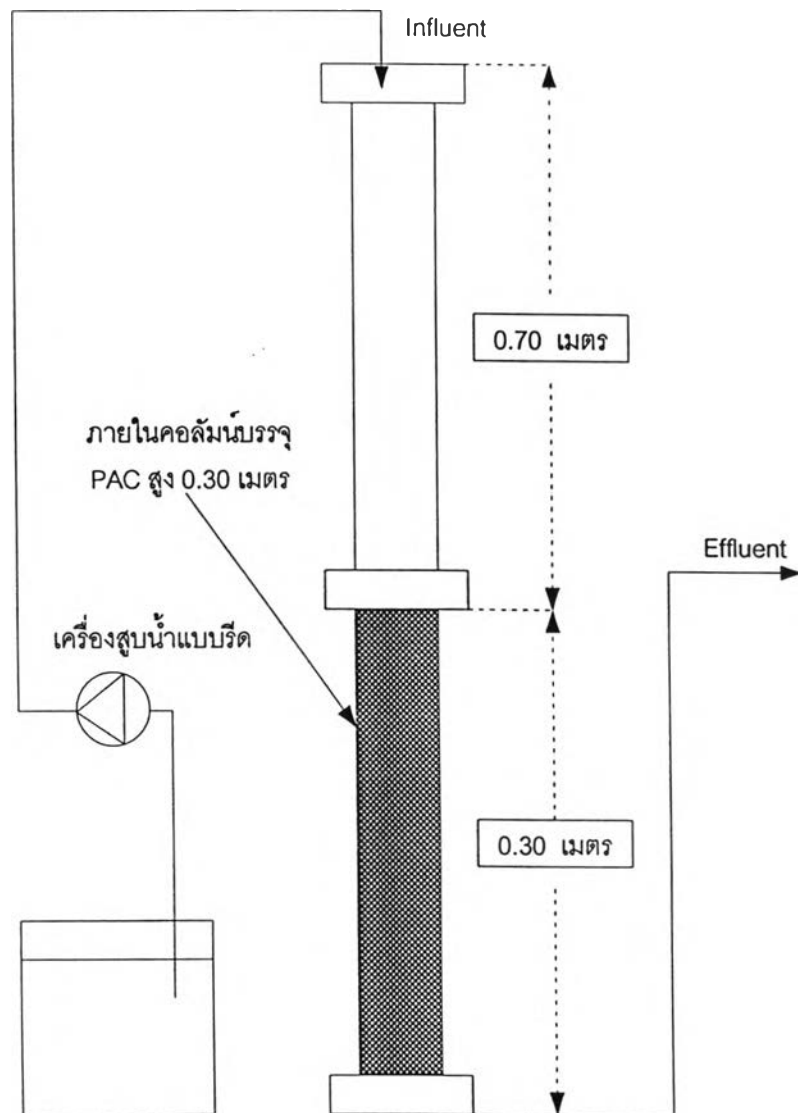
### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1) โซเดียมอะซิเตด ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ): BDH, 99-100.5%
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ): Carlo ErBA, 97%
- 3) กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ): Carlo ErBA, 65%
- 4) Piperazine - NN' – bis – 2 – ethanesulphonic acid monosodium salt  
( $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{N}_2\text{NaO}_6\text{S}_2$ ) หรือ Pipes sodium salt
- 5) กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ): Carlo ErBA, 85%
- 6) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ): Carlo ErBA, 99.8%
- 7) คอปเปอร์ไนเตรด ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ): Carlo ErBA, 99.5%
- 8) สารละลายมาตรฐานทองแดงที่มีความเข้มข้นมาตรฐาน 1,000 ppm.: Mersk

### 3.2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

โดยทำการวัดปริมาณทองแดง ได้แก่ หาค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลอง สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) วัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร พบว่าความยาวคลื่นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดคือ 324.7 นาโนเมตร วัดค่าปริมาณทองแดง จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0-10 มก./ล. วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 324.7 นาโนเมตร และคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นของทองแดงแสดงเป็นกราฟมาตรฐานน้ำตัวอย่างที่จะนำมาวัดปริมาณทองแดงจะกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อน แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยง (Centrifugal) ที่ความเร็ว 1,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของทองแดงที่ความยาวคลื่น 324.7 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง

อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame Atomic Absorption Spectrophotometer)



ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง คอลัมน์พีวีซีสูง 1.00 เมตร

รูปที่ 3.1 ถังดูดติดผิวที่ใช้ในการทดสอบแบบคอลัมน์

### 3.2.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ดังนี้

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเติมสารละลายมาตรฐานทองแดงที่มีความเข้มข้นมาตรฐาน 1,000 ppm. ปริมาณ 1 มิลลิลิตรแล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตรแล้วผสมให้เข้ากันจะได้ความเข้มข้นที่ต้องการเตรียม หลังจากเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงนี้แล้วได้ความเข้มข้นที่ต้องการ

ทำการเติมโซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ปริมาณ 0.01 โมลต่อลิตร จากนั้นจึงทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้ได้ตามต้องการด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) หรือกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ก่อนที่จะทำการทดลองต่อไป

### 3.3 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารดูดซับที่ผลิตขึ้นเองจากเปลือกมันสำปะหลังมากำจัดทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยศึกษาถึงความสามารถในการดูดติดผิว และประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสารดูดซับที่ผลิตขึ้นผ่านขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี คือ การเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายกรด ในที่นี้ใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก และน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากทองแดง ซึ่งมีความเข้มข้นคงที่ตลอดการทดลองคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดลองเปรียบเทียบผลการศึกษา กับสารดูดซับที่มีขายตามท้องตลาดซึ่งจะเรียกว่าถ่านกัมมันต์แบบที่ 1 และให้สารดูดซับที่เตรียมจากเปลือกมันสำปะหลัง เรียกว่า สารดูดซับ แบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับแผนการทดลองสำหรับงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการศึกษา	ถ่านกัมมันต์ ขายเป็นการค้า (แบบที่ 1)	สารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังที่ กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก	
		ล้างด้วย $\text{NaHCO}_3$ (แบบที่ 2)	ล้างด้วยน้ำร้อน (แบบที่ 3)
การศึกษาลักษณะทางกายภาพ	/	/	/
การทดสอบประสิทธิภาพกำจัด ทองแดง	/	/	/
การศึกษาสภาวะเหมาะสมในการ กำจัดทองแดง	/	/	-
การศึกษาไอโซเทอมแบบแบดซ์	/	/	-
การศึกษากำจัดทองแดงแบบ คอลัมน์	-	/	-

หมายเหตุ: / หมายถึง ทำการทดลอง - หมายถึง ไม่ทำการทดลอง

### 3.3.1 การเตรียมสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เปลือกมันสำปะหลัง ดังรูปที่ 3.2 เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารดูดซับ เพราะเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนได้เลือกใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก เนื่องจากสามารถให้พื้นที่ผิวของวัตถุดิบสูง และใช้อุณหภูมิในการเผาต่ำ

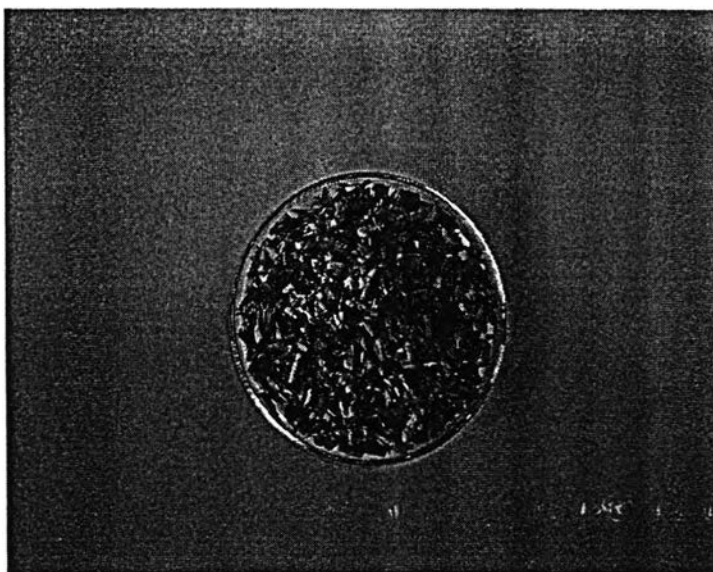
เปลือกมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะนำมาตากแดดให้แห้งก่อน จากนั้นเตรียมสารดูดซับที่มีวิธีการต่างกัน 2 แบบ คือ

1. การเตรียมสารดูดซับ แบบกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นของกรด 85 % และล้างสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (สารดูดซับแบบที่ 2)

นำเปลือกมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก นำไปเผาที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 1:1 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กรองเปลือกมันสำปะหลังที่ได้อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าร้อยละของสารดูดซับที่เตรียมได้

2. การเตรียมสารดูดซับ แบบกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และล้างด้วยน้ำร้อน (สารดูดซับ แบบที่ 3)

นำเปลือกมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาเตรียมสารดูดซับ โดยใช้วิธีเช่นเดียวกับสารดูดซับแบบที่ 2 แต่เปลี่ยนจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นการล้างด้วยน้ำร้อนจนน้ำที่ล้างไม่มีความเป็นกรดเหลืออยู่ โดยการวัดด้วยเครื่องวัดพีเอช



รูปที่ 3.2 เปลือกมันสำปะหลังแห้งก่อนนำมาเตรียมสารดูดซับ

ตารางที่ 3.2 วิธีการและขั้นตอนสำหรับการเตรียมสารดูดซับ 2 แบบ

ประเภทสารดูดซับ	ขั้นตอนการเตรียมสารดูดซับ
1. สารดูดซับแบบที่ 2	<ol style="list-style-type: none"> <li>นำเปลือกมันสำปะหลังที่แห้งแล้วมาแช่ใน <math>H_3PO_4</math> ในอัตราส่วน 1:2 เมาที่ 350 เซลเซียส, 3 ชั่วโมง</li> <li>นำมาแช่ <math>NaHCO_3</math> เพื่อสะเทิน <math>H_3PO_4</math> ให้เป็นกลางเป็นการทดสอบการกระตุ้นทางเคมี</li> <li>นำไปอบ 105 เซลเซียส, 3 ชั่วโมง ได้สารดูดซับที่เตรียมได้นำไปบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325</li> <li>ได้สารดูดซับที่เตรียมได้ นำไปอบให้แห้ง เก็บใส่ภาชนะ</li> </ol>
2. สารดูดซับแบบที่ 3	<ol style="list-style-type: none"> <li>นำเปลือกมันสำปะหลังที่แห้งแล้วมาแช่ใน <math>H_3PO_4</math> ในอัตราส่วน 1:2 แล้ว เมาที่ 350 เซลเซียส, 3 ชั่วโมง</li> <li>นำมาล้างด้วยน้ำร้อน เพื่อสะเทิน <math>H_3PO_4</math> ให้เป็นกลาง ซึ่งเป็นการทดสอบการกระตุ้นทางกายภาพ</li> <li>นำไปอบ 105 เซลเซียส, 3 ชั่วโมง ได้สารดูดซับที่เตรียมได้นำไปทดลองบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325</li> <li>ได้สารดูดซับที่เตรียมได้ นำไปอบให้แห้ง เก็บใส่ภาชนะ</li> </ol>

นำสารดูดซับที่เตรียมได้ทั้ง 2 แบบ นำมาบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้นเพื่อวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของสารดูดซับ ขั้นตอนการเตรียมสารดูดซับ ทั้ง 2 แบบ ดังรูปที่ 3.3

### 3.3.2 การศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของสารดูดซับ

นำสารดูดซับที่เตรียมได้จากเปลือกมันสำปะหลังทั้ง 2 แบบและถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้ามาศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพ ดังมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.2.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกของสารดูดซับ

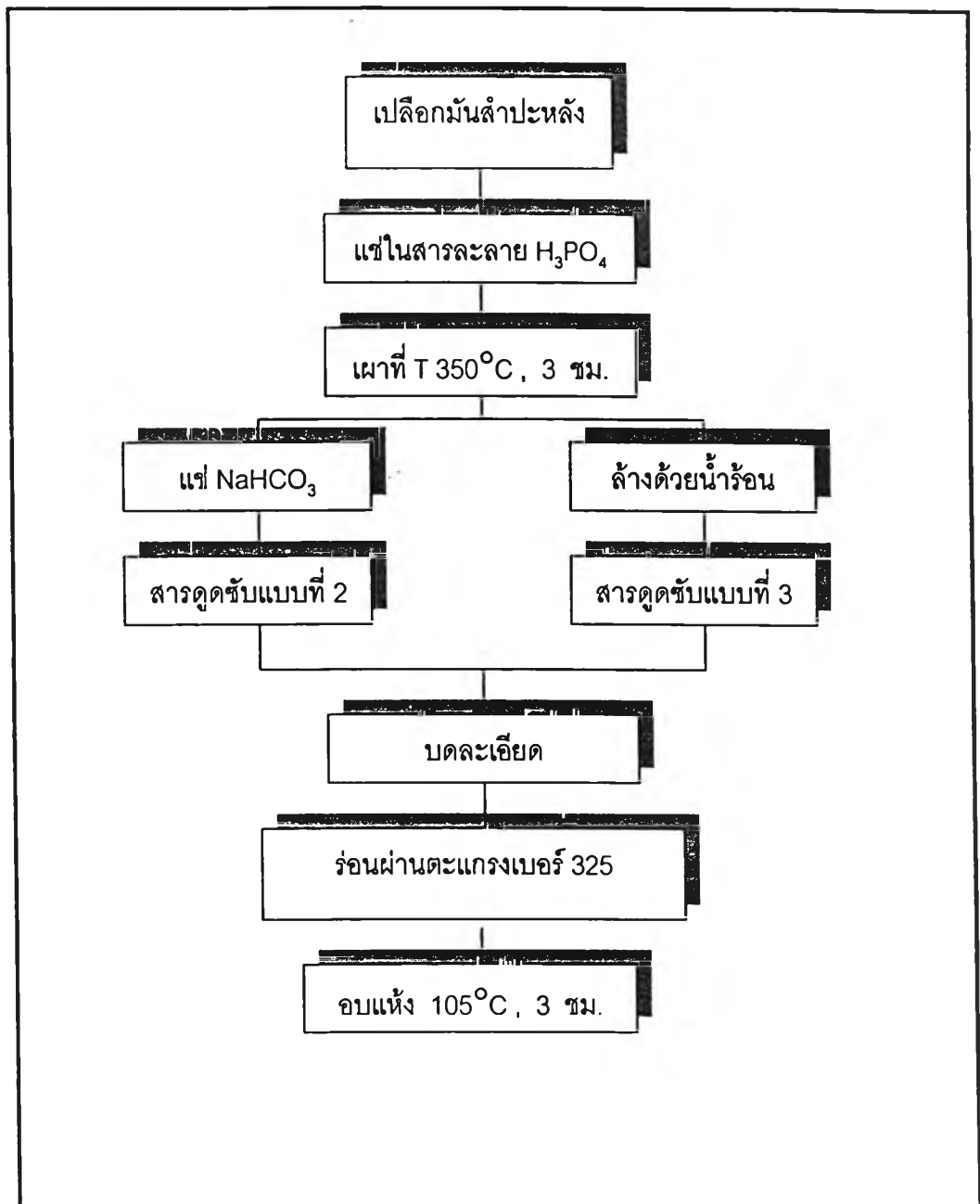
โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope)

#### 3.3.2.2 ศึกษาลักษณะทางเคมีของสารดูดซับ

การศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของสารดูดซับที่เตรียมได้สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ และศึกษาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับทั้ง 3 แบบ ดังรูปที่ 3.4

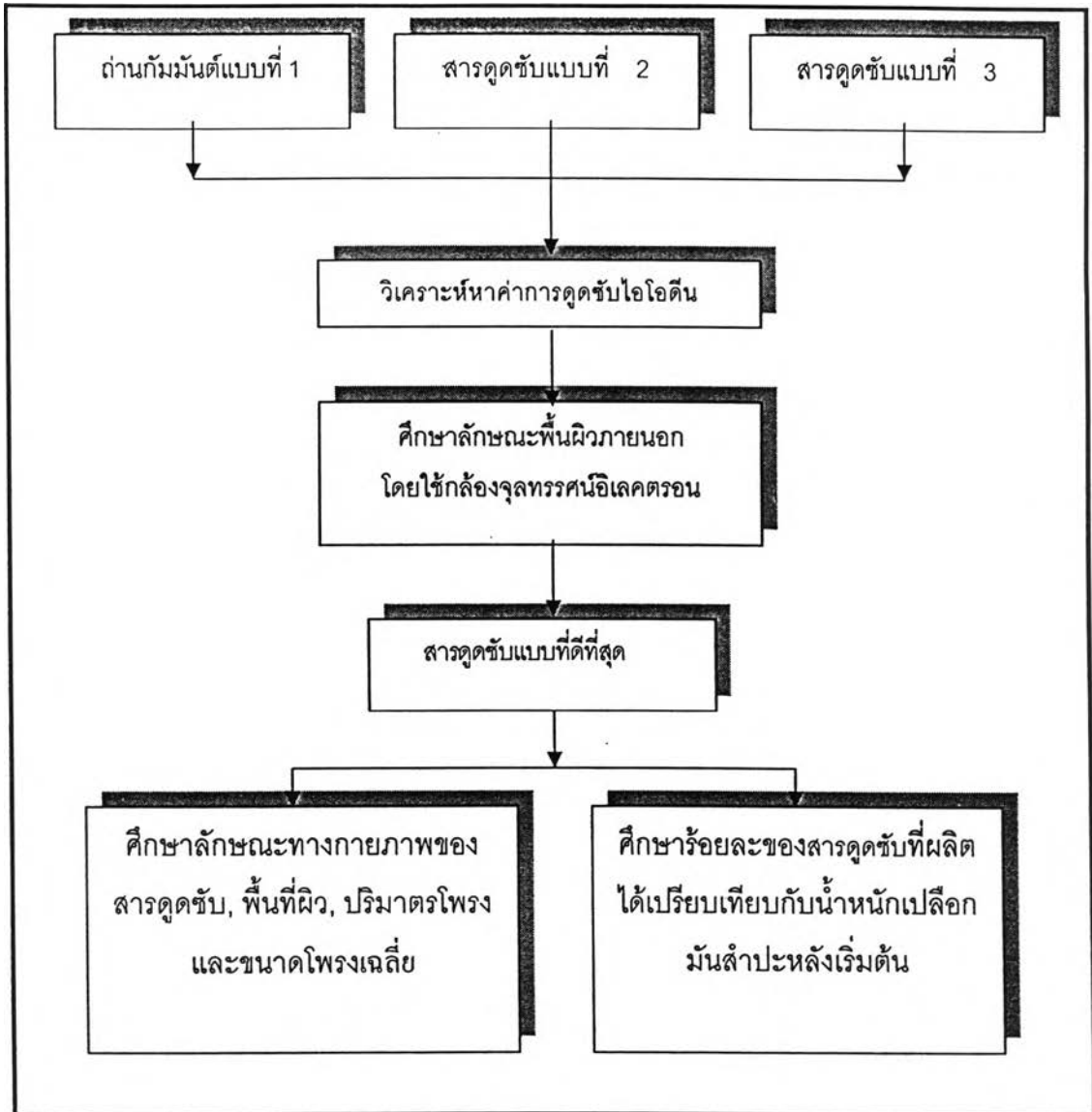
#### 3.3.2.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ

โดยนำสารดูดซับที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด และมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียที่ได้ มาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (Surface Area) ปริมาตรโพรง (Pore Volume) และขนาดโพรงเฉลี่ย (Average Pore Size) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) คือการวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยสารดูดซับ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 วิธีการและขั้นตอนการเตรียมสารดูดซับทั้ง 2 แบบ

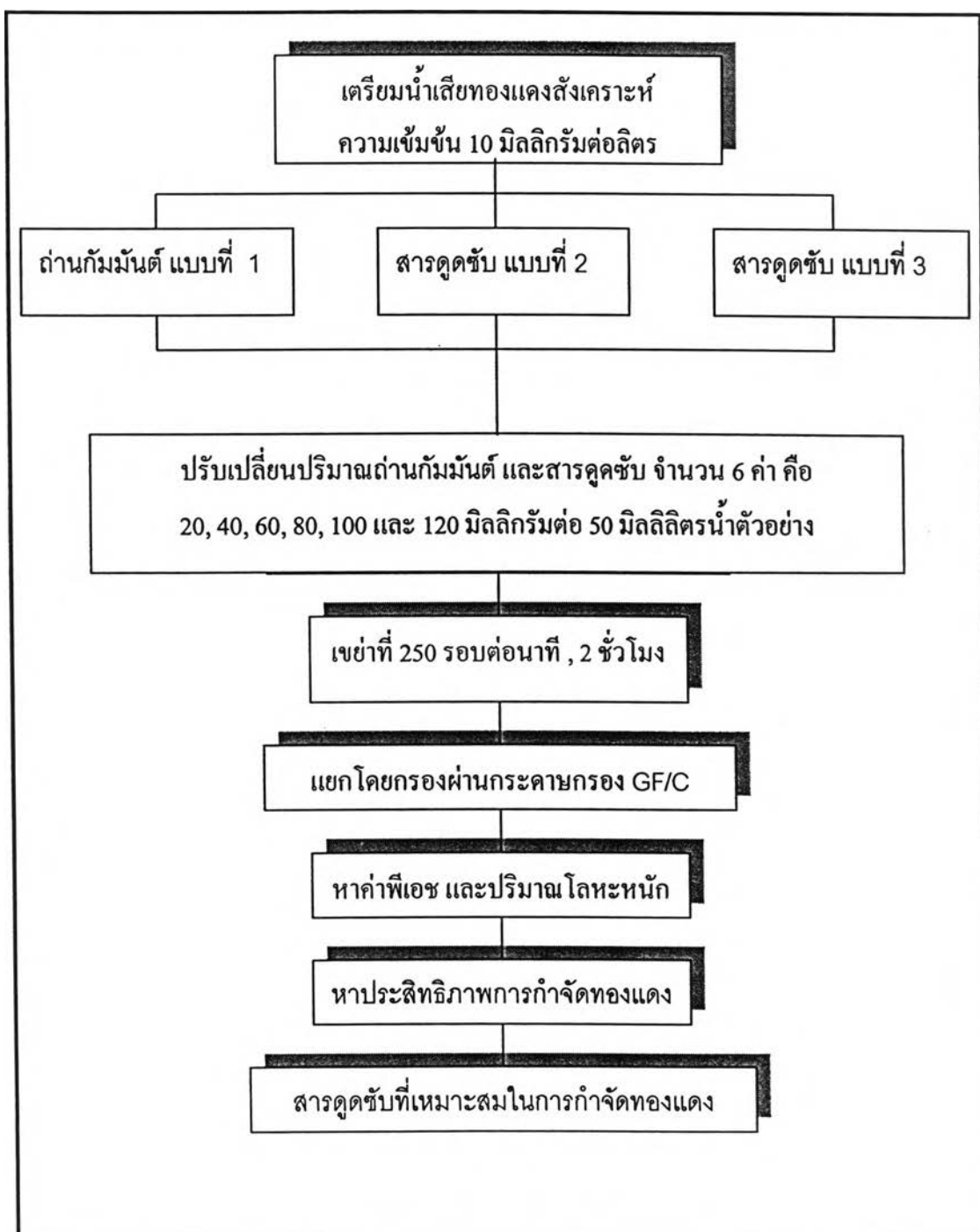




รูปที่ 3.4 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารดูดซับที่เตรียม

### 3.3.3 การศึกษาเบื้องต้นในการใช้สารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลัง เพื่อกำจัดทองแดง

โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นทองแดง 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในการทดสอบการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์นี้จะใช้สารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลังทั้ง 2 ประเภท รวมทั้งถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้าโดยมีตัวแปร ดังนี้ ปรับเปลี่ยนปริมาณถ่านกัมมันต์ แบบที่ 1 และสารดูดซับ แบบที่ 2 และ 3 จำนวน 6 ค่าคือ 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรน้ำตัวอย่าง นำภาชนะที่มีฝาปิดทั้งหมดไปใส่เครื่องเขย่า (Shaker) ด้วยอัตราเร็ว 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำน้ำเสียไปวิเคราะห์เพื่อหาชนิดของสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังที่มีปริมาณและมีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 3.5



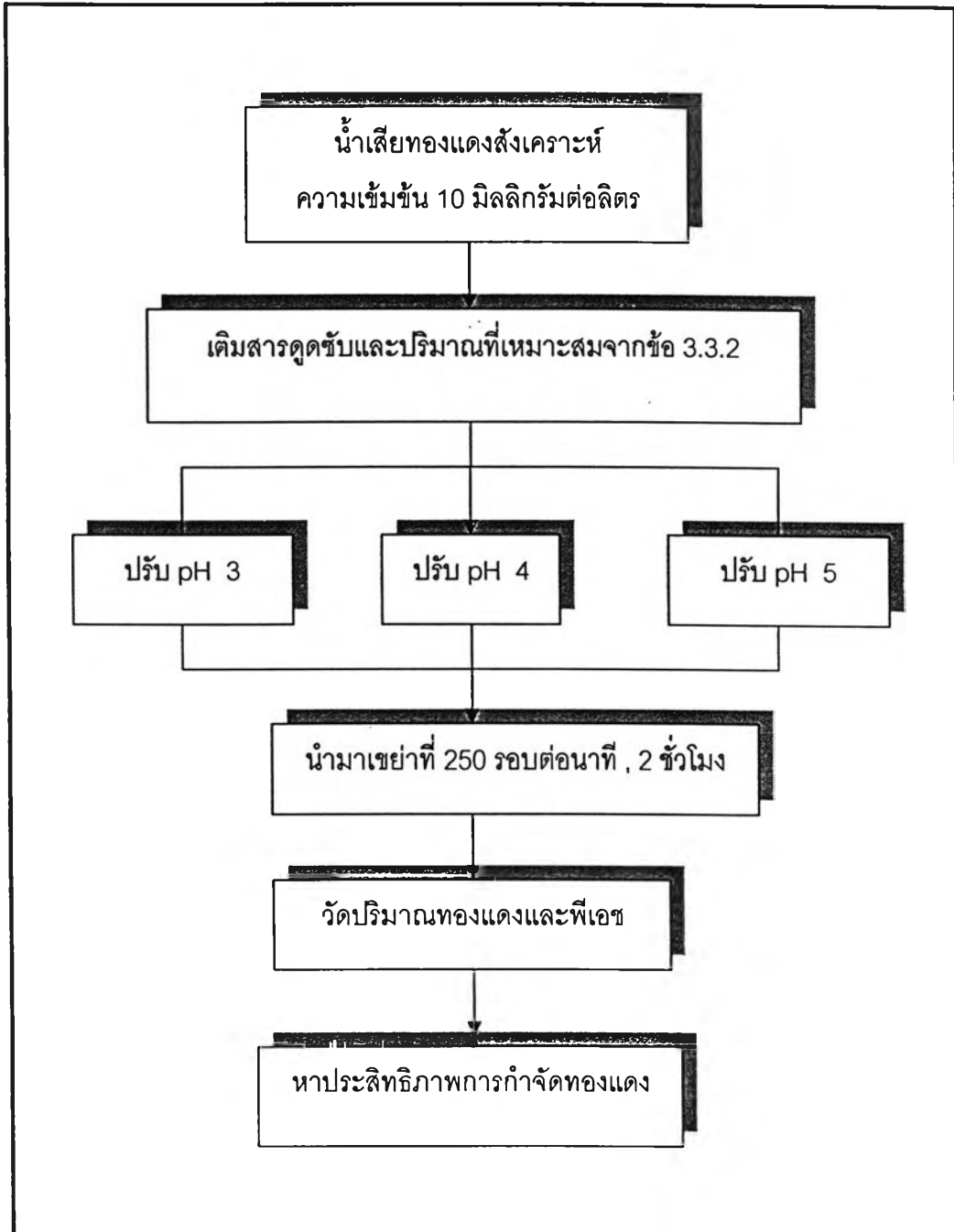
รูปที่ 3.5 แผนผังการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงเบื้องต้นของสารดูดซับ

### 3.3.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงของสารดูดซับที่เหมาะสม

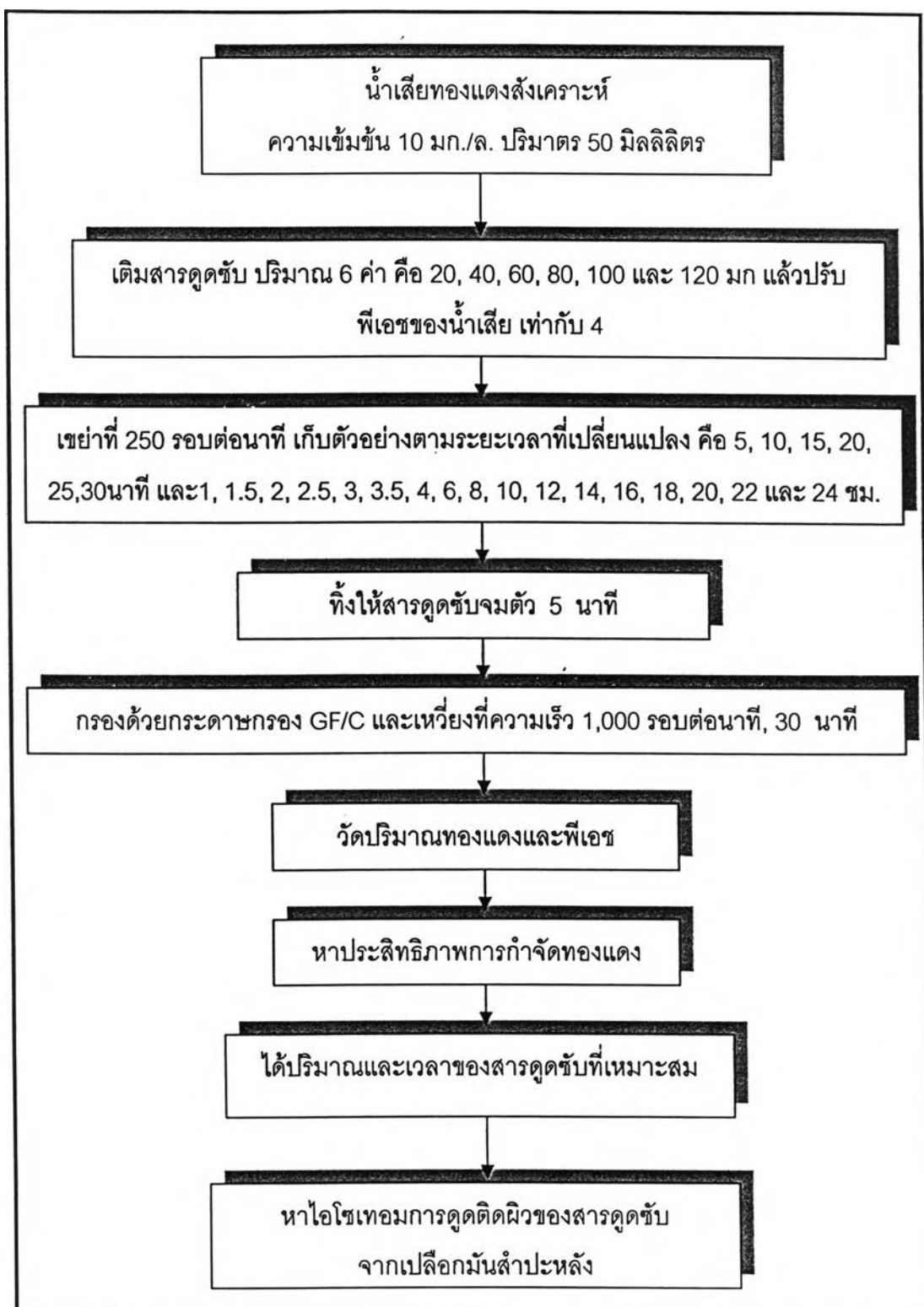
การทดลองนี้จะพิจารณาคัดเลือกใช้สารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังที่มีความเหมาะสมเพื่อศึกษาต่อไป โดยพิจารณาจากการเตรียมสารดูดซับ ลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงจากข้อ 3.3.1-3.3.3 การศึกษานี้จะนำถ่านกัมมันต์ แบบที่ 1 และสารดูดซับแบบที่ 2 และ 3 ทำการทดลองโดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงได้แก่ พีเอชของน้ำเสีย เวลาการดูดซับ และปริมาณสารดูดซับที่เหมาะสม ทำการทดลองแบบแบตช์ (Batch) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ลงในขวดทดสอบแล้วจึงใส่สารดูดซับ โดยแปรค่าปริมาณ 6 ค่า และทดสอบหาเวลาที่อิ่มตัวของ การดูดซับ โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องเขย่าอัตราเร็ว 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 23 ค่า ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30 นาที, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับที่สภาพปกติ ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับ โดยทิ้งให้ถ่านกัมมันต์ แบบที่ 1 และสารดูดซับแบบที่ 2 และ 3 จมตัว จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วเพื่อนำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดงและหาไอโซเทอมของการดูดซับทองแดงของสารดูดซับ ตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองนี้ คือ

1. ใช้สารดูดซับที่มีประสิทธิภาพกำจัดสูงสุดในข้อ 3.3.3 มาใช้ในการทดลองนี้ โดยบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 และอบแห้งที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น
2. พีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสม โดยทำการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 3 ค่า คือ พีเอช 3, 4 และ 5 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ )
3. ปริมาณสารดูดซับเปลี่ยนแปลง 6 ค่า คือ 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรน้ำตัวอย่าง
4. เวลาที่ใช้ในการดูดซับ โดยเก็บตัวอย่างแรก เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30 นาที และ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ
5. การทดลองได้ทำที่สภาพปกติ ณ อุณหภูมิห้อง

แผนผังแสดงการทดลองการหาพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณสารดูดซับและเวลาอิ่มตัวที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แผนภาพการหาพีเอชที่เหมาะสม



รูปที่ 3.7 แผนภาพการทดสอบแบบแบดซ์เพื่อหาปริมาณสารดูดซับและเวลาอิมมัตว์ที่เหมาะสม

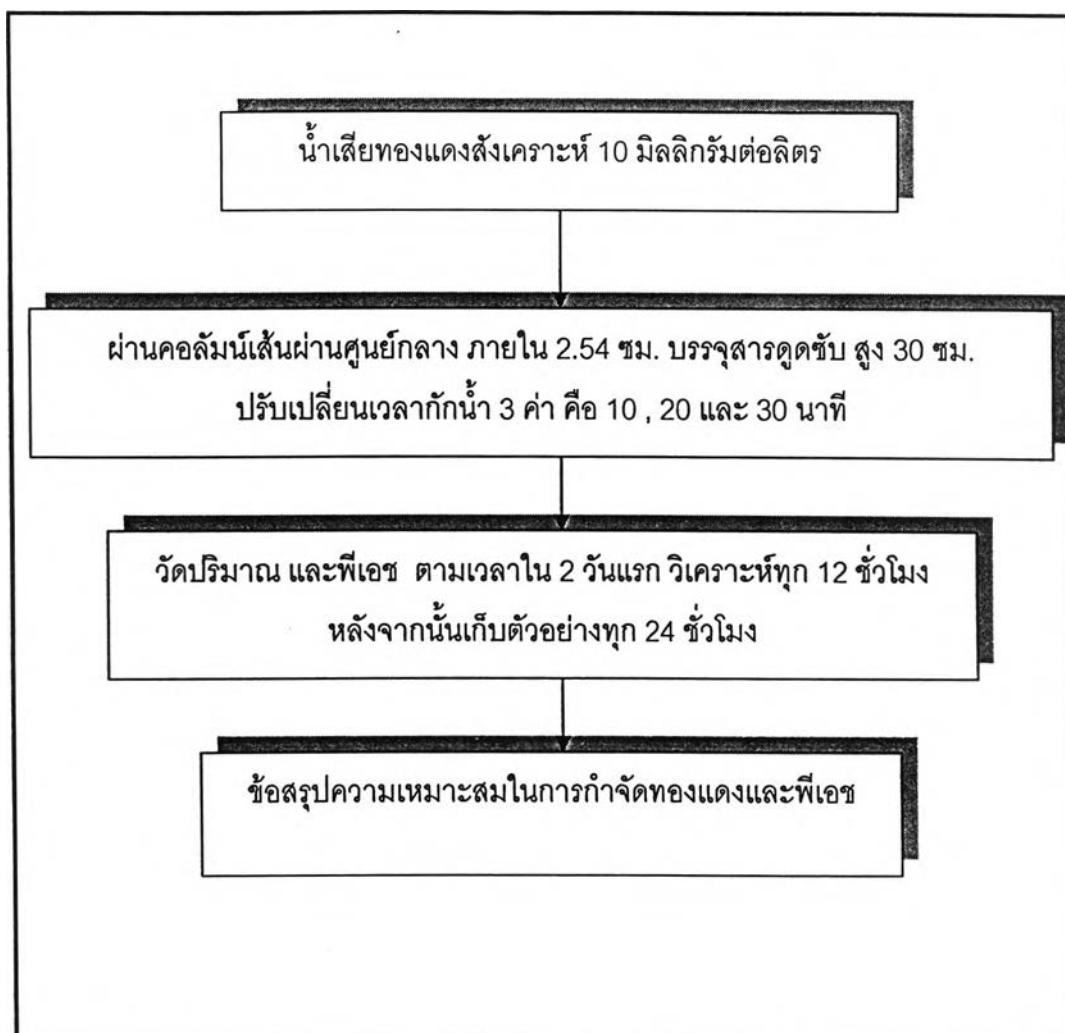
### 3.3.5 การทดสอบการดูดติดผิวแบบต่อเนื่อง โดยใช้ถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ( Adsorptive Column)

ทำการทดลองโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ถังแบบไหลลง (Down flow) อย่างต่อเนื่อง ถังดูดติดผิวที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร สูง 1 เมตร โดยมีตัวแปรดังนี้

- 1.ใช้สารดูดซับแบบที่ 2 ที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลัง มาใช้ในการทดลอง โดยบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20 และค้ำที่ตะแกรงเบอร์ 80 เพื่อคัดขนาดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ 0.150 – 0.850 มิลลิเมตร และใส่สารดูดซับในถังดูดติดผิวให้มีความสูง 30 เซนติเมตร แล้วป้อนน้ำเสียดังกล่าวเข้าสู่ถังแบบไหลลงอย่างต่อเนื่อง

- 2.ควบคุมอัตราการไหลให้ระบบมีเวลากักน้ำ 10, 20 และ 30 นาที

- 3.เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดติดผิวมาวิเคราะห์ ใน 2 วันแรก วิเคราะห์ทุก 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งถึงจุดยุติ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ถึงจุดติดผิวที่ใช้ในการทดสอบแบบคอลัมน์