

## บทที่ 4

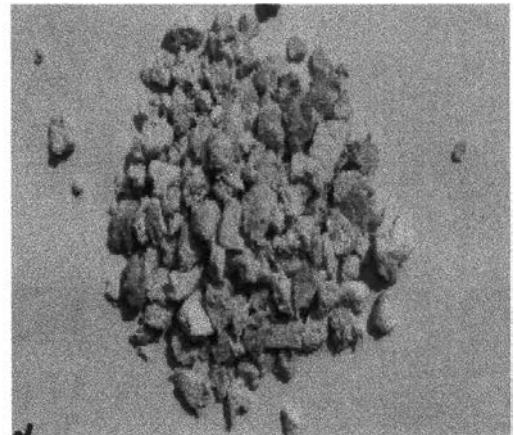
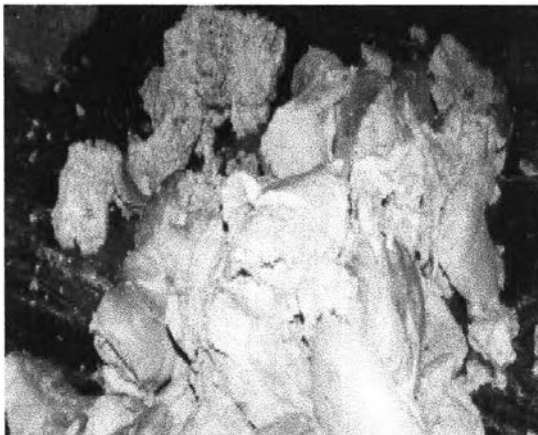
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้นำเสนอดังต่อไปนี้

#### 4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีไประงงานน้ำยางข้นและการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

##### 4.1.1 ลักษณะทั่วไปของกากซีไประง

กากซีไประงจากโรงงานน้ำยางข้นที่ใช้ในการทดลอง จะทำการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งเป็นการเตรียมก่อนเข้าสู่กระบวนการคาร์บอนต่อไป วัตถุประสงค์แบบสดและหลังการอบแห้งแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะกากซีไประงจากโรงงานน้ำยางข้นแบบสดและหลังจากอบแห้ง

#### 4.1.2 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนไนต์โดยพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์

นำกากซีเป้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน มาตัดให้มีขนาดเล็กลง ใส่ในหม้อดินแล้วนำไปเผาในเตาเผา เวลาที่ใช้ในการเผาคือ 30 นาที

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ถ่านแล้วจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยประสิทธิภาพของถ่านที่ได้จะพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (ASTM, 1996)

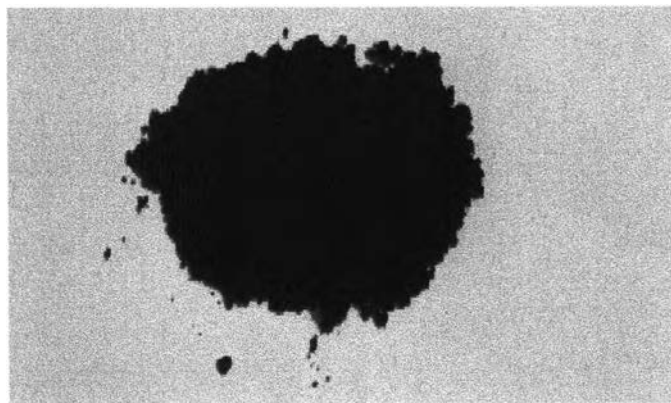
จากการวิเคราะห์ร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ (% yield) และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์และค่าไอโอดีนนัมเบอร์

อุณหภูมิในการคาร์บอนไนต์ (องศาเซลเซียส )	ปริมาณร้อยละของ ผลิตภัณฑ์	ไอโอดีนนัมเบอร์ (มิลลิกรัม/กรัม)
200	* ไม่ถูกเผาเป็นถ่าน	* ไม่ถูกเผาเป็นถ่าน
400	50.30	106.41
600	42.51	109.63

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอนไนต์ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปทำการกระตุ้นต่อไปเนื่องจากมีค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์มากกว่าที่ 600 องศาเซลเซียส แม้ว่าค่าการดูดซับไอโอดีนจะต่ำกว่าแต่ก็ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นการคาร์บอนไนต์ที่ 400 องศาเซลเซียส จึงเหมาะสมกว่า และยังช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนในการคาร์บอนไนต์อีกด้วย

เมื่อได้ถ่านที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนต์ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีแล้วจะนำไปแช่ในสารกระตุ้น คือสารละลายอิมิตัวของเกลือแกง ( NaCl ) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยจะผสมเกลือแกงละเอียดในสภาพของแข็งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยอัตราส่วนของน้ำหนักวัตถุดิบ : น้ำหนักเกลือแกงเป็น 1 : 0, 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 และ 1 : 4 ซึ่งลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ที่อัตราส่วนต่างๆ จะมีลักษณะแตกต่างจากเริ่มต้น คือ มีลักษณะเป็นผงถ่านที่มีเนื้อค่อนข้างละเอียดดังรูปที่ 4.2 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช เพื่อนำไปหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่อไป



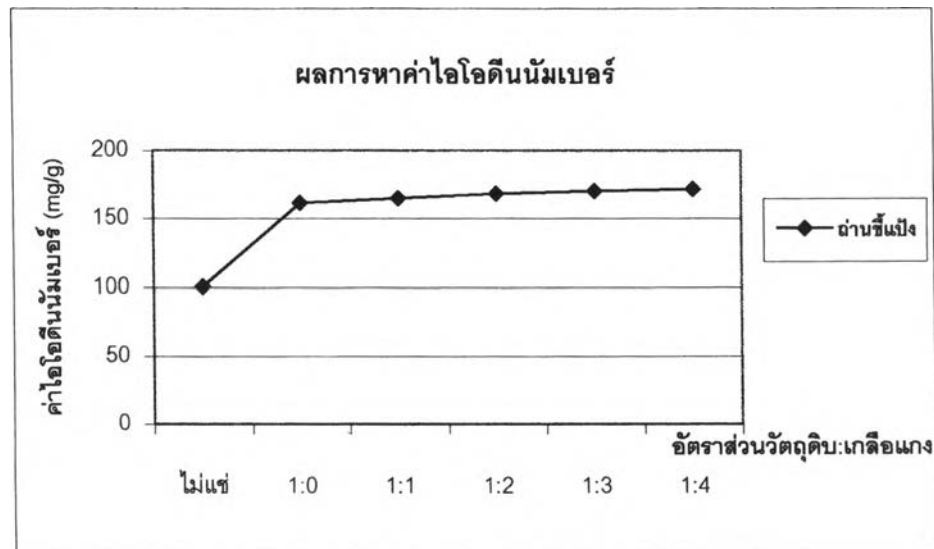
รูปที่ 4.2 กากขี้เถ้าที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

#### 4.1.3 ผลของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบโดยพิจารณาจากค่าไอโอดีนนมเบอร์

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์

อัตราส่วนวัตถุดิบ:เกลือแกง	ไอโอดีนนมเบอร์(mg/g)
ไม่แช่ในสารกระตุ้น	100.85
1:0	161.62
1:1	165.21
1:2	168.20
1:3	170.14
1:4	171.74

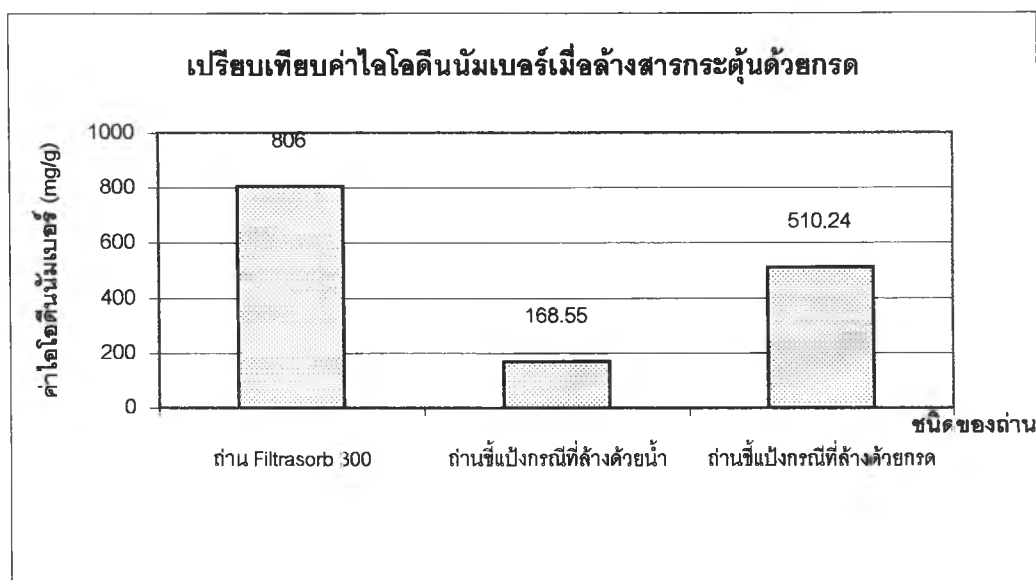
การพิจารณาสารละลายไอโอดีนที่เหลือจากการดูดติดผิว หากมีปริมาณของไอโอดีนลดลงหรือพบว่าสูงขึ้นกว่าสารไอโอดีนเริ่มต้น จะแสดงให้เห็นสมรรถนะในการดูดติดผิว นั่นคือ ถ้าค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงจะมีสมรรถนะในการดูดติดผิวได้ดีกว่าที่ค่าไอโอดีนนมเบอร์ต่ำ ผลการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าไอโอดีนนมเบอร์โดยนำหน้าวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่อัตราส่วนต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าถ่านซีแบ่งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิมตัวมีค่าไอโอดีนนมเบอร์เพียง 100.85 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิมตัวจะมีค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงขึ้นประมาณ 60% แสดงว่าสารกระตุ้นเกลือแกงทำให้ประสิทธิภาพของถ่านซีแบ่งสูงขึ้น แต่พบว่าเมื่อมีการเติมเกลือแกงเพิ่มลงไปในช่วงขั้นตอนการเผาที่อัตราส่วนต่างๆนั้น มีค่าไอโอดีนนมเบอร์ใกล้เคียงกันในทุกๆอัตราส่วน แสดงว่าการใช้สารกระตุ้นมากเกินไปจะทำให้รูปพรุนของถ่านมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้พื้นที่ในการดูดติดผิวลดลงเช่นเดียวกับการทดลองของ รัชนก แซ่เจิน (2541)

ดังนั้นจึงเลือกที่อัตราส่วน 1 : 0 ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปเพราะค่าไอโอดีนนมเบอร์ใกล้เคียงกับอัตราส่วนอื่นและไม่เป็นการสิ้นเปลืองสารกระตุ้นและเวลาในการล้างสารกระตุ้น แต่เนื่องจากเมื่อนำค่าไอโอดีนนมเบอร์ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมซึ่งกำหนดมาตรฐานไว้มีค่าไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ พบว่ามีค่าน้อยกว่ามาก จึงได้เพิ่มขั้นตอนในการใช้กรดในการล้างสารกระตุ้น ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าไอโอดีนนมเบอร์เมื่อล้างสารกระตุ้นด้วยกรด

จากการทดลองเมื่อทำการล้างสารกระตุ้นด้วยกรด HCl 5 % พบว่ามีค่าไอโอดีนนมเบอร์ 510.24 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า เพราะการใช้กรดล้างจะล้างเอาที่หลงเหลืออยู่ได้ดีกว่าน้ำ (Rengaraj และ Murugesen, 1998) ดังนั้นการใช้กากซีแบ่งเป็นวัตถุดิบและใช้เกลือแกงเป็นสารกระตุ้น จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพราะทำให้ถ่านมีคุณภาพที่ดีขึ้น

#### 4.1.4 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของถ่านซีแบ่ง

เมื่อทำการหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การหาร้อยละของผลิตภัณฑ์

ภาวะ	น้ำหนักที่เหลือ (กรัม)
หลังอบแห้ง	100.00
ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์	50.30
ผ่านกระบวนการกระตุ้น	25.20

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 แสดงว่าร้อยละของถ่านซีแห้ง (% yield) เป็น 25.20 ดังนั้นในการผลิตถ่านซีแห้งเมื่อเริ่มจากกากซีแห้งอบแห้ง 1 กิโลกรัม จะได้ถ่านซีแห้ง 252.00 กรัม

#### 4.1.5 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ คือ พื้นที่ผิว (Surface area) ปริมาตรความพรุน (Pore volume) และขนาดโพรงเฉลี่ย (Average pore size) ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer – Emmett – Teller) (ASTM, 1977) ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.4 และทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวและรูพรุนของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป คือ กากซีแห้งซึ่งเป็นวัสดุเริ่มต้น และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากวัสดุดังกล่าว เมื่อผสมเกลือแกงที่อัตราส่วน 1 : 0 และล้างสารกระตุ้นด้วยกรด ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนอื่นๆต่อไป ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ลักษณะของกากซีแห้งจากโรงงานน้ำยางชั้นก่อนและหลังการเผาแสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านซีแห้ง

ลักษณะทางกายภาพ	ถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300	ถ่านกัมมันต์ที่ เตรียมจาก กากซีแห้ง กรณีล้างด้วยน้ำ	ถ่านกัมมันต์ที่ เตรียมจาก กากซีแห้ง กรณีล้างด้วยกรด
พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	955.70	99.29	566.39
ปริมาตรโพรง (ลบ.ซม./ กรัม)	0.4960	0.0160	0.0810
ขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม)	20.73	47.70	47.29

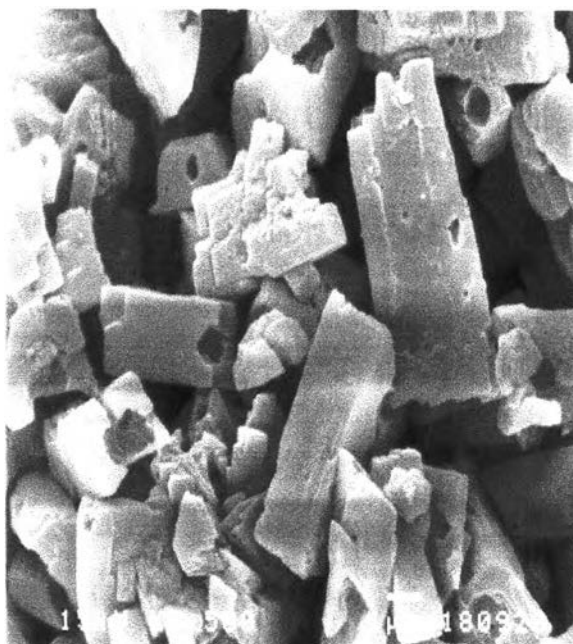
จากตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ คือ พื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงนั้น ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ คือ พื้นที่ผิวของถ่าน Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 955.70 ตารางเมตรต่อกรัม โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีแห้งกรณีล้างด้วยน้ำมีพื้นที่ผิว 99.29 ตารางเมตรต่อกรัม และกรณีล้าง

ด้วยกรดมีพื้นที่ผิว 566.39 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ พื้นที่ผิวของถ่านซีแบ่งกรณีด้านล่าง ด้วยกรดมีค่าเป็น 5.7 เท่าของถ่านซีแบ่งกรณีด้านล่างด้วยน้ำ

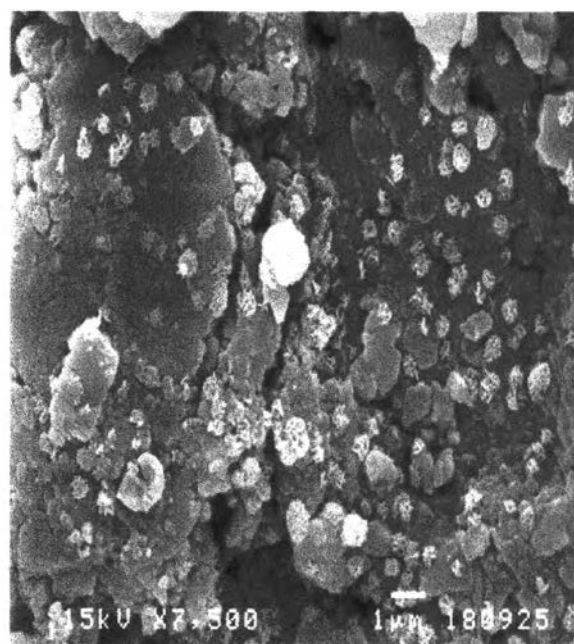
สำหรับปริมาตรโพรงของถ่าน Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 0.4960 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม โดยถ่านซีแบ่งกรณีด้านล่างด้วยน้ำมีปริมาตรโพรง 0.0160 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และถ่านซีแบ่งกรณีด้านล่างด้วยกรดมีปริมาตรโพรง 0.0810 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และถ่านซีแบ่งกรณีด้านล่างด้วยกรดมีปริมาตรโพรงเป็น 5.1 เท่า ของถ่านซีแบ่งกรณีด้านล่างด้วยน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ถ่าน Filtrasorb 300 มีพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงมากกว่าถ่านซีแบ่ง ดังนั้นถ่าน Filtrasorb 300 ย่อมมีความสามารถในการดูดติดผิวดีกว่าถ่านซีแบ่ง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ในการทดลองขั้นต้น

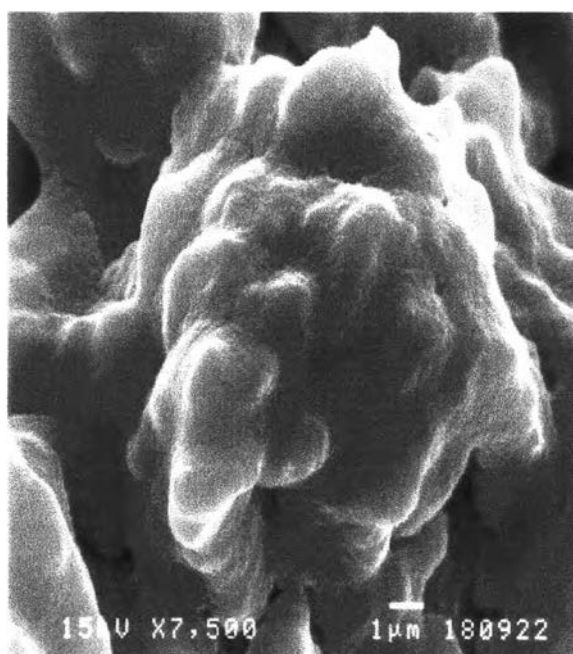
เมื่อนำถ่านซีแบ่งไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) จะได้ผลดังรูปที่ 4.5



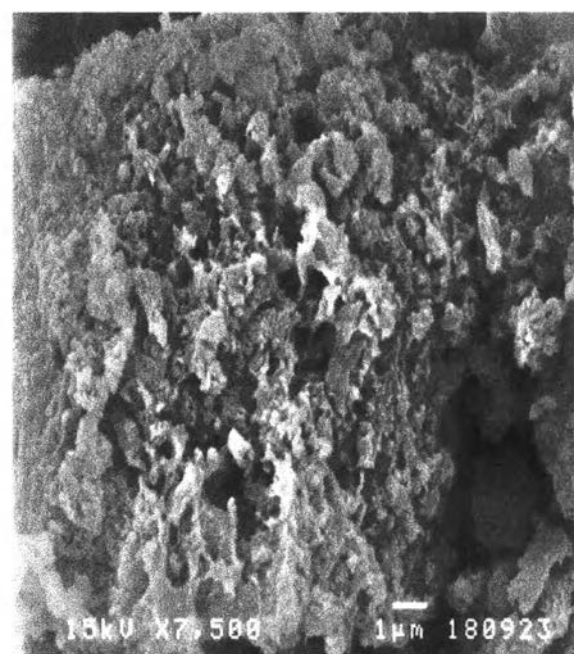
ก. กากชีแช่แข็งเมื่อผ่านการอบแห้ง



ข. กากชีแช่แข็งเมื่อผ่านกระบวนการคาร์บอนไนท์



ค. กากชีแช่แข็งที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกง (NaCl) อิมิตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและอบจนแห้ง



ง. ถ่านชีแช่แข็งที่ใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อเกลือแกง 1:0

รูปที่ 4.5 โครงสร้างและพื้นผิวของกากชีแช่แข็งก่อนเผาและถ่านชีแช่แข็งเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ



จากการศึกษาโครงสร้างและพื้นผิวของกากซีเมนต์และถ่านซีเมนต์จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยใช้กำลังขยาย 7,500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 สามารถสรุปได้ ดังตาราง ที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของวัตถุดิบ และถ่านซีเมนต์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กากซีเมนต์	
สภาวะ	ลักษณะที่เห็น
วัตถุดิบเมื่ออบแห้ง	มีรูปร่างเป็นแท่งลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม มีพื้นผิวเป็นระนาบที่ค่อนข้างเรียบและแน่น ไม่มีรูพรุนที่สามารถมองเห็นได้
คาร์บอนไนท์	แตกออกเป็นเนื้อละเอียดขึ้น มีรูพรุนเกิดขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่เป็นโพรงลึก
แช่น้ำเกลือ	พองตัวมากขึ้น และมีเกลือเกาะอยู่ที่ผิว
ถ่านซีเมนต์	มีรูพรุนเกิดมากขึ้นและเป็นโพรงลึกกว่าที่สภาวะที่ถูกคาร์บอนไนท์ ขนาดรูพรุนไม่ใหญ่นัก

จากตารางที่ 4.5 พบว่าก่อนทำการเผากากซีเมนต์จะยังไม่มีความรูพรุนที่สามารถมองเห็นได้ และมีลักษณะเป็นชิ้นๆ ซึ่งแต่ละชิ้นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม มีพื้นผิวเป็นระนาบเรียบ และเมื่อผ่านกระบวนการคาร์บอนไนท์กากซีเมนต์ที่มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมจะแตกออกมีลักษณะเป็นเนื้อที่ละเอียดขึ้น และมีรูพรุนให้เห็นบ้างเล็กน้อยแต่ไม่เป็นโพรงลึก เมื่อนำไปแช่ในสารกระตุ้นสารละลายอิมิตัวของเกลือแกง (NaCl) จะพบว่ามีความลักษณะพองตัวขึ้นอย่างชัดเจน และมีเกลือเคลือบอยู่รอบๆพื้นผิว และเมื่อนำไปกระตุ้นโดยการเผาอีกครั้งหนึ่งจะพบว่ามีความรูพรุนเกิดขึ้นให้เห็นอย่างชัดเจนและมีปริมาณมาก รูพรุนนั้นจะมีโพรงลึกลงไป ขนาดรูพรุนไม่ใหญ่นัก

## 4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test)

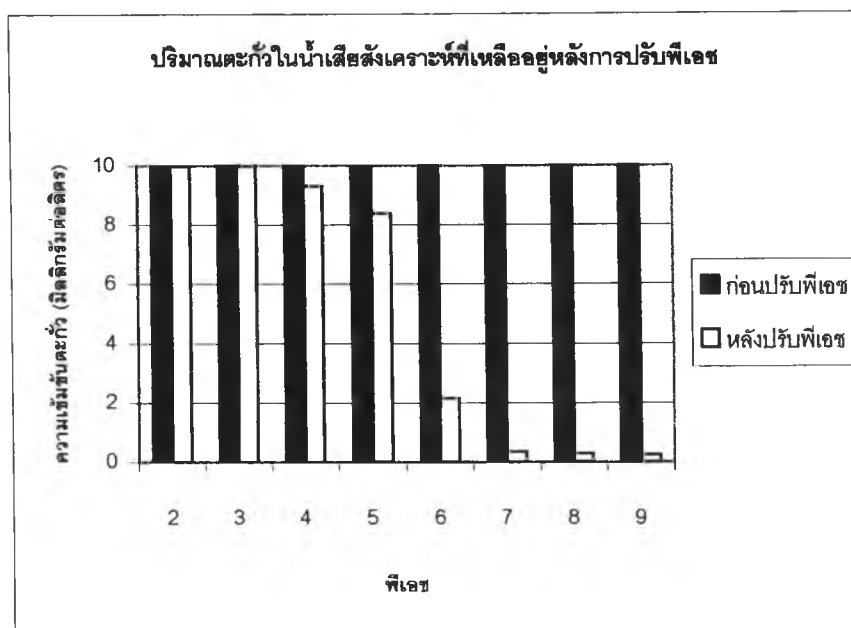
ในขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านซีแ่งที่เตรียมได้ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test)

### 4.2.1 พีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิว

จากการศึกษาของ Reed, Robertson และ Jamil (1995) พบว่า Pb จะมีการตกตะกอนในรูปของ  $Pb(OH)_2$  ในช่วงพีเอช 5.5 และจะตกตะกอนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนถึงพีเอช 12-12.5 แล้วจะกลับมาละลายใหม่ ซึ่งเป็นพีเอชในช่วงที่ทำการทดลอง คือ ช่วงพีเอช 6 - 8 นอกจากนี้จากการศึกษาของ ลลิตา นิตศนจากรุกุล (2544) ก็สอดคล้องกับการทดลองข้างต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาถึงการดูดติดผิว ผู้วิจัยจึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชต่างๆ ตั้งแต่ 2 - 9 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ / นาที แล้วทำการกรองตะกอนที่เกิดขึ้นออก หลังจากนั้นจึงนำไปวัดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่เหลืออยู่หลังการตกตะกอน เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมในการศึกษาถึงการดูดติดผิว ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นตะกั่ว ในน้ำเสียเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของตะกั่วใน น้ำเสียหลังปรับพีเอช (มิลลิกรัมต่อลิตร)	% ตกตะกอน
2	10.00	10.000	0.00
3	10.00	10.000	0.00
4	10.00	9.315	6.85
5	10.00	8.384	16.16
6	10.00	2.149	78.51
7	10.00	0.349	96.51
8	10.00	0.296	97.04
9	10.00	0.244	97.56



รูปที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชต่างๆ

หลังจากนั้นจึงทำการทดลองตามแผนการทดลองต่อไปคือโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วที่ความเข้มข้น 10 mg/l ที่พีเอช 2 - 9 และทำการเติมถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านซีบ่าง ปริมาณ 0.2 กรัม และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ / นาที เป็นเวลา 120 นาที แล้วกรองเอาผงถ่านออกเพื่อนำน้ำเสียเคราะห์ไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลือ

ส่วนการทดลองของปรอทนั้นเมื่อทำการทดลองเช่นเดียวกับตะกั่ว พบว่าไม่เกิดการตกตะกอน ดังนั้นไม่ว่าที่พีเอชใด ความเข้มข้นเริ่มต้นของปรอทจะเท่ากับความเข้มข้นที่เตรียมไว้คือ 10 mg/l

จากผลการทดลอง การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดติดผิวน้ำเสียที่มีตะกั่วและน้ำเสียที่มีปรอท สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.7 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านซีแปลิ่ง

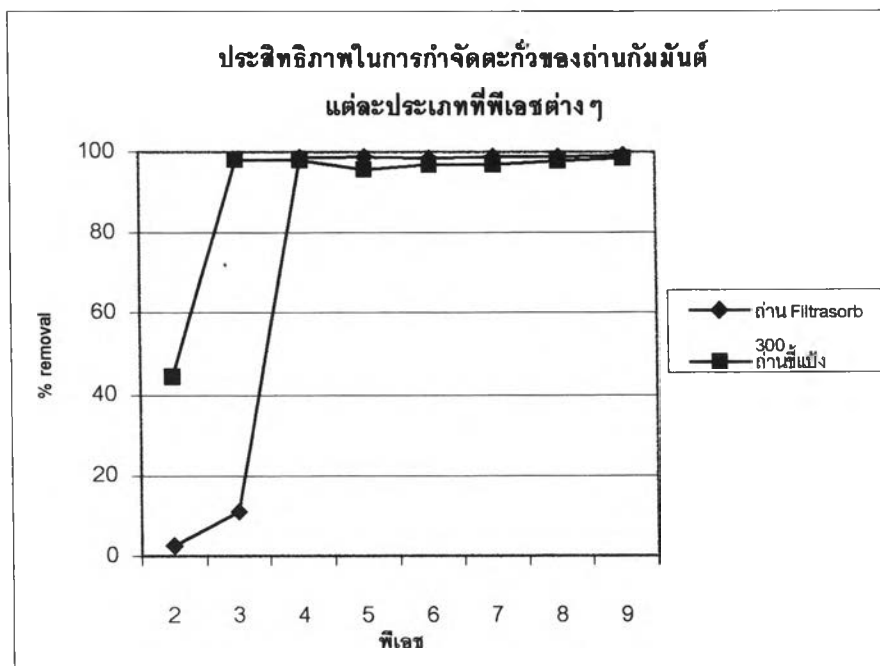
ประเภทถ่าน	พีเอชเริ่มต้น	พีเอชสุดท้าย	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)	% Removal
ถ่าน Filtrasorb 300	2	2.63	9.742	2.58
	3	3.84	8.885	11.15
	4	7.14	0.144	98.56
	5	7.22	0.124	98.76
	6	7.21	0.154	98.46
	7	7.27	0.12	98.80
	8	7.33	0.125	98.75
ถ่านซีแปลิ่ง	2	2.73	5.557	44.43
	3	4.12	0.197	98.03
	4	4.54	0.212	97.88
	5	4.52	0.44	95.60
	6	4.65	0.321	96.79
	7	4.73	0.314	96.86
	8	4.78	0.232	97.68
	9	4.87	0.158	98.42

ตารางที่ 4.8 ปริมาณปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย ถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านซีแปลิ่ง

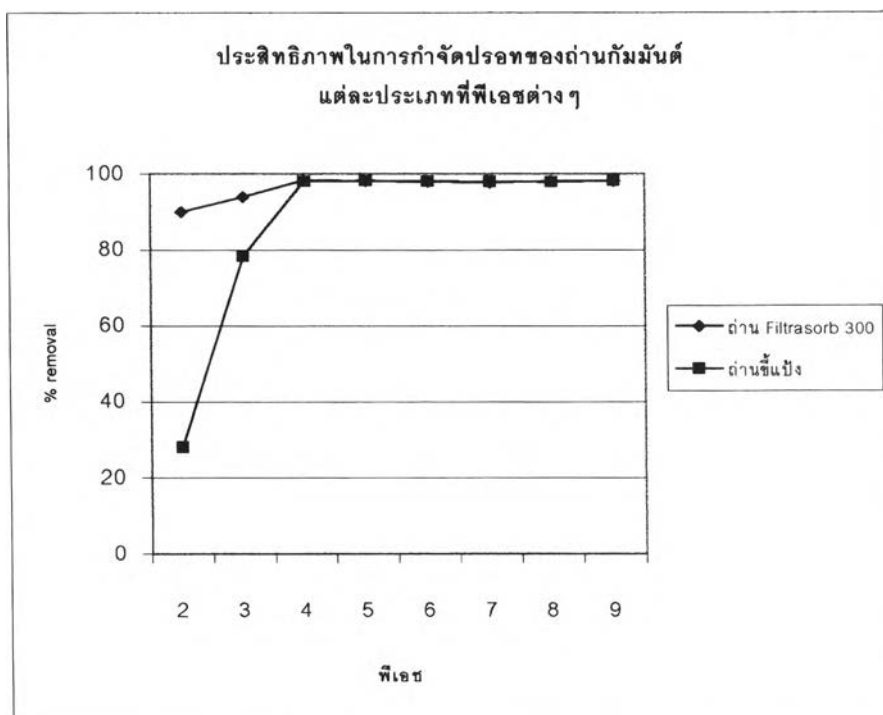
ประเภทถ่าน	พีเอช เริ่มต้น	พีเอช สุดท้าย	ปริมาณปรอท ที่เหลือ (mg/l)	% Removal
ถ่าน Filtrasorb 300	2	1.92	0.999	90.01
	3	3.31	0.601	93.99
	4	4.55	0.162	98.38
	5	7.05	0.187	98.13
	6	7.16	0.199	98.01
	7	7.21	0.223	97.77
	8	7.24	0.185	98.15
	9	7.42	0.183	98.17
	ถ่านซีแปลิ่ง	2	2.09	7.187
3		3.79	2.169	78.31
4		4.46	0.184	98.16
5		4.51	0.168	98.32
6		4.73	0.188	98.12
7		4.80	0.190	98.10
8		5.05	0.214	97.86
9		5.40	0.164	98.36

ตารางที่ 4.9 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ

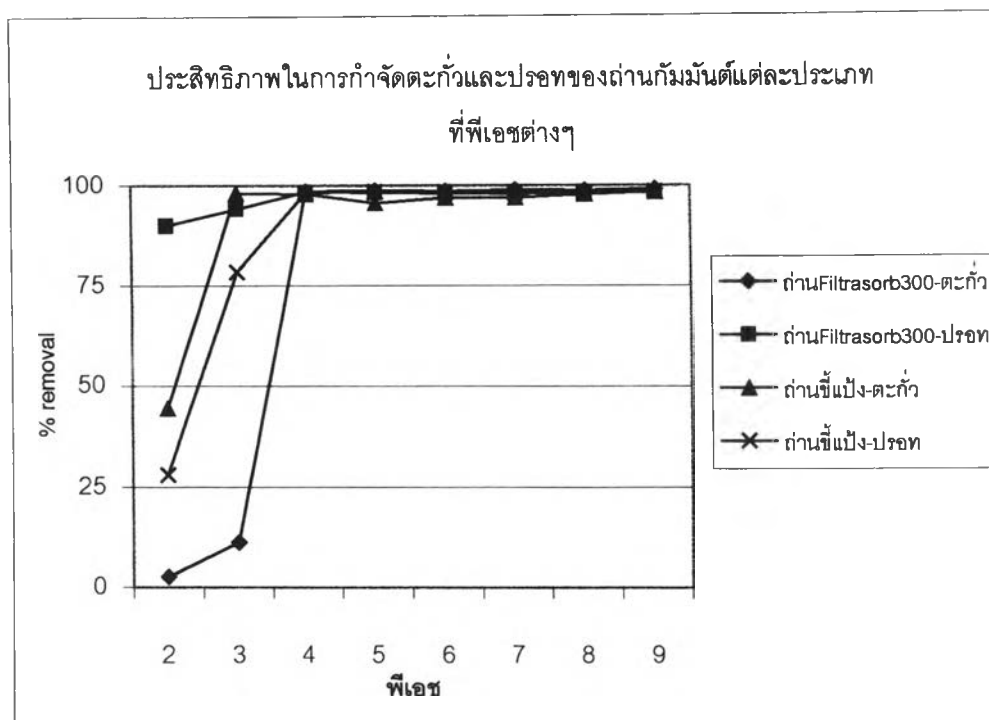
ประเภทถ่าน	พีเอช	ปริมาณตะกั่วใน น้ำเสียสังเคราะห์ (mg/l)	ปริมาณปรอทใน น้ำเสียสังเคราะห์ (mg/l)	% removal ตะกั่ว	%removal ปรอท
ถ่าน Filtrasorb 300	2	9.742	0.999	2.58	90.01
	3	8.885	0.601	11.15	93.99
	4	0.144	0.162	98.56	98.38
	5	0.124	0.187	98.76	98.13
	6	0.154	0.199	98.46	98.01
	7	0.120	0.223	98.80	97.77
	8	0.125	0.185	98.75	98.15
	9	0.095	0.183	99.05	98.17
ถ่านซีแบ็ง	2	5.557	7.187	44.43	28.13
	3	0.197	2.169	98.03	78.31
	4	0.212	0.184	97.88	98.16
	5	0.440	0.168	95.60	98.32
	6	0.321	0.188	96.79	98.12
	7	0.314	0.190	96.86	98.10
	8	0.232	0.214	97.68	97.86
	9	0.158	0.164	98.42	98.36



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่พีเอชต่างๆ



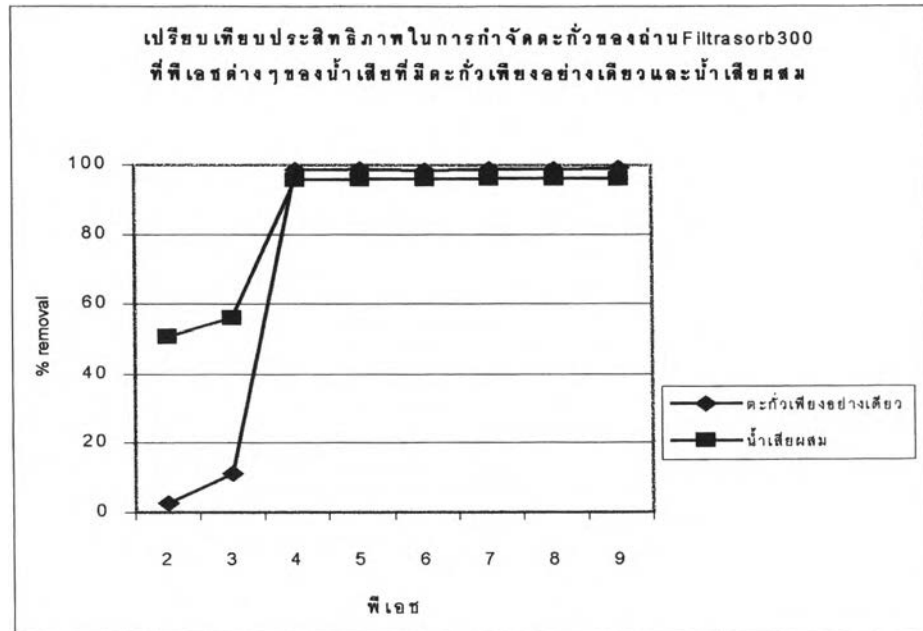
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่พีเอชต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่าตั้งแต่พีเอช 3 ขึ้นไป ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด เริ่มมีการดูดติดผิว ตะกั่วและปรอทได้ และมีประสิทธิภาพในระดับที่ไม่แตกต่างกันมาก ในการศึกษารั้งนี้ได้เลือกที่ พีเอช 4 เป็นช่วงที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป เนื่องจากเป็นช่วงที่ตะกั่วยังตกตะกอนไม่มากนัก จึงเป็นการศึกษาการดูดติดผิวของถ่าน ถ้าเลือกพีเอชสูงกว่านี้จะเป็นการตกตะกอนของตะกั่ว มากกว่าการดูดติดผิว ซึ่งจากผลการทดลองจะได้เปอร์เซ็นต์ removal ของถ่าน Filtrasorb 300 เป็น 98.56 % และถ่านขี้เถ้าเป็น 97.88% ส่วนปรอทนั้นไม่พบปัญหาการตกตะกอนเหมือนตะกั่ว จึงไม่ต้องระวังในการตกตะกอนมากกว่าการดูดติดผิว เพราะพีเอชทุกช่วงนั้นเป็นการดูดติดผิว อย่างแท้จริง ซึ่งพบว่าตั้งแต่พีเอช 4 ขึ้นไป % removal สารปรอทมากกว่า 90% ขึ้นไป คือใช้ถ่าน Filtrasorb 300 เป็น 98.38% และถ่านขี้เถ้าเป็น 98.16%

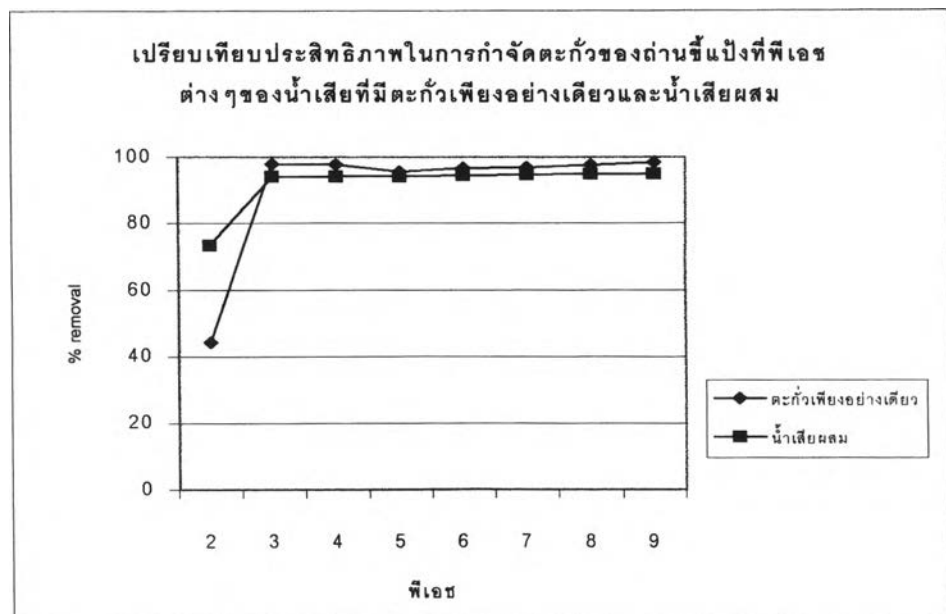


ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์เพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม

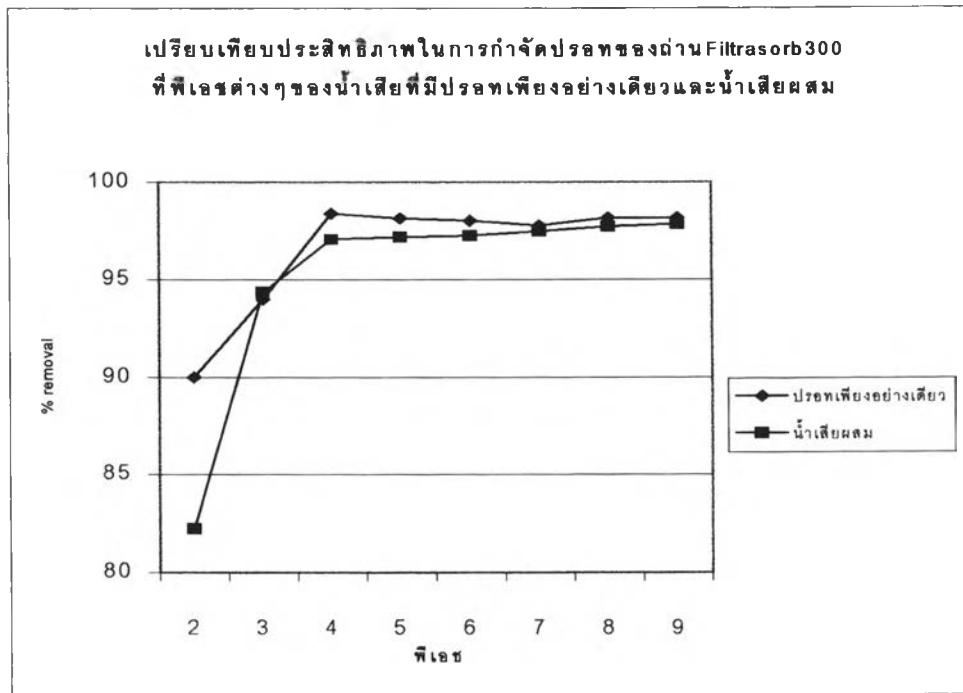
ประเภทถ่าน	พีเอช	ประสิทธิภาพในการดูดติดผิว ตะกั่ว		ประสิทธิภาพในการดูดติดผิว ปรอท	
		น้ำเสียที่มี ตะกั่วอย่างเดียว (%)	น้ำเสียผสม (%)	น้ำเสียที่มี ปรอทอย่างเดียว (%)	น้ำเสียผสม (%)
ถ่าน Filtrisorb 300	2	2.58	50.74	90.01	82.25
	3	11.15	56.20	93.99	94.33
	4	98.56	95.69	98.38	97.06
	5	98.76	95.88	98.13	97.16
	6	98.46	95.96	98.01	97.25
	7	98.80	96.03	97.77	97.47
	8	98.75	96.02	98.15	97.71
	9	99.05	96.01	98.17	97.84
ถ่านซีแบ็ง	2	44.43	73.5	28.13	57.95
	3	98.03	94.14	78.31	95.61
	4	97.88	94.25	98.16	96.49
	5	95.60	94.26	98.32	96.80
	6	96.79	94.62	98.12	96.85
	7	96.86	94.69	98.10	96.90
	8	97.68	94.98	97.86	96.93
	9	98.42	94.96	98.36	96.88



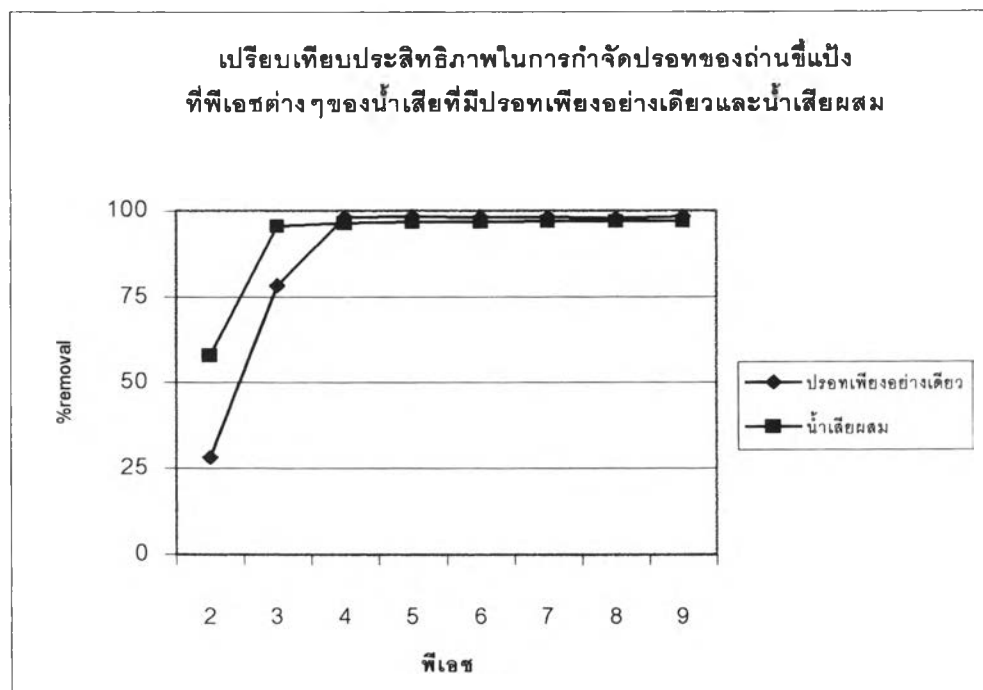
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่าน Filtrasorb 300 ที่พีเอชต่างๆของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านซีแบ่งที่พีเอชต่างๆของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่าน Filtrasorb 300 ที่พีเอชต่างๆของน้ำเสียที่มีปรอทเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่านซีแบ็งที่พีเอชต่างๆของน้ำเสียที่มีปรอทเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม

พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภท เมื่อทำการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วหรือปรอทเพียงอย่างเดียว คือ ตั้งแต่พีเอช 4 จะกำจัดตะกั่วและปรอทไปได้มากกว่า 90 % และจะเริ่มคงที่ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วหรือปรอทเพียงอย่างเดียวจะลดลงร้อยละ 2-6 ทั้งนี้เป็นเพราะพื้นที่ผิวอีกส่วนหนึ่งต้องถูกนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักอีกตัวหนึ่งด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักลดลง แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการดูดซับก็สูงเกินกว่าร้อยละ 90 ในถ่านทุกประเภท

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า ที่พีเอชตั้งแต่ 4 ขึ้นไป ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านที่เตรียมจากกากซีเมนต์ สามารถดูดซับได้ไม่แตกต่างกับถ่าน Filtrasorb 300 มากนัก ดังนั้นในการเลือกพีเอชเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป จะใช้พีเอชเท่ากับ 4 เพราะในกรณีของตะกั่วเป็นช่วงพีเอชที่ยังไม่ตกตะกอนมากนัก และในกรณีของปรอทนั้นเป็นพีเอชที่เริ่มดูดซับได้มากกว่า 95 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงการดูดซับในสารละลายผสมนั้นที่พีเอช 4 ตะกั่วก็จะถูกดูดซับได้และปรอทก็ถูกดูดซับได้เช่นเดียวกัน และยังพบว่าถ่าน Filtrasorb 300 สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าปรอทที่สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะขนาดของไอออนของตะกั่วมีขนาดใหญ่กว่า โดยตะกั่วมีรัศมีไอออน 120 pm และปรอทมีรัศมีไอออน 110 pm การที่มีตะกั่วมีรัศมีไอออนใหญ่กว่าทำให้สามารถดูดซับได้ดีกว่า แต่เนื่องจากตะกั่วและปรอทมีรัศมีไอออนไม่ต่างกันมากนักทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไม่ต่างกันมากนักเช่นกัน

#### 4.2.2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม จะทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ประเภท ที่เข้มข้นของตะกั่วและปรอท เท่ากับ 10, 15 และ 20 mg/l โดยจะเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอชเท่ากับ 4 และใช้ถ่านแต่ละประเภทปริมาณ 0.2 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ / นาที เป็นเวลา 120 นาที

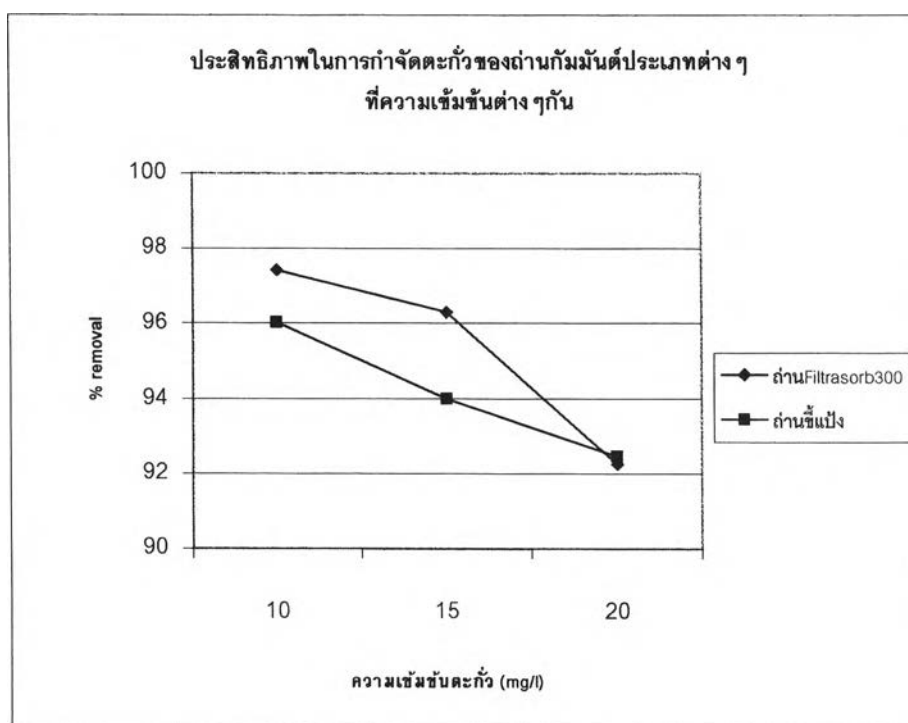
พบว่าการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียที่มีตะกั่วและปรอท สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.11 ถึงตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านแต่ละประเภท

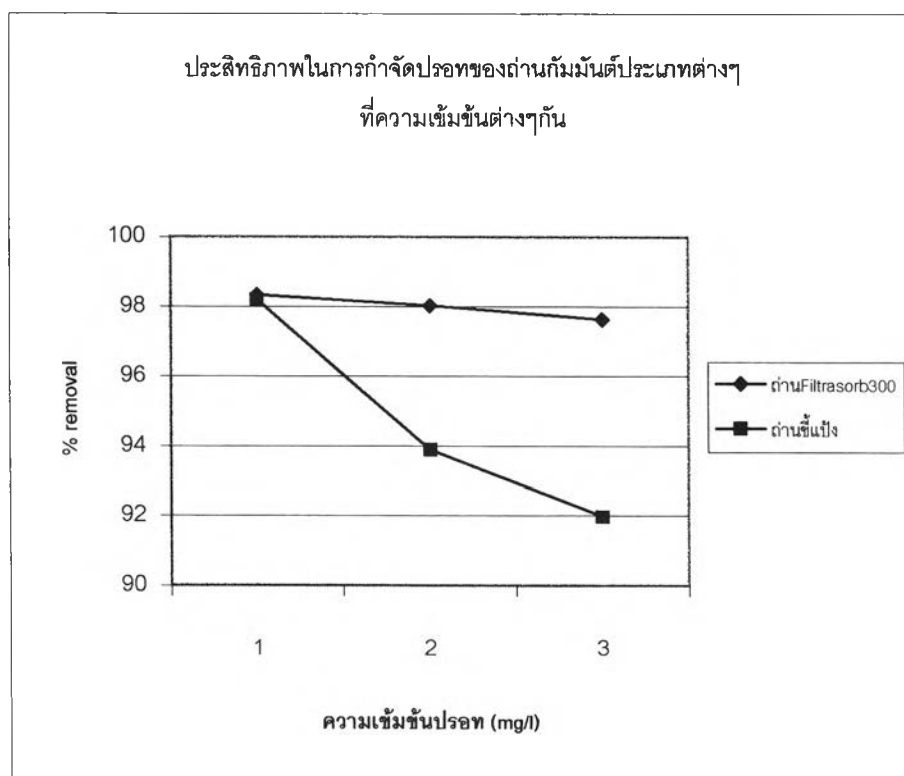
ประเภทถ่าน	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่าน Filtrasorb 300	10	0.297	0.292	0.189	0.259	97.41
	15	0.553	0.547	0.569	0.556	96.29
	20	1.632	1.498	1.521	1.550	92.25
ถ่านซีบ่าง	10	0.410	0.390	0.397	0.399	96.01
	15	0.900	0.900	0.900	0.900	94.00
	20	1.500	1.500	1.520	1.507	92.47

ตารางที่ 4.12 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดติดผิวปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านแต่ละประเภท

ประเภทถ่าน	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณปรอทที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่าน Filtrasorb 300	10	0.168	0.169	0.160	0.165	98.35
	15	0.299	0.291	0.296	0.295	98.03
	20	0.455	0.482	0.479	0.472	97.64
ถ่านซีบ่าง	10	0.179	0.180	0.180	0.180	98.20
	15	0.930	0.904	0.917	0.917	93.89
	20	1.666	1.539	1.606	1.604	91.98



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท จาก 10 เป็น 15 และ 20 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านซีแบ็งมีค่าลดลง สำหรับถ่าน Filtrasorb 300 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วจะลดลงจากร้อยละ 97.41 เหลือร้อยละ 96.29 และ 92.25 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว เป็น 10, 15 และ 20 mg/l ตามลำดับ สำหรับ ถ่านซีแบ็ง พบว่าประสิทธิภาพในการดูดติดผิวจะลดลงจากร้อยละ 98.43 เหลือร้อยละ 77.97 และ 75.39 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว เป็น 10, 15 และ 20 mg/l ตามลำดับ

การดูดติดผิวปรอทพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่าน Filtrasorb 300 จะลดลงจากร้อยละ 98.35 เป็นร้อยละ 98.03 และ 97.64 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปรอท เป็น 10, 15 และ 20 mg/l ตามลำดับ ส่วนถ่านซีแบ็งประสิทธิภาพจะลดลงจากร้อยละ 98.20 เหลือร้อยละ 93.89 และ 91.98 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปรอท เป็น 10, 15 และ 20 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะ การดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดนั้น พบว่าในระยะแรกโลหะหนักจะเข้าไปแทรกอยู่บริเวณ รูพรุน ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากบริเวณผิวของถ่าน แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โลหะหนัก เหล่านั้นก็จะจับตัวอยู่ได้เพียงแค่ว่าบริเวณผิวของถ่านเท่านั้น โดยมีลักษณะการจับตัวเป็นชั้นๆ ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งจับตัวกันไม่แน่นหรือไม่แข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะหลุดออก จากผิวถ่านได้ง่าย ดังนั้นที่ความเข้มข้นต่ำๆ ถ่านจึงมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวได้ดีกว่าที่ ความเข้มข้นสูงๆ

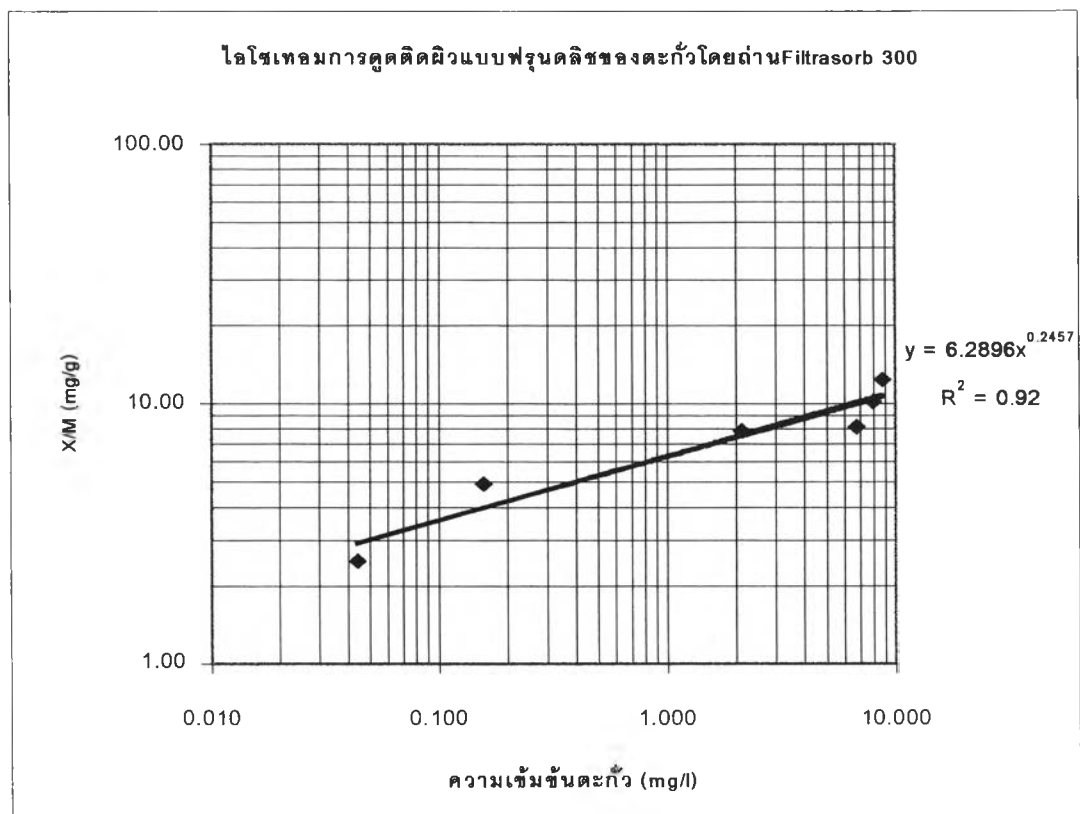
#### 4.2.3 ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิว

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองคือน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน  $PbNO_3$  และ  $HgNO_3$  โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท 10 mg/l จำนวน 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ โดยปรับพีเอชให้เท่ากับ 4 เติมถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านซีแบ็ง ที่ปริมาณ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20 และ 0.40 กรัม เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ / นาที เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นแยกน้ำตัวอย่างออกจากผงถ่าน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและปรอท ที่เหลือในน้ำ (ASTM, 1996) แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิช (Freundlich)

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิวตะกั่วและปรอท ได้ผลดังตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.16 ถึงรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.13 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300

น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือ (mg/l)	% removal
0	10	0
0.01	8.762	12.38
0.02	7.967	20.33
0.04	6.73	32.7
0.1	2.115	78.85
0.2	0.157	98.43
0.4	0.044	99.56

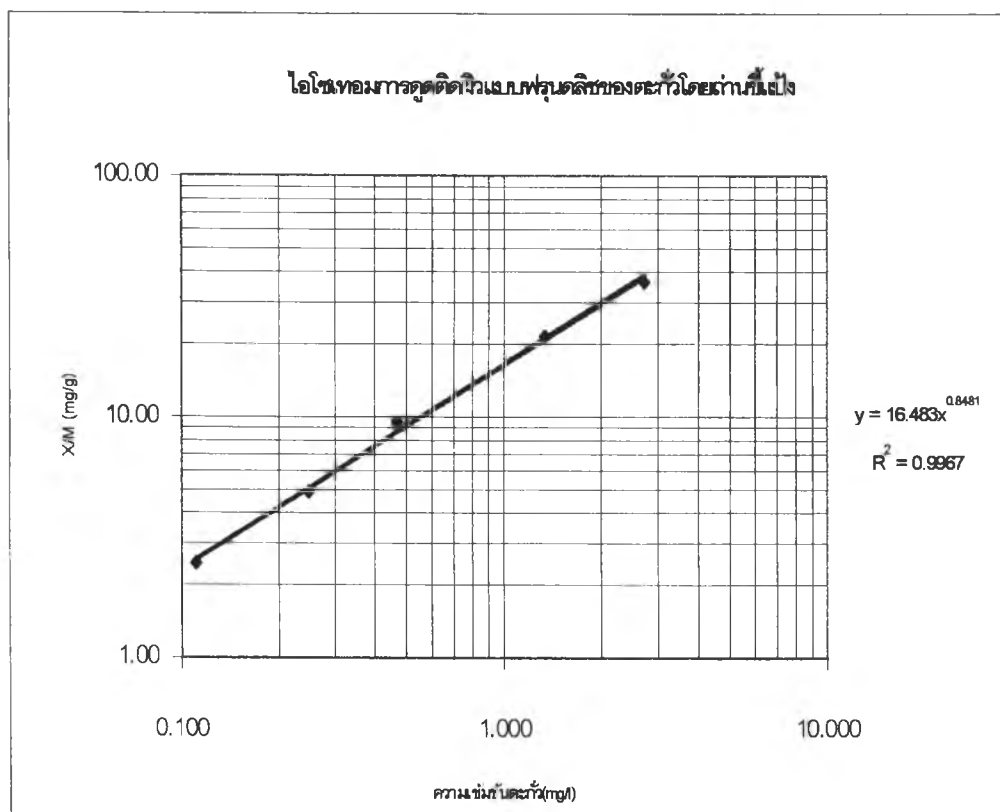


รูปที่ 4.16 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของตะกั่วโดยถ่าน Filtrasorb 300



ตารางที่ 4.14 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่านซีแปลัง

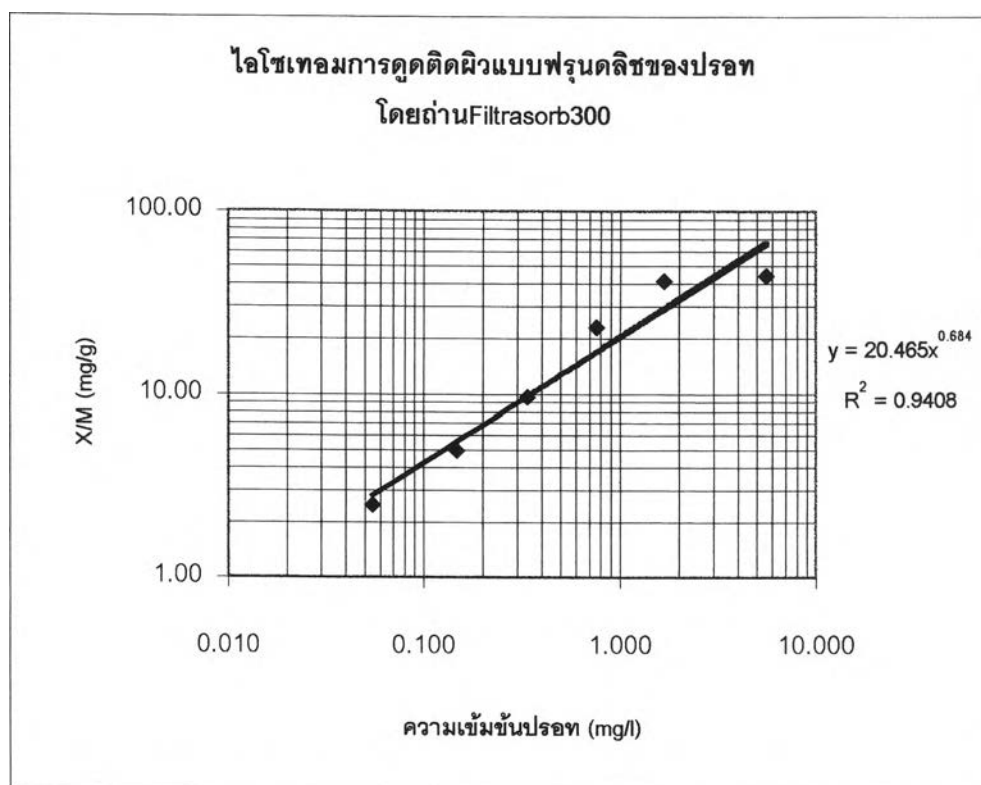
น้ำหนักถ่าน(g)	ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือ (mg/l)	% removal
0	10.000	0
0.02	2.714	72.86
0.04	1.341	86.59
0.1	0.467	95.33
0.2	0.248	97.52
0.4	0.111	98.89



รูปที่ 4.17 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของตะกั่วโดยถ่านซีแปลัง

ตารางที่ 4.15 ปริมาณปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300

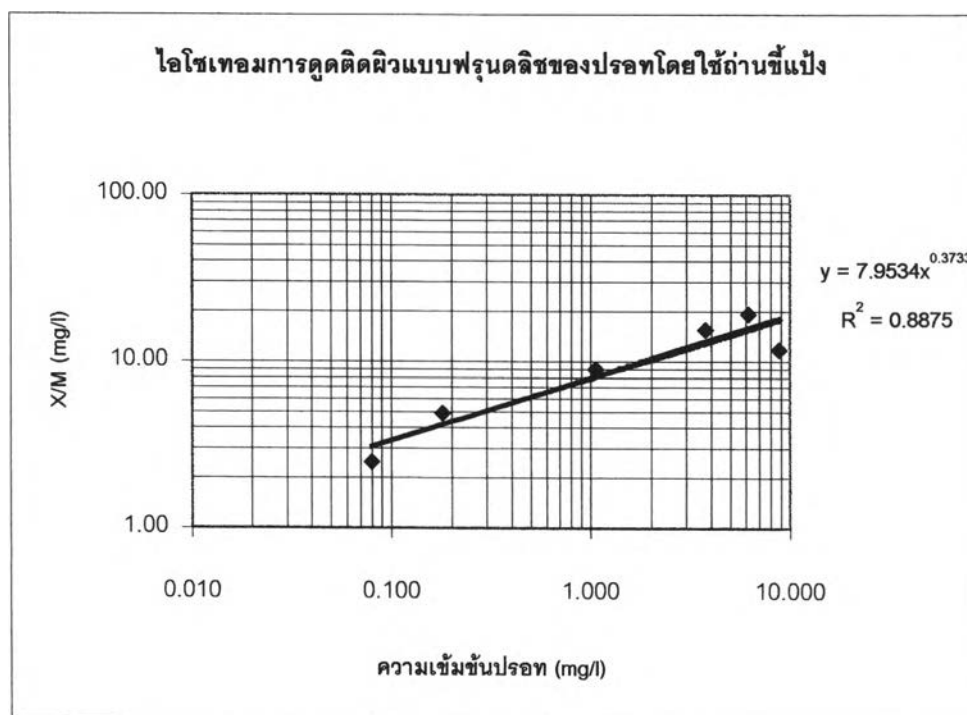
น้ำหนักถ่าน(g)	ความเข้มข้นของปรอทที่เหลือ(mg/l)	% removal
0.00	10.000	0.00
0.01	5.579	44.21
0.02	1.683	83.17
0.04	0.764	92.36
0.10	0.339	96.61
0.20	0.148	98.52
0.40	0.055	99.45



รูปที่ 4.18 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิชของปรอทโดยถ่าน Filtrasorb 300

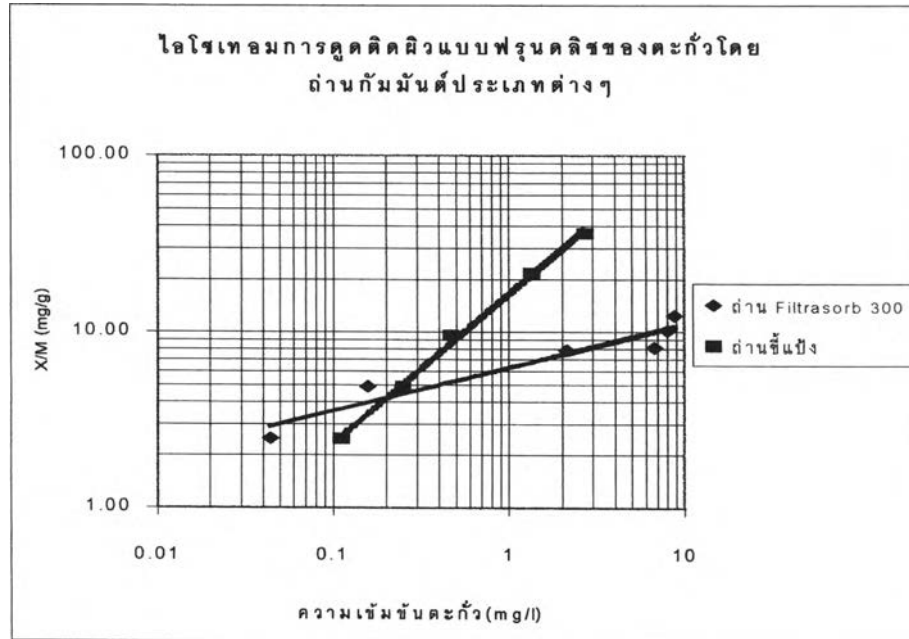
ตารางที่ 4.16 ปริมาณปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่านซีแ่ง

น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นของปรอทที่เหลือ(mg/g)	% removal
0	10.00	0.00
0.01	8.82	11.83
0.02	6.15	38.47
0.04	3.75	62.53
0.1	1.06	89.39
0.2	0.18	98.25
0.4	0.08	99.25

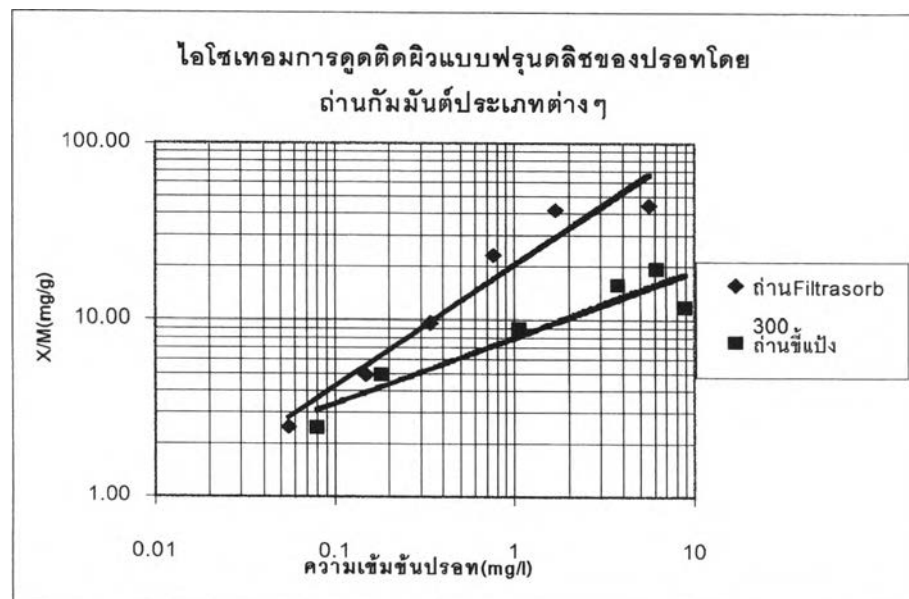


รูปที่ 4.19 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพหุนคติขของปรอทโดยใช้ถ่านซีแ่ง

จากความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของตะกั่วและปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอท ผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.20 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ



รูปที่ 4.21 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของปรอทโดยถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ

เส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถอธิบายได้จากสมการ Freundlich คือ  $X/M = KC^{1/n}$  หรือ  $\log X/M = \log K + (1/n) \log C$  ซึ่งความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทของถ่าน สามารถพิจารณาได้จากค่า  $X/M$  ซึ่งเป็นปริมาณของตะกั่วและปรอทที่ถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักถ่านที่ใช้ โดยทั่วไปถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวที่อยู่เหนือเส้นอื่นจะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวดีกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านแต่ละชนิด สามารถใช้ค่าคงที่  $K$  และ  $1/n$  ที่ได้จากสมการของ Freundlich โดยที่  $\log K$  เป็นจุดตัดแกน  $Y$  และ  $1/n$  เป็นความชันของสมการเส้นตรง ค่าคงที่ดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าคงที่ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทจากสมการของฟรุนดลิช

ชนิดถ่านกัมมันต์	ตะกั่ว		ปรอท	
	K	1/n	K	1/n
ถ่าน Filtrasorb 300	6.29	0.25	20.47	0.68
ถ่านซีแปปิ่ง	16.48	0.85	7.95	0.38

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลข้างต้น พบว่าค่าความชัน  $1/n$  ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด ในการดูดติดผิวตะกั่ว มีค่าเท่ากับ 0.25 และ 0.85 ตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟของถ่านซีแปปิ่ง มีความชันมากกว่าถ่าน Filtrasorb 300 แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วได้ดีกว่าถ่าน Filtrasorb 300 เมื่อใช้ปริมาณถ่านที่เท่ากันในการดูดติดผิวตะกั่ว ค่าความชัน  $1/n$  ที่มากกว่า แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดติดผิวที่ดีเมื่อความเข้มข้นสูง แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำๆ โดยทั่วไปถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวชันมาก จะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูงเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส ส่วนค่าคงที่  $K$  แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว โดยที่ค่า  $K$  สูงจะทำให้การดูดติดผิวมากขึ้น ซึ่งถ่านซีแปปิ่งมีค่า  $K$  สูงกว่าถ่าน Filtrasorb 300 จึงมีความสามารถในการดูดติดผิวมากกว่า

ส่วนการดูดติดผิวปรอทพบว่าค่าความชัน  $1/n$  ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดในการดูดติดผิวปรอท มีค่าเท่ากับ 0.68 และ 0.38 ตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟของถ่าน Filtrasorb 300 มีความชันมากกว่าถ่านซีแปปิ่ง แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วได้ดีกว่าถ่านซีแปปิ่ง เมื่อใช้ปริมาณถ่านที่เท่ากันในการดูดติดผิวตะกั่ว ค่าความชัน  $1/n$  ที่มากกว่า แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดติดผิวที่ดีเมื่อความเข้มข้นสูง แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำๆ โดยทั่วไปถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวชันมาก จะมีประสิทธิภาพ

ในการดูดติดผิวสูงเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส ส่วนค่าคงที่ K แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว โดยที่ค่า K สูงจะทำให้การดูดติดผิวมากขึ้น ซึ่งถ่าน Filtrasorb 300 มีค่า K สูงกว่าถ่านซีแปปิ่ง จึงมีความสามารถในการดูดติดผิวมากกว่า

เมื่อพิจารณาทั้งค่า K และค่า  $1/n$  ของถ่านซีแปปิ่ง พบว่าถ่านซีแปปิ่งมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัสได้ดีกว่าปรอท และนอกจากนี้เมื่อแทนค่าความเข้มข้นตะกั่วและปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัม / ลิตร ลงในสมการความสัมพันธ์ จะได้ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด ( $X / M$ ) ของตะกั่วและปรอทของถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านซีแปปิ่ง มีค่าดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด ( $X / M$ )

ชนิดถ่านกัมมันต์	ตะกั่ว		ปรอท	
	สมการ	X/M (mg/g)	สมการ	X/M (mg/g)
ถ่าน Filtrasorb 300	$Y=6.2896X^{0.2457}$	11.07	$Y=20.465X^{0.684}$	98.85
ถ่านซีแปปิ่ง	$Y=16.483X^{0.8481}$	116.18	$Y=7.9534X^{0.2457}$	18.78

จากตารางที่ 4.18 พบว่าถ่าน Filtrasorb 300 1 กรัม สามารถดูดติดผิวตะกั่วได้ 11.07 มิลลิกรัม และดูดติดผิวปรอทได้ 98.85 มิลลิกรัม ส่วนถ่านซีแปปิ่ง 1 กรัม สามารถดูดติดผิวตะกั่วได้ 116.18 มิลลิกรัม และดูดติดผิวปรอทได้ 18.78 มิลลิกรัม

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าถ่าน Filtrasorb 300 สามารถดูดติดผิวปรอทได้ดีกว่าตะกั่ว เนื่องจากถ่าน Filtrasorb 300 เป็นถ่านที่ผลิตมาจากถ่านหินปิทิวมินัส (Calgon, 1996) ซึ่งมีซิลเฟอร์เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในถ่านหิน และปรอทนั้นสามารถตกตะกอนโดยมีซิลไฟด์เป็นสารช่วยตกตะกอนได้ (Eckenfelder, 2000) คาดว่าการกำจัดปรอทโดยใช้ถ่าน Filtrasorb 300 นั้นจึงน่าจะมาจากเหตุผลดังกล่าวนั่นเอง

#### 4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์จากกากซีแปปิ่งโดยการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (Column test)

เนื่องจากถ่านซีแปปิ่งที่เตรียมได้นั้นมีความละเอียดค่อนข้างสูง จึงเกิดปัญหาการอุดตันของคอลัมน์ ผู้วิจัยจึงทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการเพิ่มวัสดุเชื่อมประสานกับถ่านซีแปปิ่งที่เตรียมได้

เพื่อจะนำไปศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานได้ ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้นำดินเหนียวมาเป็นวัสดุเชื่อมประสาน โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านซีแ่ง และดินเหนียวที่อัตราส่วน 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50 และ 40 : 60 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปขึ้นรูปให้เป็นเม็ด หลังจากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบเดิม คือเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างเกลือแ่งที่เหลือจากการเผาและติดค้างอยู่บนวัตถุดิบจนหมด นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาคัดเลือกขนาดให้อยู่ในช่วง 8\*30 เมช แล้วนำไปทดสอบด้วยการเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำหนักรถ่าน : น้ำหนักดิน ในการอัดเม็ด โดยพิจารณาจากการละลายของถ่านแบบเม็ดดังตารางที่ 4.19 แล้วนำถ่านที่เตรียมได้ไปใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.19 การทดสอบการละลายของถ่านแบบเม็ด

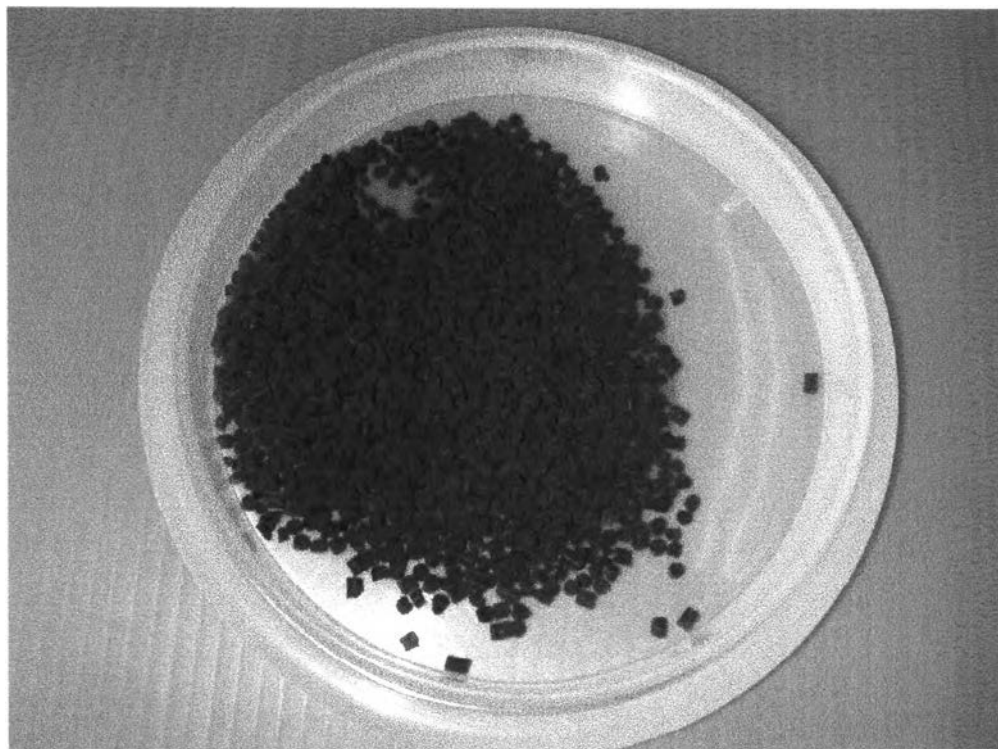
อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว	การละลายของเม็ดถ่านหลังการเขย่า
70 : 30	ละลาย
60 : 40	ละลาย
50 : 50	ไม่ละลาย
40 : 60	ไม่ละลาย

หมายเหตุ : สังเกตการละลายจากสีของน้ำในขวดรูปชมพู่

จากตารางที่ 4.19 พบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว ที่ 70 : 30 และ 60 : 40 เมื่อผ่านการทดสอบโดยการนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ / นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงนั้น เม็ดถ่านที่เตรียมได้นั้นจับตัวเป็นเม็ดได้ไม่ดี เนื่องจากมีการละลายออกมา ส่วนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียวเป็น 50 : 50 และ 40 : 60 นั้นมีการจับตัวกันได้ดีเนื่องจากไม่มีการละลายออกมา

ดังนั้นทั้ง อัตราส่วน 50 : 50 และ 40 : 60 จึงเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์แบบเม็ด แต่เนื่องจากในวัตถุประสงค์การวิจัยในครั้งนี้ต้องการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากซีแ่ง ผู้วิจัยจึงเลือกที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว เป็น 50 : 50 เนื่องจากมีน้ำหนักของถ่านมากกว่าที่ 40 : 60 โดยจะถือว่า

ถ่านผสมดินเหนียวที่เตรียมได้นั้นเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดเพื่อใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งถ่านที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ถ่านซีแบ่งชนิดเม็ดในการทดลองแบบต่อเนื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพหรือความสามารถในการใช้งานของถ่านกัมมันต์ เพื่อติดตามวัดตะกั่วและปรอทโดยเป็นการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ (column test) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และสูง 120 เซนติเมตร การทดลองจะใช้ทิศทางการไหลของน้ำแบบไหลลง (down flow) โดยจะนำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท 10 mg/l และปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 4 ไหลผ่านคอลัมน์ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตร/ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บที่ปลายท่อออกของน้ำที่ความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและปรอท สำหรับการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าความเข้มข้นและปริมาตรของถ่านในคอลัมน์ที่ระดับความสูง 30, 60, 90, 120 เซนติเมตร เพื่อนำไปสร้าง Breakthrough Curve นั้น สามารถคำนวณ Bed Volume (BV) โดยใช้สมการ



$$\text{Bed Volume (BV)} = \frac{\text{ปริมาตรของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)}}{\text{ปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ (ลิตร)}}$$

$$\text{เมื่อปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ (ลิตร)} = \frac{\pi r^2 h}{1000}$$

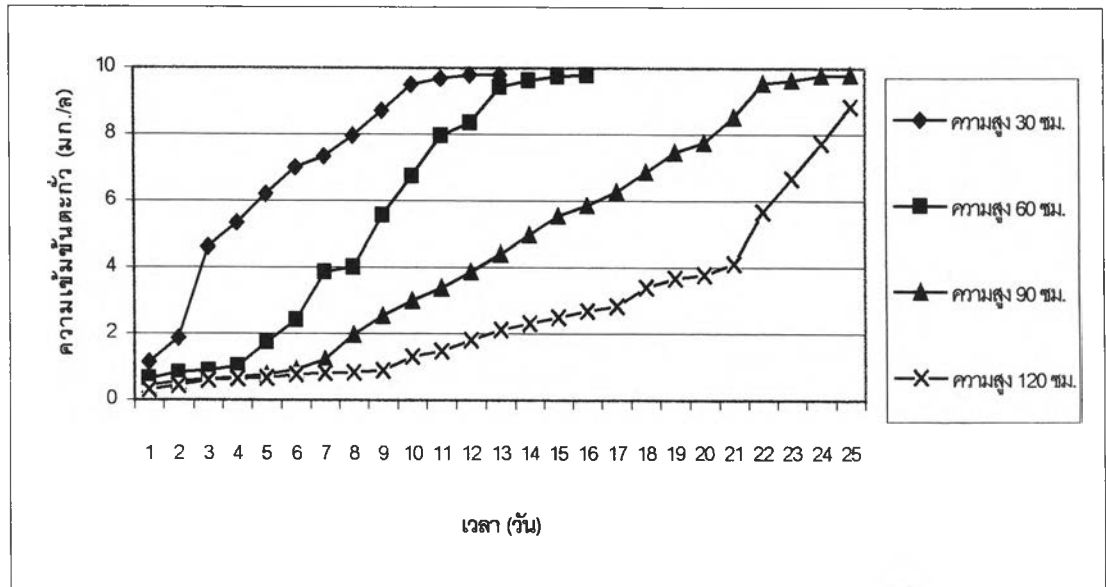
$$\text{โดยที่ } r = \text{รัศมีของคอลัมน์ (เซนติเมตร)}$$

$$h = \text{ความสูงของชั้นถ่านในคอลัมน์ (เซนติเมตร)}$$

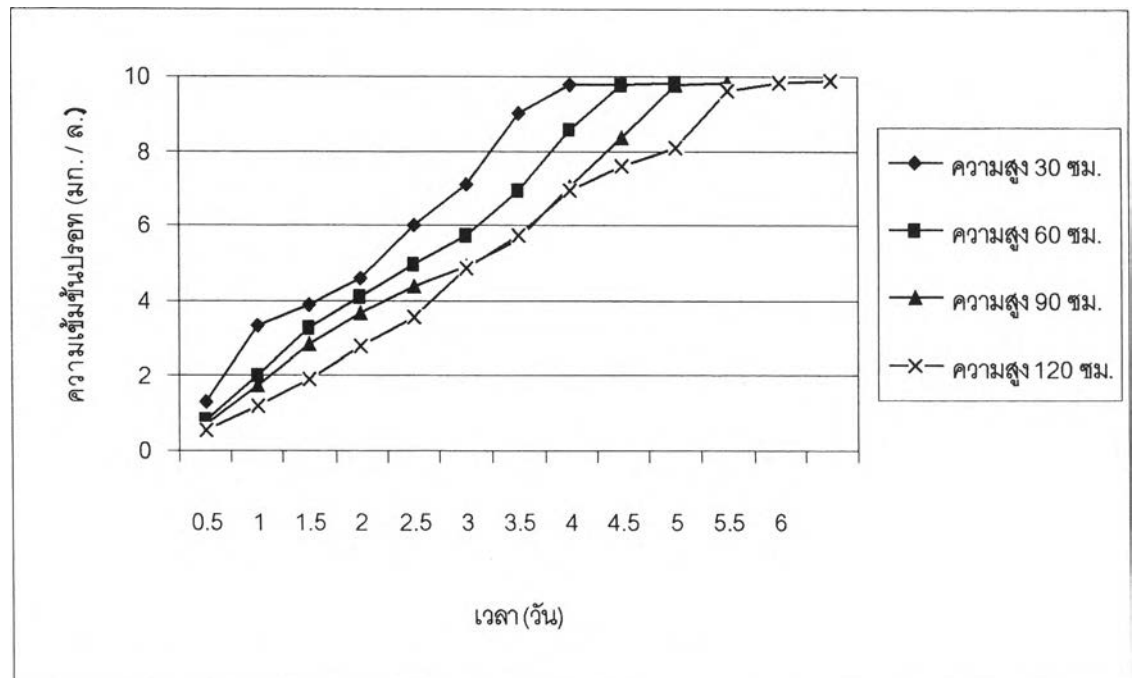
ตารางที่ 4.20 การคำนวณปริมาตรของชั้นถ่านที่ระดับความสูงต่างๆ

ความสูงของชั้นถ่าน (ซม.)	ปริมาตรของชั้นถ่าน (ลิตร)	น้ำหนักถ่าน (กรัม)
30	0.14	112.20
60	0.29	224.40
90	0.44	336.60
120	0.58	448.80

หลังจากนั้นจะทำการศึกษา Breakthrough Curve ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังจากถูกดูดติดผิวโดยถ่านซีแบริ่ง กับปริมาตรของน้ำหลังผ่านคอลัมน์ ในที่นี้ได้รายงานผลการทดลอง เป็นเวลาที่น้ำเสียถูกบำบัดผ่านโดยที่ให้อัตราไหลคงที่ 3 ลิตร / ชั่วโมง ดังนั้นน้ำจะผ่านการบำบัดเป็นปริมาตร 72 ลิตร / วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.21 ถึงตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ถึง รูปที่ 4.24



รูปที่ 4.23 แสดงเส้นโค้ง Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่ไหลออกอยู่กับเวลาที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน



รูปที่ 4.24 แสดงเส้นโค้ง Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของปรอทที่ไหลออกอยู่กับเวลาที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองการกำจัดตะกัวในคอลัมน์

ความสูง ชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ตะกัว		
		ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ปริมาณน้ำ (BV)	น้ำหนักตะกัวที่ถูกกำจัดต่อกรัม ของถ่าน (มิลลิกรัมต่อกรัม)
30	112.20	864	5865.58	76.99
60	224.40	1152	3910.39	51.33
90	336.60	1728	3909.50	51.32
120	448.80	1800	3054.47	40.10

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองการกำจัดปรอทในคอลัมน์

ความสูง ชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปรอท		
		ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ปริมาณน้ำ (BV)	น้ำหนักปรอทที่ถูกกำจัดต่อกรัม ของถ่าน (มิลลิกรัมต่อกรัม)
30	112.20	324	2199.59	28.87
60	224.40	360	1221.99	16.04
90	336.60	396	895.92	11.76
120	448.80	432	733.07	9.62

ความเข้มข้นของตะกัวและปรอทมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการให้น้ำผ่านคอลัมน์มากขึ้นและปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีมากขึ้น โดยในระยะแรกปริมาณสารตะกัวและปรอทจะลดลง เนื่องจากถ่านยังมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ ดังนั้นจึงสามารถดูดติดผิวตะกัวและปรอทที่ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ได้สูง และเมื่อเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวสำหรับการดูดติดผิวน้อยลง และไม่สามารถดูดติดผิวตะกัวและปรอทที่ผ่านเข้ามาใหม่ได้ จึงทำให้น้ำที่ออกจากคอลัมน์มีปริมาณตะกัวและปรอทสูงขึ้นจนกระทั่ง ณ จุดหนึ่ง ความเข้มข้นของตะกัวและปรอทจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ผ่านเข้าสู่การดูดติดผิว ณ จุดนี้เรียกว่าจุดหมดสภาพ ซึ่งเป็นจุดที่ถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิวแล้ว

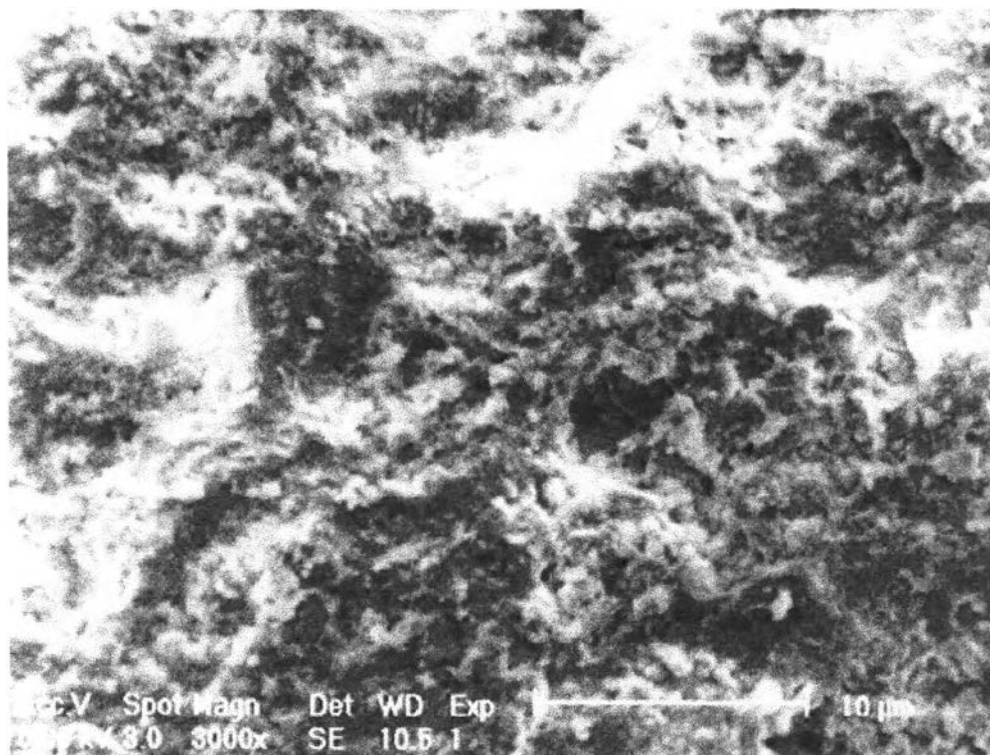
จากตารางที่ 4.19 ถึง ตารางที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพของการดูดติดผิวตะกั่วและปรอท ที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ดังนั้นจะได้ว่าที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ถ่านซีแบ่ง 1 กรัม สามารถดูดติดผิวตะกั่วได้เท่ากับ 76.99, 51.33, 51.32 และ 40.10 มิลลิกรัม ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวปรอท ได้เท่ากับ 28.87, 16.04, 11.76 และ 9.62 มิลลิกรัม ตามลำดับ

นอกจากนั้นยังแสดงปริมาตรของน้ำในหน่วย Bed Volume พบว่าถ่านซีแบ่งมีความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 5865.58, 3910.39, 3909.50 และ 3054.47 BV ตามลำดับ ส่วนการดูดติดผิวปรอทที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 2199.59, 1221.99, 895.92 และ 733.07BV ตามลำดับ

แต่เนื่องจากจุด Breakthrough ของตะกั่วที่ระดับ 120 เซนติเมตร นั้นความเข้มข้นของ ตะกั่วในน้ำเข้าและน้ำออกยังไม่เท่ากัน คือความเข้มข้นของตะกั่วที่เวลาสุดท้ายในการเก็บ ตัวอย่างมีค่า 8.841 มิลลิกรัม / ลิตร (ภาคผนวก ค) เนื่องจากคอลัมน์เริ่มมีการอุดตัน ค่าการ คำนวณที่ได้จึงอาจไม่ใช่ค่า Breakthrough ที่แท้จริงของตะกั่วที่ระดับ 120 เซนติเมตร

อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองข้างต้นทั้งการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ ฟรอนดลิชและการทดสอบแบบต่อเนื่องในคอลัมน์นั้นแสดงให้เห็นว่า ถ่านซีแบ่งมีประสิทธิภาพ ในการดูดติดผิวตะกั่วดีกว่าปรอทซึ่งสอดคล้องกับการทดลองหาไอโซเทอมในการทดลองข้างต้น

เมื่อนำถ่านซีแบ่งที่ผ่านการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทจากคอลัมน์ไปวิเคราะห์โครงสร้าง และพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) จะได้ผลดัง รูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงโครงสร้างและพื้นผิวของถ่านซีแ่งหลังจากการดูดติดผิว

จากรูปจะเห็นว่า พื้นผิวของถ่านซีแ่งหลังจากการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทจะเปลี่ยนแปลงไป โดยพื้นผิวของถ่านจะถูกปิดจากอนุภาคของตะกั่วและปรอทที่ถูกดูดติดผิว