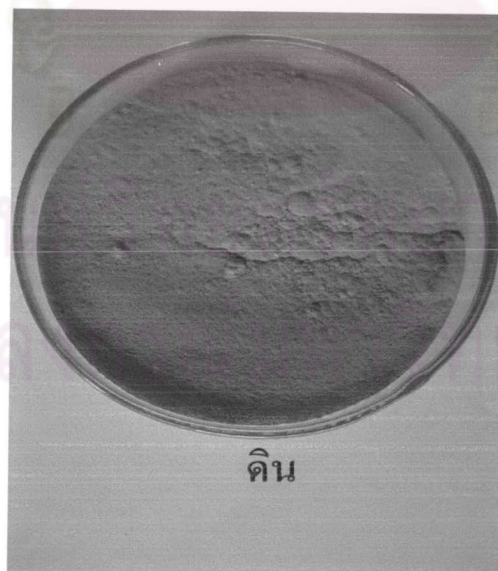


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาองค์ประกอบของดิน

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตดินเผาเคลือบคือ ดินเหนียวได้จากหมู่บ้านเครื่องปั้นดินเผาบ้านเกาะเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (รูปที่ 4.1) นำมาอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และจากการวิเคราะห์ดินเหนียวด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ของบริษัท Phillips รุ่น PW 2400 ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าดินเหนียวมีธาตุต่าง ๆ ดังนี้ Si, Al, Fe, K, Mg, Ti, Ca และ Na



รูปที่ 4.1 ดินเหนียวอบแห้งผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh)

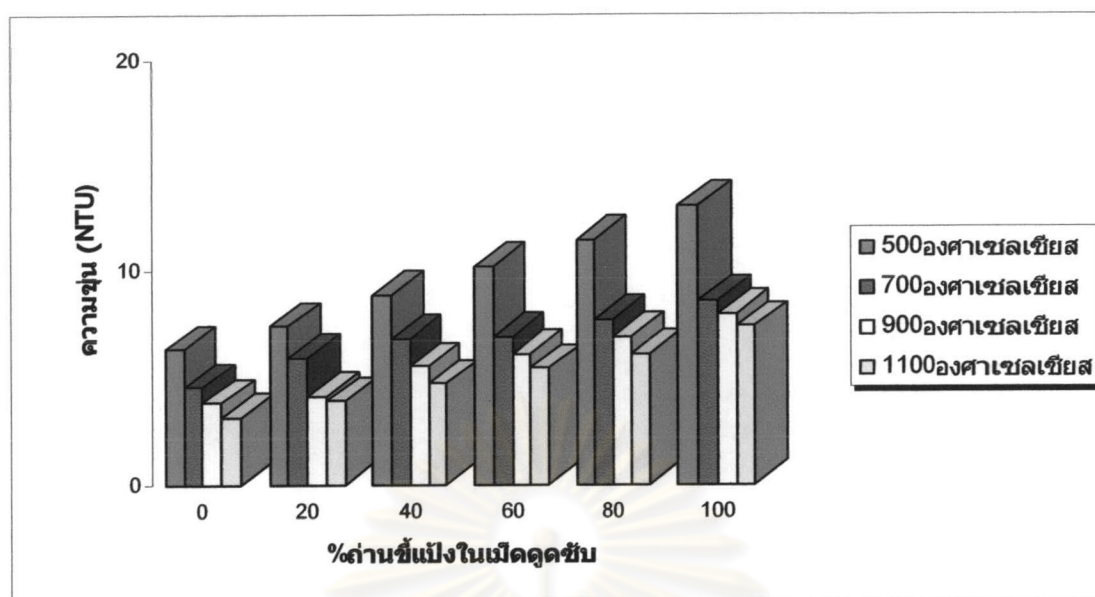
ตารางที่ 4.1 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของดินเหนียวที่สามารถวัดด้วยเครื่อง XRF

Compound	Conc. (เปอร์เซ็นต์)	Compound	Conc. (เปอร์เซ็นต์)
SiO <sub>2</sub>	68.440	MgO	1.244
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.204	TiO <sub>2</sub>	0.804
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.874	Na <sub>2</sub> O	0.634
K <sub>2</sub> O	2.205	CaO	0.594

#### 4.2 การผลิตตัวดูดซับ

จากวิธีการผลิตตัวดูดซับที่แสดงไว้ในหัวข้อ 3.3.2 บทที่ 3 จะทำให้สามารถผลิตตัวดูดซับที่มีสมบัติแตกต่างกันไปถึง 24 ตัวอย่างและเพื่อหาตัวอย่างที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุดเพียงตัวอย่างเดียว เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของตัวดูดซับที่ผลิตได้ ซึ่งต้องไม่แตกหักง่ายหรือละลายน้ำ ดังนั้นในการทดสอบความแข็งแรงของตัวดูดซับในเบื้องต้นนั้นสามารถทำได้โดยพิจารณาจากค่าความชุ่มในสารละลายจะทำการวิเคราะห์โดยนำตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 (ข้อมูลผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ง.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

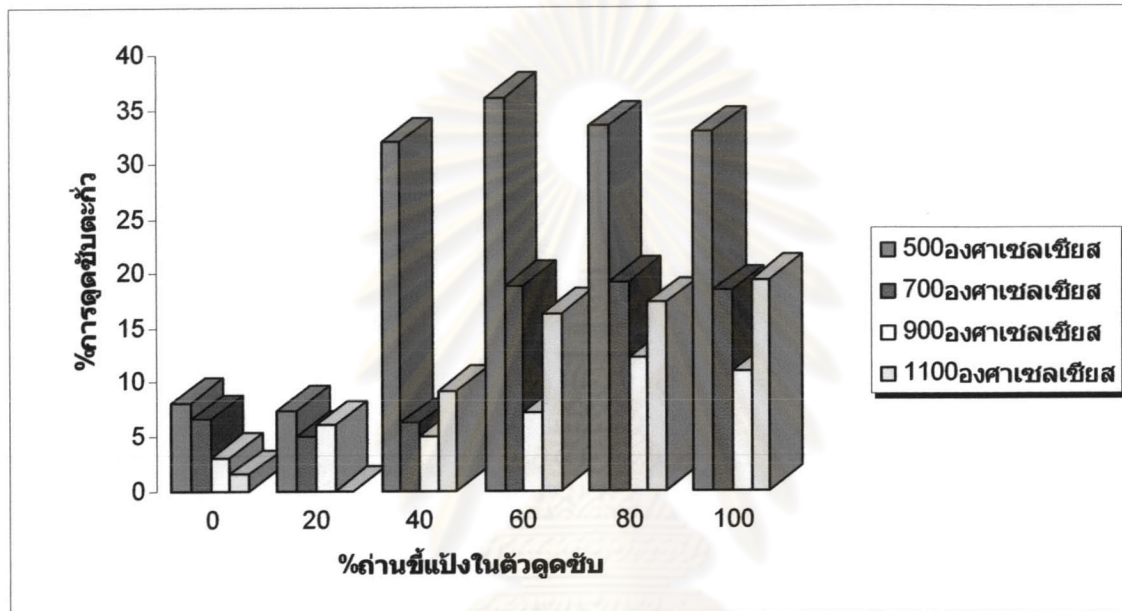


รูปที่ 4.2 ค่าความขุ่นในสารละลายเมื่อทำการแยกตัวดูดซับแต่ละอัตราส่วนในน้ำกลั่น

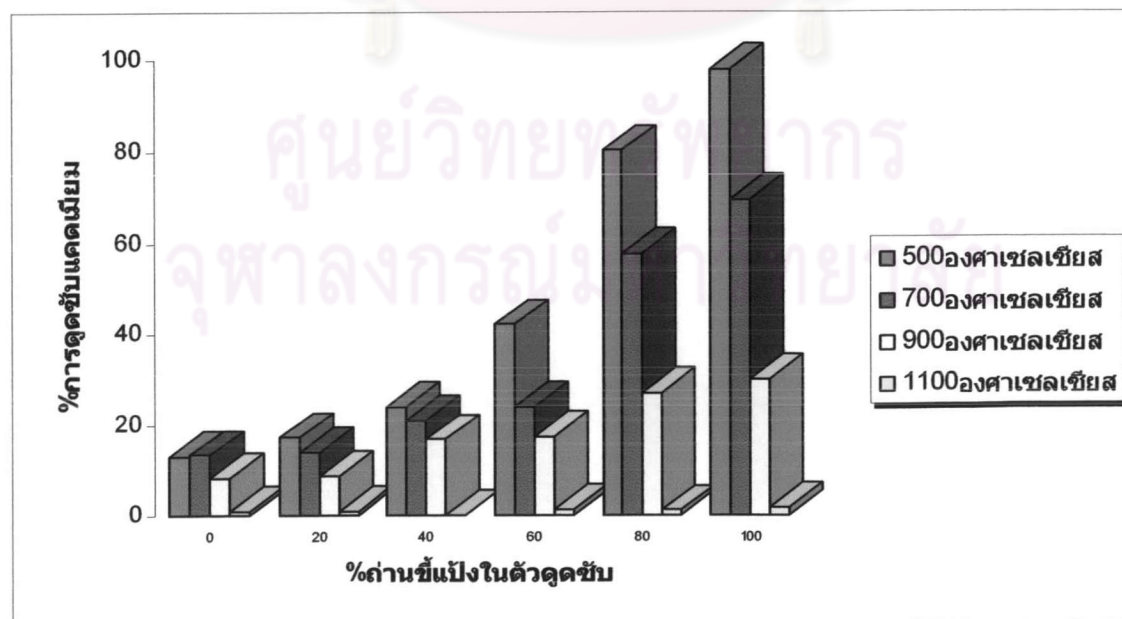
จากมาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมไม่ได้ระบุค่าความขุ่นเอาไว้ แต่จากมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาได้กำหนดค่าความขุ่นสูงสุดเอาไว้ไม่เกิน 10 NTU ซึ่งหากปล่อยน้ำที่มีค่าความขุ่นสูงกว่า 10 NTU ก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่อุณหภูมิการเผาเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความขุ่นสูงกว่าที่อุณหภูมิการเผาอื่นๆ ทุกๆอัตราส่วนของตัวดูดซับ โดยจะมีค่าความขุ่นที่เกิน 10 NTU (มันสิน ต้นทุลเวศม์, 2538 อ้างถึงใน กิตตินันท์ กงสีบชาติ, 2546) ในอัตราส่วนที่มีขี้เถ้าเป็นองค์ประกอบร้อยละ 60, 80 และ 100 ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิการเผาที่ 700, 900 และ 1100 องศาเซลเซียสมีค่าความขุ่นใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิการเผาขึ้นเท่าใดก็ตาม ค่าความขุ่นที่ได้ก็ไม่เกิน 10 NTU

#### 4.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดูซับตะกั่วและแคดเมียม

นำตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่างมาทำการทดลองหาค่าความสามารถในการดูซับตะกั่วและแคดเมียมสูงสุด ตามการทดลองที่ 3.3.3 สามารถแสดงค่าความสามารถในการดูซับตะกั่วและแคดเมียม ได้ดัง รูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่า เปอร์เซ็นต์ การดูซับตะกั่ว โดยตัวดูดซับแต่ละอัตราส่วนและอุณหภูมิการเผา



รูปที่ 4.4 ค่า เปอร์เซ็นต์ การดูซับแคดเมียม โดยตัวดูดซับแต่ละอัตราส่วนและอุณหภูมิการเผา



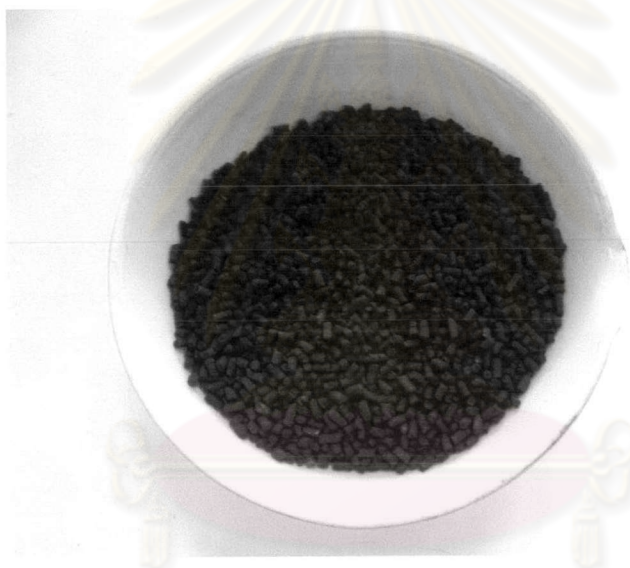
จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่อุณหภูมิการเผาตัวดูดซับเท่ากับ 500 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิการเผา 700, 900 และ 1100 องศาเซลเซียส ในทุกอัตราส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราส่วนดินเหนียวต่อถ่านจี้เป็งเท่ากับ 40 : 60 ที่อุณหภูมิการเผา 500 องศาเซลเซียสหรือเรียกว่า 5AC60 เป็นอัตราส่วนที่มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้สูงสุดคือ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้สูงสุดเท่ากับ 3.60 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเท่ากับ 36 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่าความขุ่นพบว่าที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความขุ่นเท่ากับ 10.1 และจากรูปที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิการเผาเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าทุกอุณหภูมิ โดยที่อัตราส่วนดินเหนียวต่อถ่านจี้เป็งเท่ากับ 0 : 100 มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมได้สูงสุด เท่ากับ 9.79 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือเท่ากับเท่ากับ 97.95 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องในหัวข้อของวิทยานิพนธ์นี้ต้องการใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานกับถ่านจี้เป็ง ดังนั้นในกรณีของแคดเมียมจึงเลือกใช้ตัวดูดซับที่เตรียมจากอัตราส่วนดินเหนียวต่อถ่านจี้เป็งเท่ากับ 20 : 80 ที่อุณหภูมิการเผา 500 หรือเรียกว่า 5AC80 ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เท่ากับ 8.01 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือเท่ากับ 80.1เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับค่าความขุ่นพบว่าที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความขุ่นเท่ากับ 11.5 NTU

จากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งทำการเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ในอัตราส่วนที่มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมสูงสุด พบว่ามีค่าความขุ่นเกินค่ามาตรฐานน้ำเลี้ยงปลาที่กำหนดไว้ที่ 10 NTU แต่จุดมุ่งหมายของงานวิจัยในครั้งนี้ในการทำการศึกษาเพื่อนำไปใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง (ColumnTest) ซึ่งไม่มีการเขย่าคอลัมน์ ดังนั้น โอกาสที่ตัวดูดซับจะแตกจึงค่อนข้างต่ำ

ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้ อัตราส่วนตัวดูดซับที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมคือ ตัวดูดซับที่มีอัตราส่วน 5AC60 และ 5AC80 ตามลำดับ แสดงรูปตัวดูดซับ 5AC60 และ 5AC80 ได้ดัง รูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ตัวดูดซับอัตราส่วน 5AC60 ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับตะกั่ว



รูปที่ 4.6 ตัวดูดซับอัตราส่วน 5AC80 ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแคดเมียม

#### 4.4 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

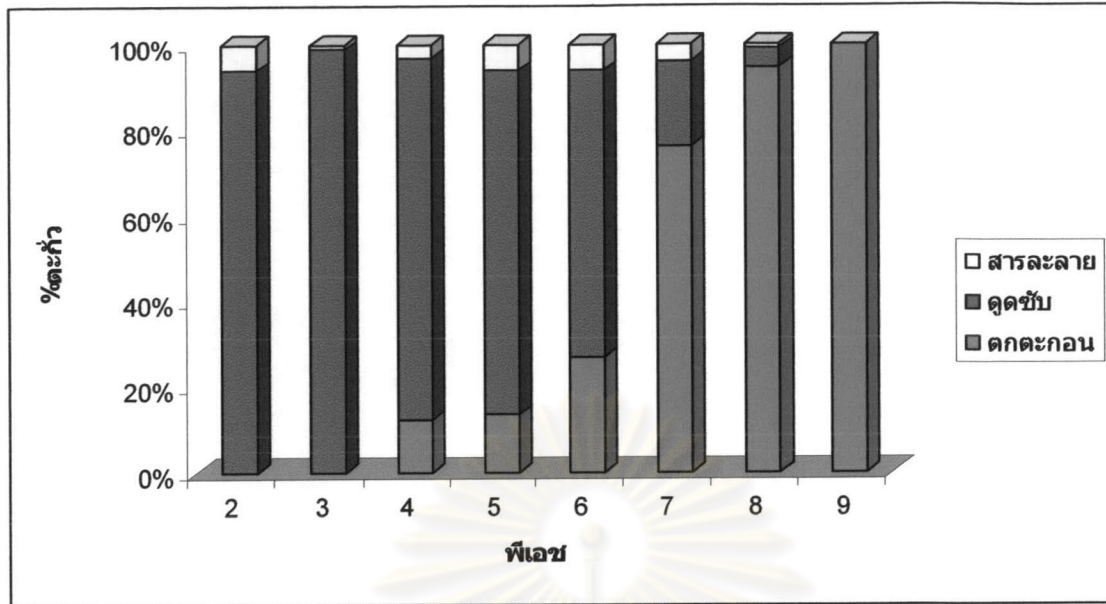
จากผลการทดลองข้อ 4.2 และ 4.3 จะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการดูดซับ ตะกั่วคือ 5AC60 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการดูดซับแคดเมียมคือ 5AC80 โดยนำตัวดูดซับที่ผลิตได้มาทำการทดลองตามการทดลองที่ 3.3.4 แต่เนื่องจากที่บางพีเอชตะกั่วและ

แคคเมียมมีความสามารถที่จะตกตะกอนได้ ดังนั้นเพื่อให้ผลที่ได้เป็นผลที่เกิดจากการดูดซับโดยตัวดูดซับที่ผลิตได้อย่างแท้จริง จึงได้ทำการทดลองเพื่อดูปริมาณการตกตะกอนที่พีเอชต่างๆ ควบคู่กันไปด้วย สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.7 และ 4.8

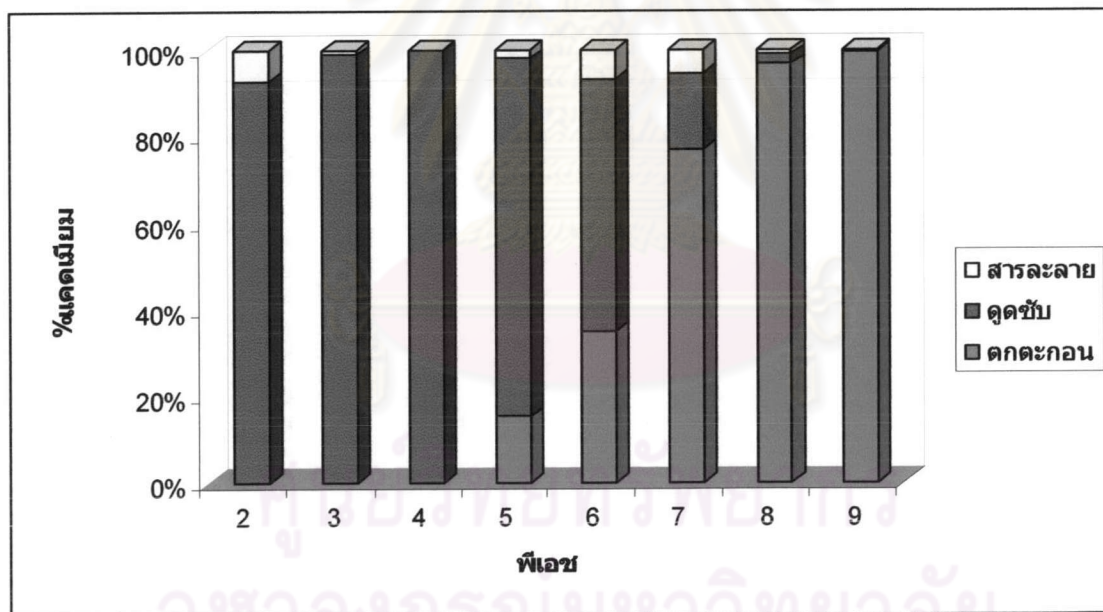
ตารางที่ 4.2 ผลของพีเอชต่อการตกตะกอนและการดูดซับตะกั่วและแคคเมียม

พีเอช	ตะกั่ว			แคคเมียม		
	เปอร์เซ็นต์ตกตะกอน	เปอร์เซ็นต์ดูดซับ	เปอร์เซ็นต์ในสารละลาย	เปอร์เซ็นต์ตกตะกอน	เปอร์เซ็นต์ดูดซับ	เปอร์เซ็นต์ในสารละลาย
2	0	60.22	39.78	0	55.91	44.09
3	0	88.26	11.74	0	89.33	10.67
4	9.59	65.51	24.90	0	97.23	2.77
5	8.7	51.77	39.53	12.7	69.26	18.04
6	17.2	43.28	39.52	21.6	36.32	42.08
7	55.45	14.49	30.1	51.4	11.84	36.76
8	87.44	4.16	8.40	86.4	2.01	11.59
9	99.9	0.0008	0.09	95.5	0.13	4.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ การตกตะกอนและการดูดซับตะกั่วที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ การตกตะกอนและการดูดซับแคดเมียมที่พีเอชต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนพบว่า ที่พีเอชสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเฉพาะที่พีเอช 9 ตะกั่วและแคดเมียมมี การตกตะกอนเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการในดูดซับตะกั่วและแคดเมียม โดยตัวดูดซับที่ผลิตได้ที่ พีเอชสูงๆ



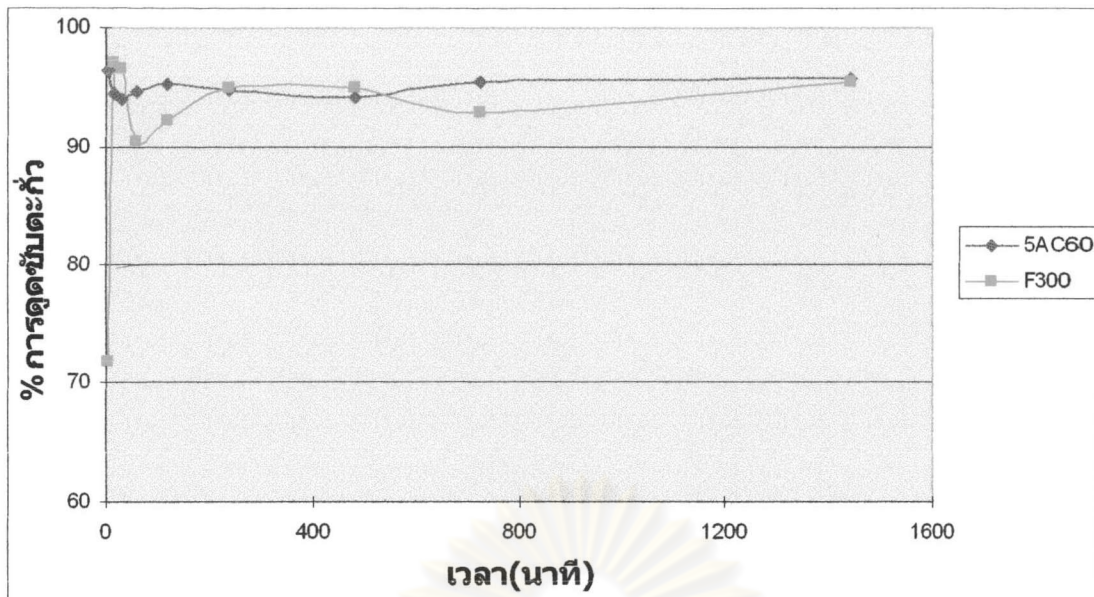
พบว่ามีความต่ำมาก เนื่องจากที่พีเอชสูงๆ จะมีไฮดรอกไซด์ไอออนซึ่งมีประจุเป็นลบอยู่ในสารละลายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงทำให้ตะกั่วและแคดเมียมซึ่งมีค่าประจุเป็นบวกจึงไม่ถูกดูดติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับ แต่จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดการตกตะกอนในรูปโลหะไฮดรอกไซด์แทน

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 และ 3 ตะกั่วไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นและที่พีเอชดังกล่าวตัวดูดซับ 5AC60 มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 60.22 เปอร์เซ็นต์และ 88.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้น พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วโดยตัวดูดซับ 5AC60 คือ พีเอชเท่ากับ 3 ซึ่งให้ค่าการดูดซับตะกั่วได้สูงที่สุด

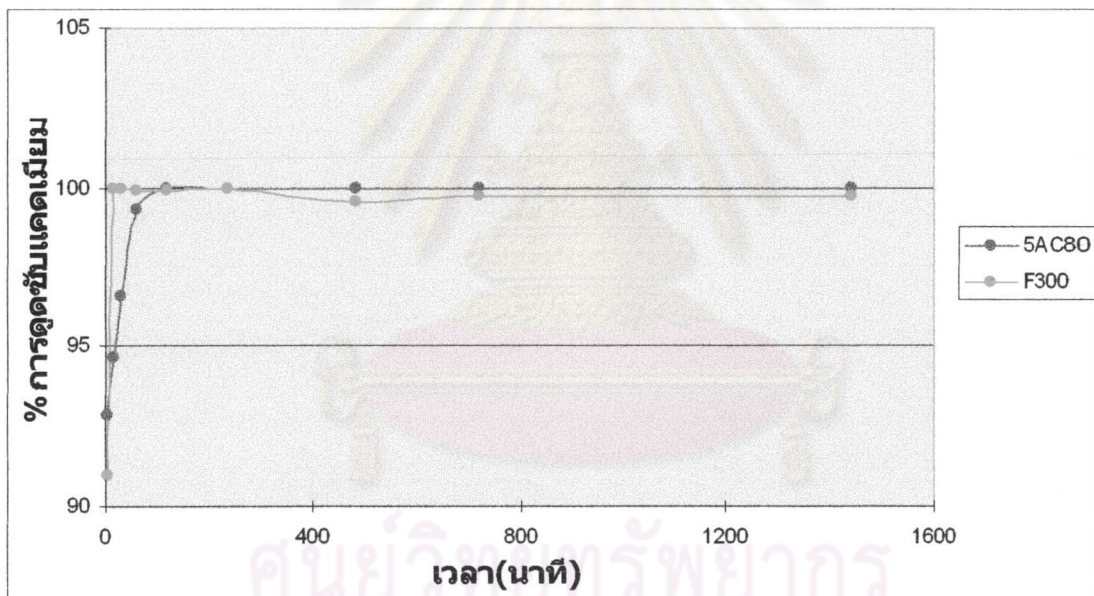
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2, 3 และ 4 แคดเมียมไม่เกิดการตกตะกอนเลยและที่พีเอช 2, 3 และ 4 ตัวดูดซับ 5AC80 มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมได้เท่ากับ 55.91 เปอร์เซ็นต์, 89.33 เปอร์เซ็นต์ และ 97.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้น พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมโดยตัวดูดซับ 5AC80 คือที่พีเอช 4 ซึ่งให้ค่าการดูดซับแคดเมียมสูงที่สุด

#### 4.5 การศึกษาหาเวลาสัมพัทธ์

จากการทดลองที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ทำให้ได้อัตราส่วนและค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับตะกั่ว 5AC60 ที่พีเอช 3 และสำหรับแคดเมียมคือ 5AC80 ที่พีเอชเท่ากับ 4 ตามลำดับ โดยที่ภาวะดังกล่าวทำให้ตัวดูดซับที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะแต่ละตัวได้สูงสุด ในการทดลองที่ 4.5 เป็นการหาเวลาสัมพัทธ์ของตัวดูดซับที่มีต่อโลหะแต่ละประเภทโดยทำการทดลองตามหัวข้อที่ 3.3.5 สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 เวลาสัมพัทธ์ในการดูดซับตะกั่วของตัวดูดซับ 5AC60



รูปที่ 4.10 เวลาสัมพัทธ์ในการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับ 5AC80

จากรูปที่ 4.9 พบว่า เปอร์เซนต์การดูดซับตะกั่วโดยตัวดูดซับ 5AC60 มีอัตราการดูดซับอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 5 นาทีแรก ซึ่งมีค่าการดูดซับถึง 96.51เปอร์เซ็นต์ และเริ่มเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาเคมีที่เวลาเท่ากับ 120 นาที หรือ 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ 95.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการ

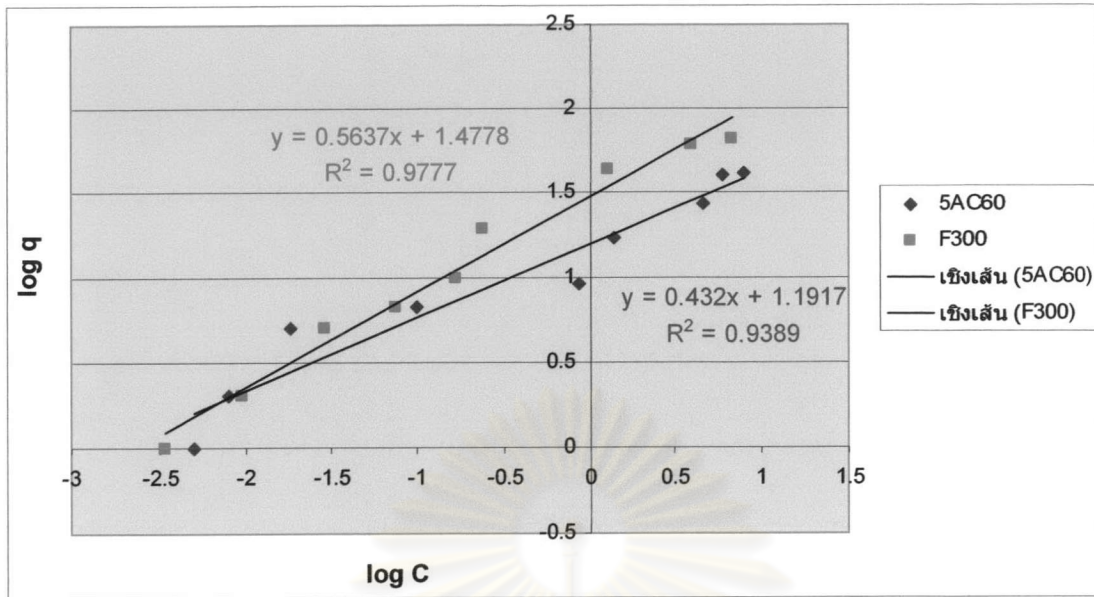
ดูดซับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 ถึงชั่วโมงที่ 24 จะมีอัตราการดูดซับอยู่ในช่วง 95 – 96 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การดูดซับตะกั่วโดยถ่าน F300 พบว่าอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก โดยมีอัตราการดูดซับถึง 90.98 เปอร์เซ็นต์ และเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาเคมีที่เวลาเท่ากับ 480 นาทีหรือ 4 ชั่วโมงซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ 94.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 – ชั่วโมงที่ 24 มีการดูดซับอยู่ในช่วง 95 – 95.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เวลาในการเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาเคมีการดูดซับตะกั่วของ 5AC60 และ F300 เท่ากับ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.10 พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับ 5AC80 มีอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 5 นาทีแรก โดยมีการดูดซับถึง 92.87 เปอร์เซ็นต์และเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาเคมีตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 โดยมีการดูดซับถึง 100 เปอร์เซ็นต์ คงที่ไปจนชั่วโมงที่ 24 ในขณะที่ การดูดซับแคดเมียมโดยถ่าน F300 มีการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 5 นาทีแรกเช่นกัน และถ่าน F300 เข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาเคมีตั้งแต่ 30 นาทีแรกโดยมีการดูดซับอยู่ในช่วง 99.5 – 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เวลาในการเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาเคมีการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับ 5AC80 และถ่าน F300 มีค่าเท่ากับ 2 ชั่วโมงและ 30 นาที ตามลำดับ

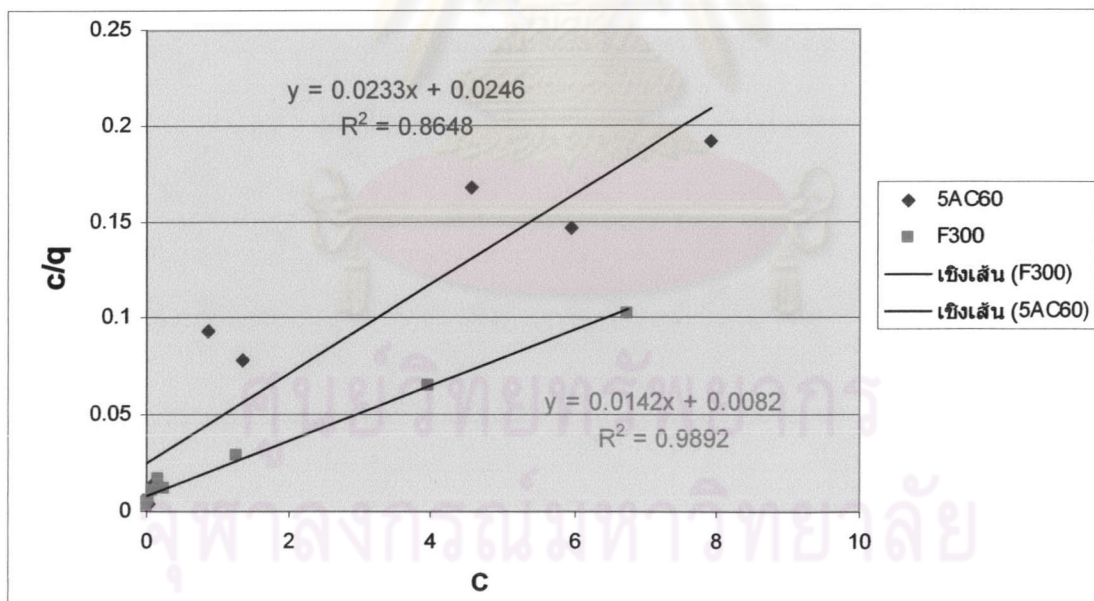
#### 4.6 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

จากการทดลองที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ทำให้ได้อัตราส่วน ค่าพีเอชและเวลาสัมผัสที่เหมาะสมคือ สำหรับตะกั่ว อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 5AC60 ที่พีเอช 3 และสำหรับแคดเมียมพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 5AC80 ที่พีเอช 4 ตามลำดับ และมีเวลาการสัมผัสเท่ากับ 2 ชั่วโมง นำมาทำการทดลองตามข้อ 3.3.6 โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างตัวดูดซับกับถ่าน F300 ไอโซเทอมที่นิยมนำมาใช้ในการอธิบายมีอยู่ 2 แบบคือ ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดริช ซึ่งได้ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  ของไอโซเทอม จะต้องมามีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด



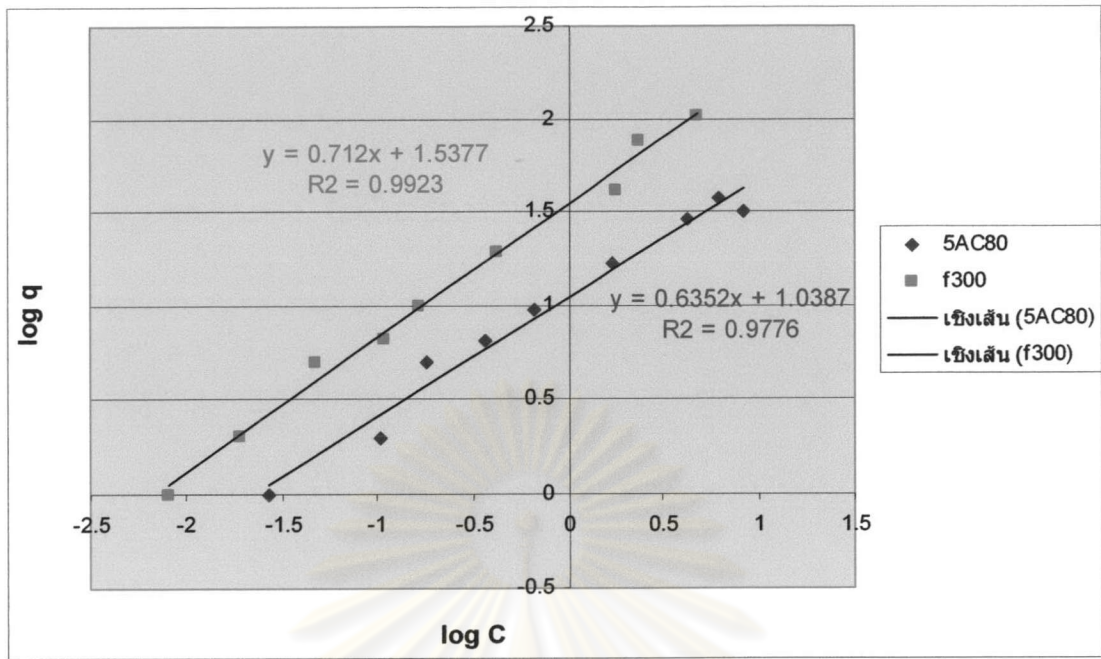


รูปที่ 4.11 สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชของตัวดูดซับ 5AC60 และถ่าน F300 ที่มีต่อตะกั่ว

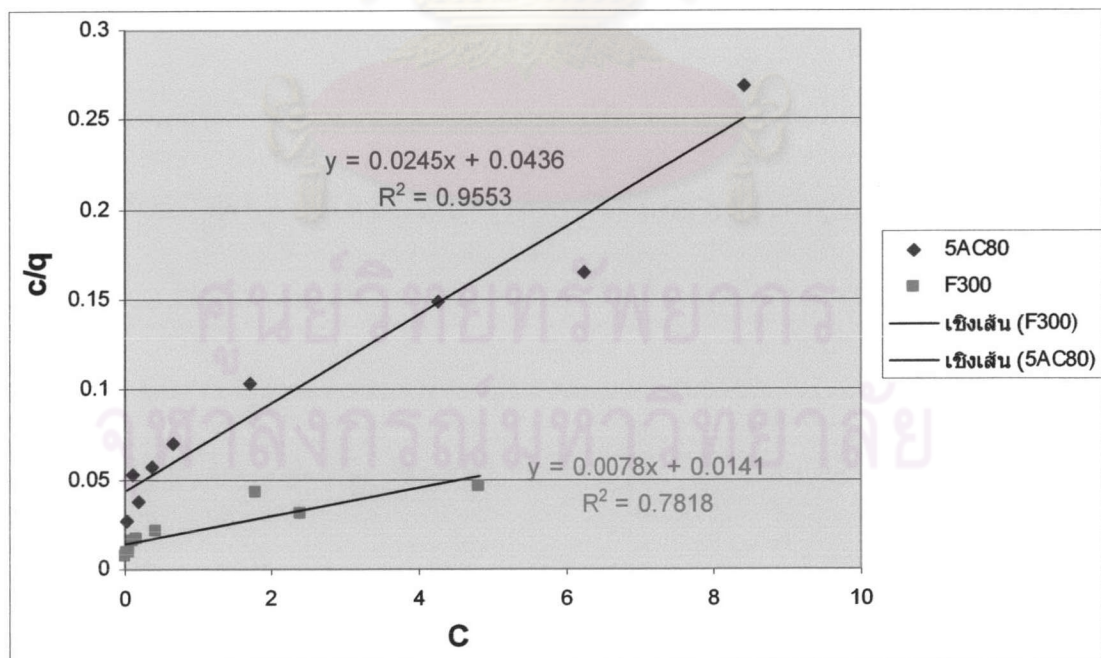


รูปที่ 4.12 สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของตัวดูดซับ 5AC60 และถ่าน F300 ที่มีต่อตะกั่ว





รูปที่ 4.13 สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชของตัวดูดซับ 5AC80 และถ่าน F300 ที่มีต่อแคดเมียม



รูปที่ 4.14 สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของตัวดูดซับ 5AC80 และถ่าน F300 ที่มีต่อแคดเมียม

จากรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.14 ข้างต้นสามารถแสดงว่าค่า  $R^2$  ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดริชได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า  $R^2$  ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดริช

ค่า $R^2$ ของ ไอโซเทอม	ตะกั่ว		แคดเมียม	
	5AC60	F300	5AC80	F300
Freundlich	0.9389	0.9777	0.9776	0.9923
Langmuir	0.8648	0.9892	0.9553	0.7818

ไอโซเทอมที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการอธิบายรูปแบบการดูดซับของตัวดูดซับ 5AC60, 5AC80 และ F300 พิจารณาได้จากค่า  $R^2$  ของไอโซเทอมการดูดซับจากตารางที่ 4.3 พบว่า  $R^2$  ของไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด และจากสมมติฐานของไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริช ซึ่งมีลักษณะการดูดซับเป็นแบบ Multilayer โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ ครอบคลุมพื้นที่ความเข้มข้นของไอออนหรือโมเลกุลในสารละลายมีสูงขึ้นไปแสดงถึงการลดลงของพลังงานในการดูดซับเมื่อการปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นในรูปของลือกการิทึม นิยมใช้ในการอธิบายการดูดซับก๊าซและตัวถูกละลายในสารละลาย โดยเฉพาะสารละลายที่มีความเข้มข้นปานกลาง

จากสมการแสดงค่าไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริช ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงข้างต้นทำให้เราทราบค่า  $K_F$  และ  $1/n$  ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า  $q_{max}$  จากสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชได้ ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า  $R^2$ ,  $K_F$ ,  $1/n$ ,  $q_{max}$  ของตัวดูดซับ 5AC60, 5AC80 และ F300

	ตะกั่ว		แคดเมียม	
	5AC60	F300	5AC80	F300
$R^2$	0.9389	0.9777	0.9776	0.9923
$K_F$	15.549	14.0533	10.932	34.491
$1/n$	0.432	0.5637	0.6352	0.712
$q_{max}$ (mg/g)	42.098	51.548	47.195	177.17

จากตารางที่ 4.4 เมื่อนำค่า  $K_F$  และ  $1/n$  มาแทนค่าลงในสมการ  $q_{max} = K_F(C)^{1/n}$  จะทำให้สามารถหาค่า  $q_{max}$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณตะกั่วหรือแคดเมียมที่สามารถดูดติดบนผิวต่อน้ำหนักถ่านที่ใช้ได้ พบว่าความสามารถในการดูดติดผิวของตัวดูดซับ 5AC60 และ F300 ที่มีต่อตะกั่วในสารละลายที่พีเอช 3 มีค่าเท่ากับ 42.098 และ 51.548 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับและความสามารถในการดูดติดผิวของตัวดูดซับ 5AC80 และ F300 ที่มีต่อแคดเมียมในสารละลายที่พีเอช 4 เท่ากับ 47.195 และ 177.17 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่าน F300 ค่าความจุในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้มากกว่าตัวดูดซับ 5AC60 และ 5AC80 แสดงว่าถ่าน F300 มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าจากตัวดูดซับที่ผลิตได้

#### 4.7 การศึกษาความสามารถในการชะละลาย (Leaching) ตะกั่วและแคดเมียม ออกจากตัวดูดซับด้วยน้ำกลั่นและสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์

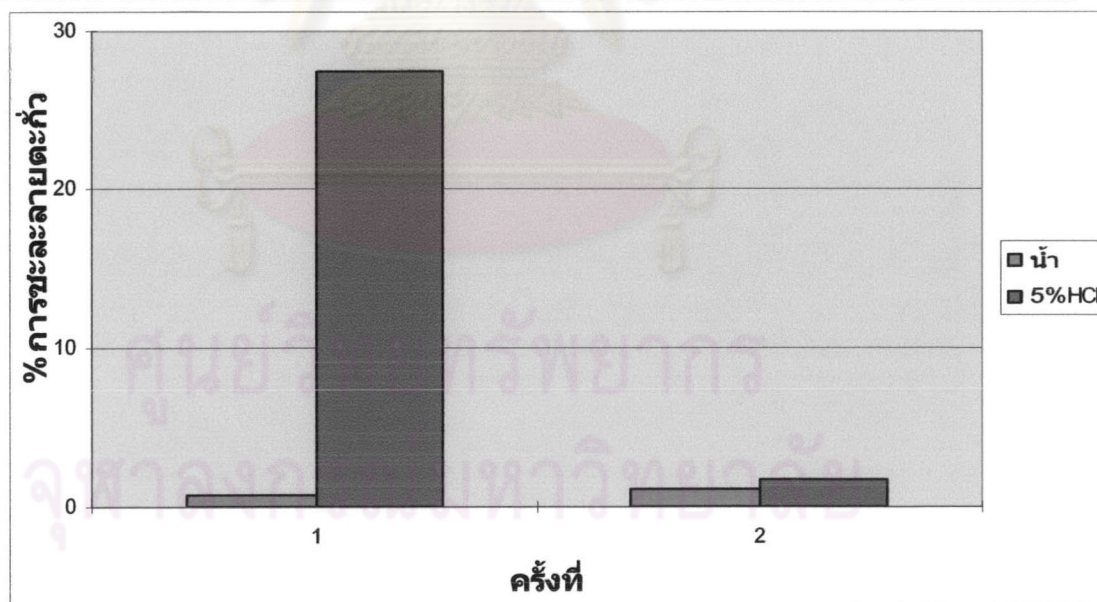
จากการทดลองที่ 4.4 พบว่าตัวดูดซับที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายได้ดี เพื่อเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับ ได้ทำการ



ทดลองความสามารถในการชะไอออนออกจากตัวดูดซับด้วยน้ำกลั่นและสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาวิธีการกำจัดตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้วอย่างเหมาะสม ทำการทดลองตามข้อ 3.3.7 สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.15 และ 4.16

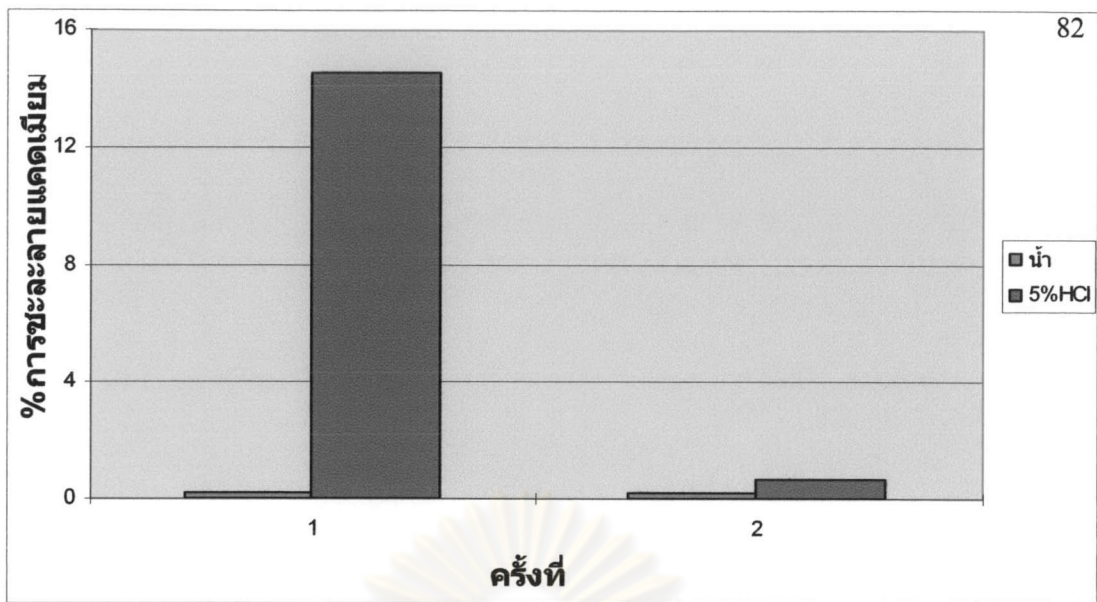
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ตะกั่วและเปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่ถูกชะละลายโดยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์

	5AC60		5AC80	
	น้ำกลั่น	กรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์	น้ำกลั่น	กรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์
รอบที่ 1	0.72 เปอร์เซ็นต์	27.49 เปอร์เซ็นต์	0.17 เปอร์เซ็นต์	14.58 เปอร์เซ็นต์
รอบที่ 2	1.13 เปอร์เซ็นต์	1.66 เปอร์เซ็นต์	0.17 เปอร์เซ็นต์	0.65 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์ การชะละลายตะกั่วจากตัวดูดซับ 5AC60 ด้วยน้ำกลั่นและไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์กรด





รูปที่ 4.16 เปอร์เซนต์การชะละลายแคลเซียมจากตัวดูดซับ 5AC80 ด้วยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซนต์

จากการทดลองที่ 4.5 พบว่าตะกั่วถูกดูดซับตัวดูดซับ 5AC60 เท่ากับ 95.36 เปอร์เซนต์ และแคลเซียมถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ 5AC80 เท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ เมื่อใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุล เท่ากับ 2 ชั่วโมง จากตารางที่ 4.5 พบว่า ในแต่ละรอบของการชะไอออนด้วยน้ำกลั่นหรือกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซนต์ ทั้งตะกั่วและแคลเซียมจะถูกชะออกมาจากสารละลายด้วยทุกครั้ง โดยพบว่ามี ตะกั่วถูกชะออกมาจากตัวดูดซับ 5AC60 เมื่อใช้น้ำกลั่นเท่ากับ 0.72 เปอร์เซนต์ และ 1.13 เปอร์เซนต์ ในการเขย่าครั้งแรกและครั้งที่ 2 ตามลำดับ และกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซนต์เท่ากับ 27.49 เปอร์เซนต์ และ 1.66 เปอร์เซนต์ ในการเขย่าครั้งแรกและครั้งที่ 2 ตามลำดับ และแคลเซียมจะถูกชะออกมาจากตัวดูดซับ 5AC80 เมื่อใช้น้ำกลั่นเท่ากับ 0.17 เปอร์เซนต์ และ 0.17 เปอร์เซนต์ ในการเขย่าครั้งแรกและครั้งที่ 2 ตามลำดับ และ 5 เปอร์เซนต์กรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 14.58 เปอร์เซนต์ และ 0.65 เปอร์เซนต์ ในการเขย่าครั้งแรกและครั้งที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้วต้องมีการจัดการในขั้นต่อไปอย่างเหมาะสม เช่น มีการรวบรวมไว้ในภาชนะก่อนนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธี ขณะเดียวกันปริมาณที่ถูกชะออกมาก็ไม่มากพอที่จะนำไปฟื้นฟูสภาพกลับมาใช้ใหม่

#### 4.8 ทดสอบแบบต่อเนื่อง

ในการออกแบบระบบการทดสอบแบบต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 และ ตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.17 ระบบการทดสอบแบบต่อเนื่องในการดูดซับ

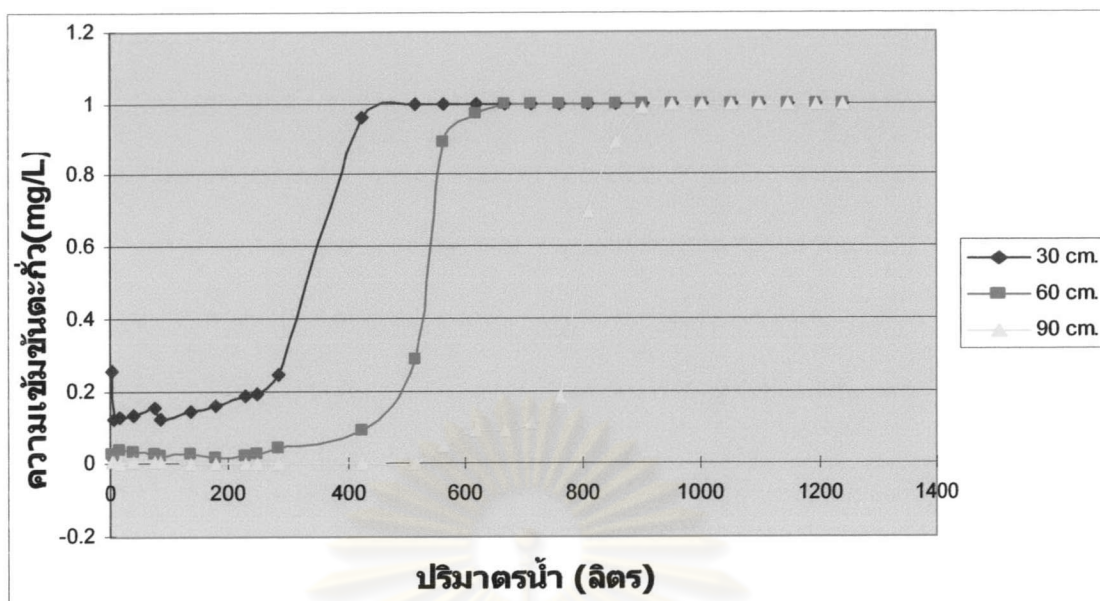
ตารางที่ 4.6 ค่าการออกแบบระบบการทดสอบแบบต่อเนื่องสำหรับตะกั่วและแคดเมียม

กำหนด	ตะกั่ว	แคดเมียม
ขนาดท่อ	$\phi = 2.5$ เซนติเมตร ยาว 1.2 เมตร	$\phi = 2.5$ เซนติเมตร ยาว 1.2 เมตร
ทิศทางการไหล	ไหลลง	ไหลลง
อัตราการไหล (ลิตร ต่อ ชั่วโมง)	2	2
เก็บตัวอย่างที่ความลึก (เซนติเมตร)	30, 60, 90	30, 60, 90
ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1	1
พีเอชเริ่มต้น	3	4
ตัวดูดซับที่ใช้	5AC60	5AC80

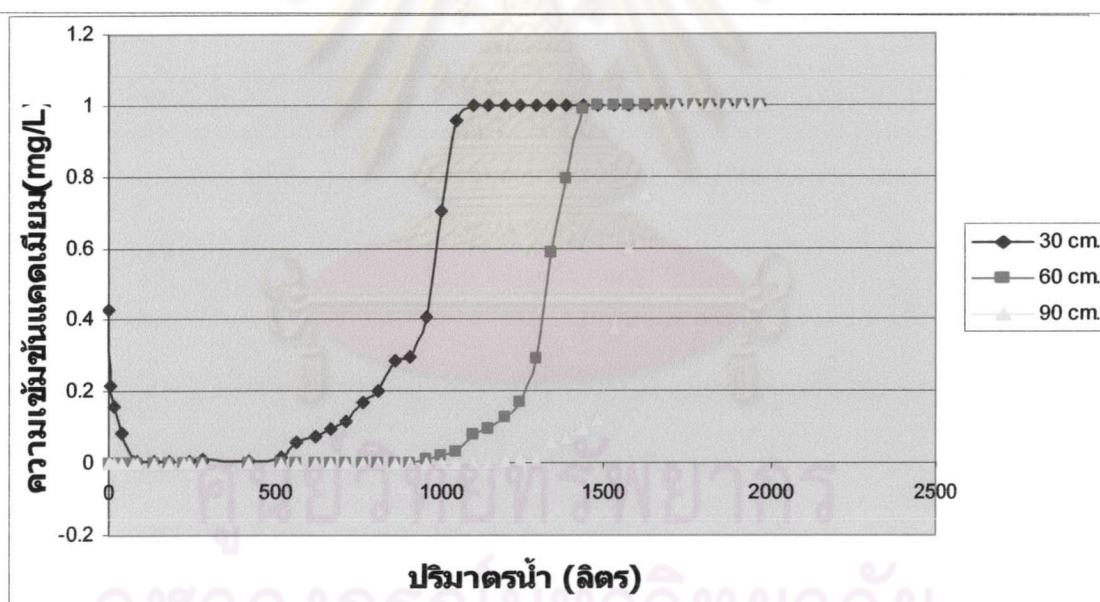
ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บได้นำไปกรองเอาสารละลายส่วนใส ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ โดยในการทดลองทำการเก็บตัวอย่างจนกระทั่งถึงจุดหมดสภาพ (Breakthrough) คือจุดที่ความเข้มข้นของน้ำเสียออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่คอลัมน์จะได้ดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของตัวดูดซับ 5AC60 ในการดูดซับตะกั่ว



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของตัวดูดซับ 5AC80 ในการดูดซับแคดเมียม

สามารถแสดงประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับ 5AC60 และ 5AC80 ได้ดังตารางที่



ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในระบบการทดสอบแบบต่อเนื่อง

	ตะกั่ว			แคดเมียม		
ความลึกชั้นตัวกลาง (เซนติเมตร)	30	60	90	30	60	90
น้ำหนักถ่าน (กรัม)	108.28	216.56	324.85	117.26	234.53	351.8
ปริมาตรถ่าน (ลิตร)	0.147	0.294	0.442	0.147	0.294	0.442
ปริมาตรน้ำไหลผ่าน (ลิตร)	516	666	906	1050	1482	1674
ปริมาตรน้ำไหลผ่าน ต่อปริมาตรชั้นถ่าน (BV)	3,510.20	2,265.30	2,049.77	7,142.86	5,040.82	3,783.91
น้ำหนักที่ถูกดูดซับ ต่อกรัมถ่าน (มิลลิกรัม/กรัม)	4.77	3.08	2.79	8.95	6.32	4.76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาตรน้ำไหลเข้าสู่ระบบมากขึ้น ในระยะแรกปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในน้ำออกมีปริมาณลดลง เนื่องจากถ่านมีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง เมื่อเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวในการดูดซับลดลงจนกระทั่งไม่สามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้อีก ซึ่งจุดที่ไม่สามารถดูดซับได้อีกเรียกว่า จุดหมดสภาพ

จากรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.7 พบว่าการดูดซับตะกั่วความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร มีจุดหมดสภาพที่ระดับ 30, 60 และ 90 เซนติเมตร มีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 515, 666 และ 906 ลิตร ตามลำดับ โดยมีค่า BV เท่ากับ 3510.20, 2265.30 และ 2049.77 BV ตามลำดับ ซึ่งถ่าน 5AC60 มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วในระบบการดูดซับแบบต่อเนื่องต่อ 1 กรัมถ่านเท่ากับ 4.77, 3.08 และ 2.79 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.7 พบว่าการดูดซับแคดเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัม ต่อลิตร มีจุดหมดสภาพที่ระดับ 30, 60 และ 90 เซนติเมตรมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 1050, 1482 และ 1674 ลิตร ตามลำดับ โดยมีค่า BV เท่ากับ 7142.86, 5040.82 และ 3783.91 BV ตามลำดับ ซึ่งถ่าน 5AC60 มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วในระบบการดูดซับแบบต่อเนื่องต่อ 1 กรัมถ่านเท่ากับ 8.95, 6.32 และ 4.76 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

#### 4.9 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับที่ผลิตได้

จากหัวข้อ 3.3.8 สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ

	5AC60	5AC80	F300
Iodine Number	158.9	161.4	891.25
Multipoint BET( m <sup>2</sup> /g)	45.86	64.62	955.70
Pore Specific Volume(cc/g)	0.0968	0.1370	0.49
Average Pore Diameter (Å)	84.44	84.82	20.73
Electrical Charge (mV)	-35.2	-37.1	-20.20

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่า ค่า Iodine Number, Multipoint BET, Pore Specific Volume ของตัวดูดซับทั้งสองมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยตัวดูดซับ 5AC80 มีค่ามากกว่าตัวดูดซับ 5AC60 เนื่องจากในตัวดูดซับ 5AC80 มีอัตราส่วนของดินน้อยกว่า เพราะเมื่อดินถูกเผาจะทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นก้อน ทำให้รูพรุนลดลง จึงทำให้ตัวดูดซับ 5AC60 ซึ่งมีดินมากกว่ามีรูพรุนต่ำกว่านั่นเอง ตัวดูดซับทั้งสองที่ผลิตได้มีค่า Iodine Number, Multipoint BET, Pore Specific Volume น้อยกว่า ถ่าน F300 เพราะถ่านกัมมันต์ผ่านกระบวนการกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพจึงทำให้สิ่งอุดตันภายใน โพร่ง เช่น น้ำมัน ชี้อา เป็นต้น หลุดออกมาจนหมดทำให้มีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ตัวดูดซับยังมีสิ่งอุดตันในรูโพร่งซึ่งไม่สามารถกำจัดออกมาได้หมดโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีอย่างง่าย อีกทั้งในขั้นตอนการเผากระตุ้น ได้มีการผสมดินเหนียวเพื่อช่วยในการขึ้นรูปเป็นตัวดูดซับ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าดินเหนียวจะไปอุดโพร่งบางส่วนเอาไว้ทำให้สิ่งอุดตันเหล่านั้น ไม่สามารถถูกกำจัดออกมาได้ ทำให้มีรูพรุนน้อยกว่าถ่าน F300

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถ แสดงได้ดังตารางที่ 4.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



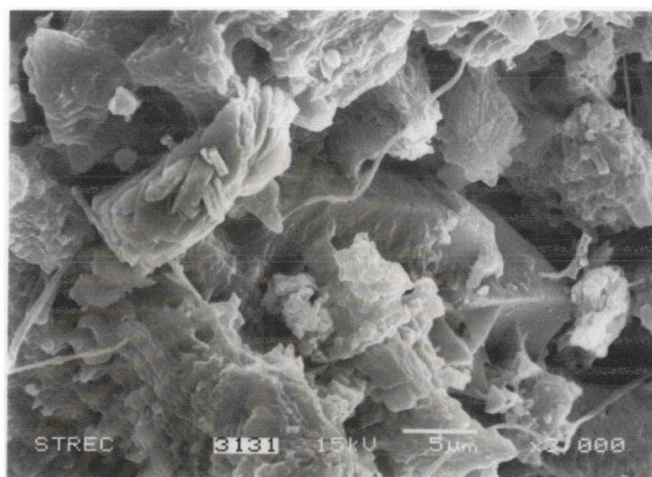
ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าไอโอดีนนมเบอร์

ปี	ผู้วิจัย	วัตถุดิบ	การกระตุ้น			คุณสมบัติ	
			สารกระตุ้น	อุณหภูมิ	เวลา )ชม(.	ไอโอดีนนมเบอร์ (มก./ก(.	พื้นที่ผิว (ตร.ม./ก(.
2532	มอก.900-2532	ถ่านกัมมันต์				600	
2537	บุญชัย ตระกูลมหชัย	กะลาตาล	60%ZnCl <sub>2</sub> (3:2)	500	1	1100-1200	1600-1700
2538	พงศธร โค้วชาภรณ์	ซังข้าวโพด	ZnCl <sub>2</sub> (1:4)	600	3	960-1075	1140-1300
2543	ชนิตา เสมรัตน์	กะลามะพร้าว	NaCl	550	0.5	-	228.74
		ชานอ้อย	NaCl	550	0.5	-	3.51
2544	สุนีย์ กุ่ยเสงี่ยม	กะลามะพร้าว	NaCl (1:3)	800	1	532.29	492.42
		กะลาปาล์ม	NaCl (1:3)	800	1	486.45	385.91
2544	ลลิตา นิตศนจากรุกุล		NaCl				
		เปลือกทุเรียน	(sat.sol_n.)	800	1	567	387
		เปลือกเม็ดมะม่วง หิมพานต์	(sat.sol_n.)	800	1	532	489
2545	มานพ ตีระรัตนสมโภช	ขี้เลื่อย	NaCl (1:1)	800	1	519.4	593.79
			ZnCl <sub>2</sub> (1:2)	700	1	1021.3	1572.51
2545	ปนัดดา คำรัตน์	กากขี้แป้ง	NaCl (sat.sol_n.)	500	2	510.24	566.39
2547	เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ	กากขี้แป้ง	ZnCl <sub>2</sub> (1:1)	500	2	547.31	583.54

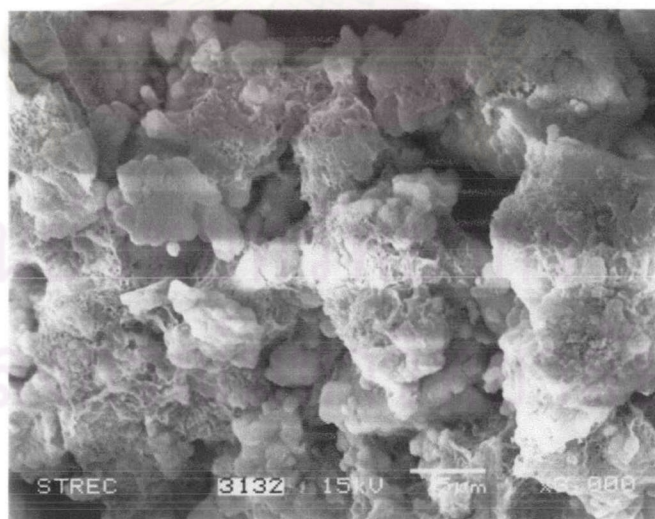
จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะแตกต่างกันไปตามปัจจัยการผลิต เช่น วัตถุดิบ สารเคมี อุณหภูมิการเผา เป็นต้น จากตารางเมื่อพิจารณากากขี้เถ้าที่อุณหภูมิการเผาเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส เนื่องจากซิงก์คลอไรด์มีจุดหลอมเหลวที่ 286 องศาเซลเซียส เมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้น พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้จะต่ำกว่าการใช้ซิงก์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ มานัด แก้วถาวร ที่กล่าวว่าเมื่อให้ความร้อนจนวัตถุดิบเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์วัตถุออกไปอยู่ในรูปของก๊าซและของเหลวขณะเดียวกันนั้นซิงก์คลอไรด์จะเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นช่วงที่สารอินทรีย์ระเหยได้สูญเสียบอย่างรวดเร็ว (400 – 600 องศาเซลเซียส) ซิงก์คลอไรด์ที่อยู่ในสถานะของเหลวจึงสามารถแทรกซึมเข้าตามรูพรุนที่ถูกเปิดขึ้น จากการระเหยของสารระเหยได้ดีกว่าโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในสถานะของแข็ง ในขณะที่ให้ความร้อนจนกระทั่งเกิดการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดการหดตัวของถ่านกัมมันต์ที่มีซิงก์คลอไรด์แทรกเกิดขึ้นได้น้อย เมื่อล้างซิงก์คลอไรด์ออกทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ในกรณีของโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 808 องศาเซลเซียสถึงแม้ว่า โซเดียมคลอไรด์จะสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อถ่านได้ แต่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสารระเหยได้ส่วนใหญ่สลายตัวไปหมดแล้ว ยังมีส่วนน้อยที่เหลืออยู่ ดังนั้นโซเดียมคลอไรด์ซึ่งไปแทนที่สารระเหยที่เหลืออยู่ทำให้การหดตัวเกิดขึ้นอย่างจำกัด

และเมื่อพิจารณาค่า Average Pore Diameter, Electrical Charge พบว่าตัวดูดซับทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่าถ่าน F300 เนื่องจากในตัวดูดซับมีดินเป็นส่วนผสม เมื่อดินถูกเผาจึงทำให้ดินแข็งตัวเป็นก้อนเชื่อมปึครูพรุนทำให้รูพรุนดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของตัวดูดซับในที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ ขณะที่ถ่าน F300 ถูกกระตุ้นด้วยความร้อนสูงทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นคาร์บอนอย่างแท้จริง จึงทำให้มีค่า Average Pore Diameter ขนาดเล็ก และที่อุณหภูมิสูงจะทำให้หมู่ฟังก์ชันต่างๆสลายตัวไปค่า Electrical Charge จึงต่ำ

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวดูดซับ 5AC60 และ 5AC80 โดยใช้กำลังขยายเท่ากับ 3000 เท่า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20 ถึง รูปที่ 4.25

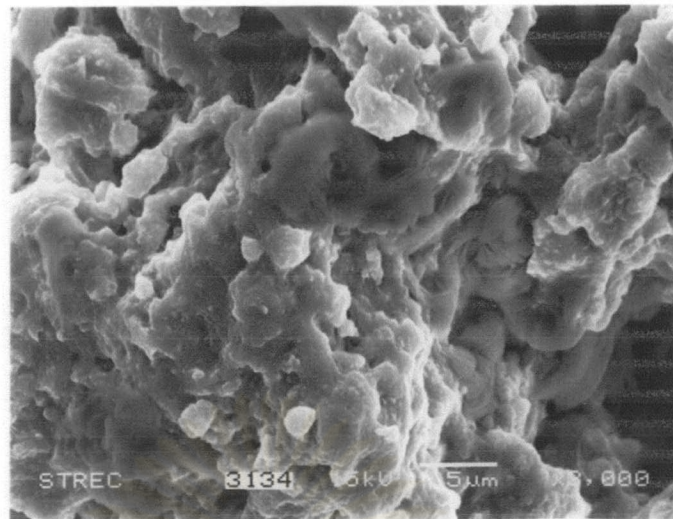


รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ของกากชีปะ่งก่อนการเผาคาร์บอนไนซ์ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

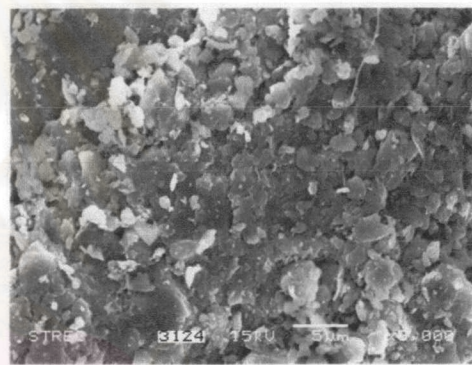
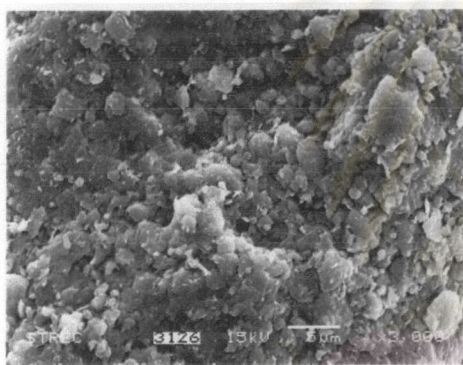


รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM ของกากชีปะ่งผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่ 400 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

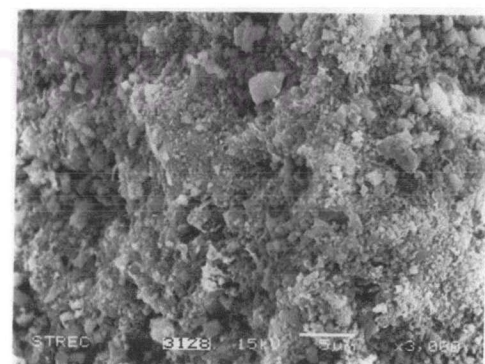
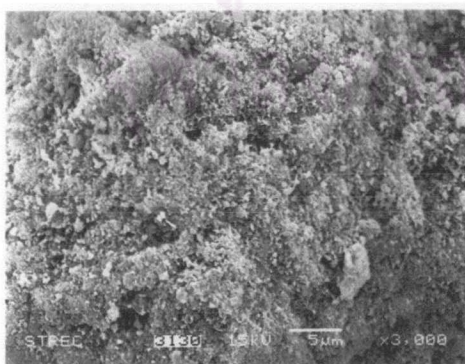




รูปที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ของถ่านชีแปงที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์และแซซซิงก์คลอไรด์ 1 คืน ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.23 ภาพถ่าย SEM ตัวดูดซับ 5AC60 ยังไม่ได้ใช้งาน(ซ้าย)และ 5AC60 ผ่านการใช้งานแล้ว (ขวา) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.24 ภาพถ่าย SEM ตัวดูดซับ 5AC80 ยังไม่ได้ใช้งาน(ซ้าย)และ 5AC80 ผ่านการใช้งานแล้ว (ขวา) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

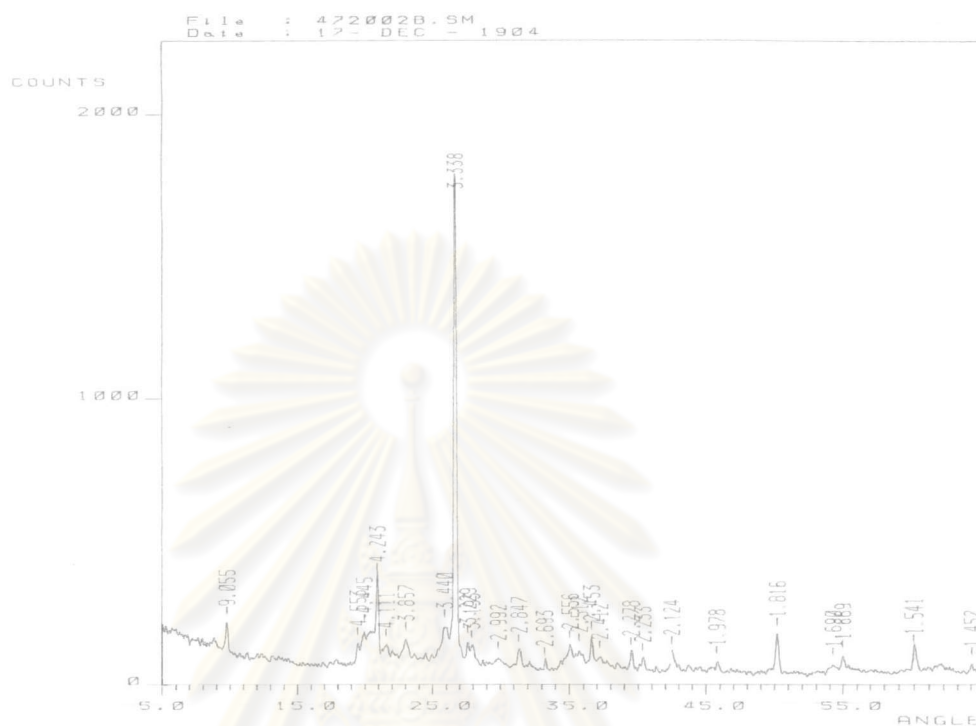
จากรูปข้างต้นพบว่าโครงสร้างของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ 4.20 โครงสร้างมีขนาดใหญ่และลักษณะค่อนข้างเป็นเหลี่ยมเป็นมุม เมื่อผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.21) พบว่าโครงสร้างมีขนาดเล็กลงเล็กน้อยและเหลี่ยมมุมของโครงสร้างหายไป เมื่อนำมาแช่ในสารละลายซิงก์คลอไรด์ด้วยอัตราส่วนจีเป็งคาร์บอนไนซ์ต่อซิงก์คลอไรด์ เท่ากับ 1 : 1 (รูปที่ 4.22) พบว่าเหมือนมีสารมาเคลือบที่ผิวของจีเป็งที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์

เมื่อนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับที่อัตราส่วน 5AC60 และ 5AC80 พบว่าเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM พบว่า ตัวดูดซับทั้งสองมีพื้นผิวขรุขระและมีช่องว่างอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.23 ซ้าย และรูปที่ 4.24 ซ้าย) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม ตามลำดับ (รูปที่ 4.23 ขวา และรูปที่ 4.24 ขวา) พบว่า ตัวดูดซับ 5AC60 มีพื้นที่ผิวลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะส่วนที่เป็นรูพรุน และเหมือนมีแผ่นแบนๆที่มีลักษณะมันวาวถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิว และสำหรับตัวดูดซับ 5AC80 ก็เช่นเดียวกันพบว่าพื้นที่ผิวลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นรูพรุนและขนาดอนุภาคที่พื้นผิวมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน

เมื่อนำตัวดูดซับทั้งสองตัวไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FT-IR จากการเปิดตารางแสดงหมู่ฟังก์ชันตามค่าความถี่ที่ปรากฏ (George, W. O. and McIntyre, P. S. ,1987 และ Coates, J. 2000.) พบว่าที่ผิวของตัวดูดซับ มีหมู่ฟังก์ชันที่มีความสำคัญต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมอยู่หลายชนิด ได้แก่ N – H, C – O, C = C และ O – H เป็นต้น (แม้ อมรสิทธิ์และอมรเพชรสม, 2535) ซึ่งพบว่าบนผิวของตัวดูดซับที่ผลิตได้ มีหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวอยู่บนผิวทั้งสิ้น ยกเว้นที่ตัวดูดซับ 5AC80 และ 5AC80 ที่ผ่านการใช้งานและพบว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชัน O – H อยู่บนผิวนอกจากหมู่ฟังก์ชันข้างต้น ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันทางอินทรีย์แล้ว พบว่า ยังมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นสารจำพวกอนินทรีย์ ด้วยเช่นกัน เนื่องจากประกอบของตัวดูดซับมีดินเหนียวซึ่งเป็นสาร อนินทรีย์อยู่นั่นเอง โดยโครงสร้างสารอนินทรีย์ที่อาจพบบนผิวตัวดูดซับได้แก่สารจำพวก Hydrated Metal Salt หรือ Oxide, Amino Compound, Phosphate และ Hydrated Sulphate เป็นต้น (ภาคผนวก ง.)

เมื่อนำตัวดูดซับทั้งสองตัวไปวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่อง XRD จะได้กราฟออกมาดังรูปที่

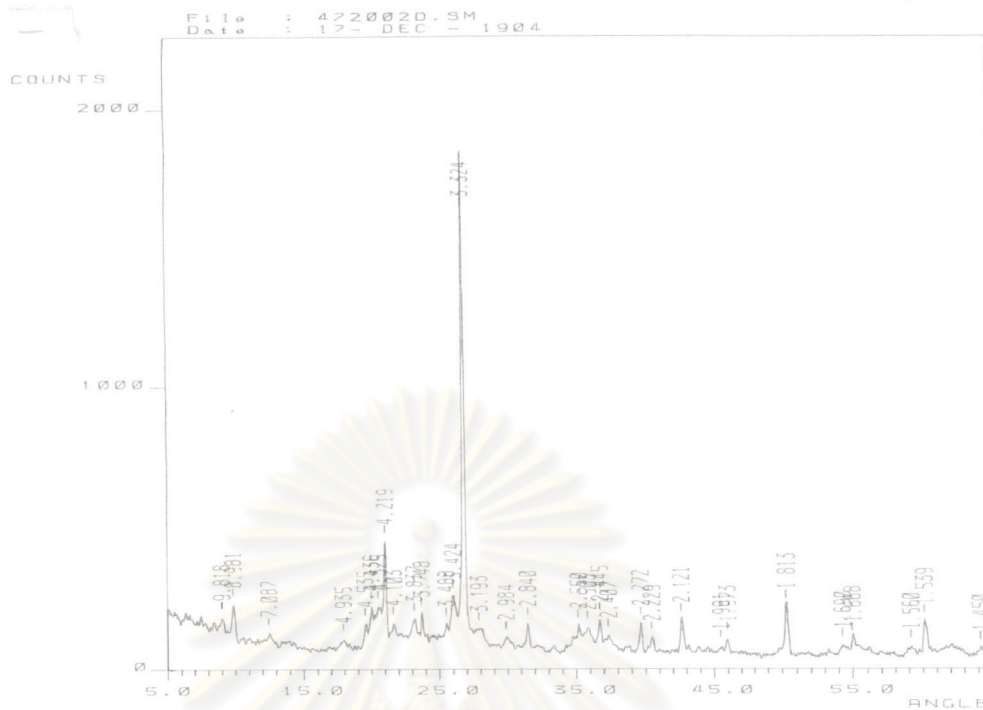
4.25 ถึง 4.28



รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC60

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

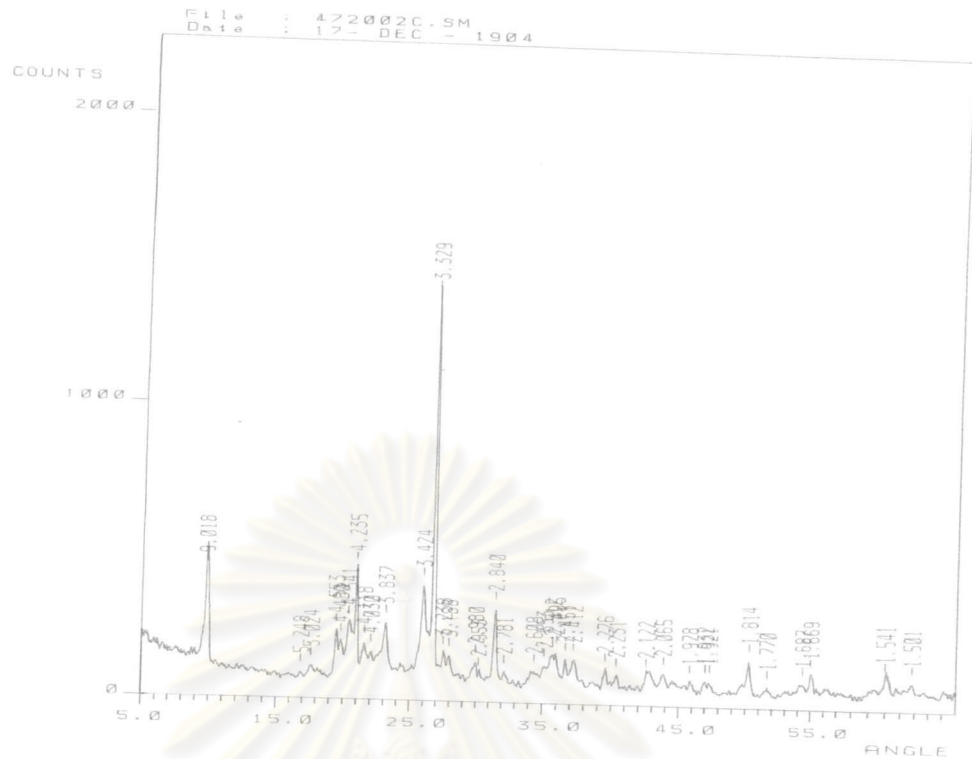




รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ตัวดูดซับ 5AC60 ที่ผ่านการดูดซับตะกั่ว



รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC80



รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC80 ที่ผ่านการดูดซับแคดเมียม

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ใน 5AC60 และ 5AC80 พบองค์ประกอบที่สำคัญคือ  $\text{SiO}_2$  และตัวดูดซับ 5AC60 ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะพบ  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{C}_2\text{O}_4\text{Pb}$  เป็นองค์ประกอบ และตัวดูดซับ 5AC80 ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะพบว่า มี  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{CdCO}_3$  เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการดูดซับตะกั่วโดยตัวดูดซับ 5AC60 ทำให้ตะกั่วอยู่ในรูป  $\text{C}_2\text{O}_4\text{Pb}$  และการดูดซับแคดเมียมโดยตัวดูดซับ 5AC80 ทำให้แคดเมียมอยู่ในรูป  $\text{CdCO}_3$

#### 4.10 การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับ

ค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.10 .1ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับ

ในการผลิตตัวดูดซับปริมาณ 1000 กรัม เป็นปริมาณคร่าวๆ ที่ผลิตได้ต่อการเผา 1 ครั้งในเตาเผาไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ วัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นส่วนผสมคือดินเหนียวและกากชี้แป็ง ซึ่งมีรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยคือ

(1ดินเหนียวราคาจำหน่าย 85 บาท / 25 กิโลกรัม ในปริมาณ 1000 กรัมของตัวดูดซับจะใช้ดินเหนียว เท่ากับ 200 กรัม สำหรับตัวดูดซับ 5AC80 และ 400 กรัมสำหรับตัวดูดซับ 5AC60 ดังนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับการเตรียมตัวดูดซับ 5AC60 และ 5AC80 เท่ากับ 1.36 บาท และ 0.68 บาท ตามลำดับ

(2 กากชี้แป็งโรงงานน้ำยางข้นไม่เสียค่าใช้จ่าย เพราะเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรม

3 (ซิงก์คลอไรด์ (เกรดวิเคราะห์) 420 บาท / 500 กรัม จะใช้ซิงก์คลอไรด์ เท่ากับ 800 กรัม สำหรับตัวดูดซับ 5AC80 และ 600 กรัมสำหรับตัวดูดซับ 5AC60 ดังนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับการเตรียมตัวดูดซับ 5AC80 และ 5AC60 เท่ากับ 672 บาท และ 504 บาท ตามลำดับ

รวมค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับต่อตัวดูดซับ 1000 กรัม

ตัวดูดซับ 5AC60 เท่ากับ  $1.36 + 504 = 505.36$  บาท .....(1)

ตัวดูดซับ 5AC80 เท่ากับ  $0.68 + 672 = 672.68$  บาท .....(2)

#### 4.10 .2ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต

สำหรับผลิตตัวดูดซับประมาณ 1000 กรัม มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็นในการผลิต



คือ เตอบไฟฟ้า เตเผาไฟฟ้า และเครื่องอัดเม็ด ซึ่งมีรายละเอียดในการใช้งานคือ

(1ค่าไฟในการอบ การหาค่าไฟในการอบ ได้ใช้เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า หรือ Single – Phase Kilowatt – Hour Meter ขนาด 15 (45)Amp) รูปในภาคผนวก ข(. ทำการวัดกับเตอบในขณะที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบดินเหนียว 3 ชั่วโมง อบกากจีบ 3 ชั่วโมง) โดยอบพร้อมกัน (อบตัวดูดซับที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว 1 ชั่วโมง รวมเวลาในการอบ นาน 4 ชั่วโมง ได้ค่าจาก Single – Phase Kilowatt – Hour Meter เท่ากับ 2.14 KW-H โดยที่ 1.8047 คือค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยสำหรับกิจการขนาดเล็ก) ประเภทที่ (2ที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วย) กิโลวัตต์ชั่วโมง (ต่อเดือน) การไฟฟ้านครหลวง, (2543 คำนวณค่าใช้จ่ายได้คือ

$$\begin{aligned} \text{ราคาค่าไฟฟ้า} &= \text{KW-H} \times (0.2612 + 1.8047) \text{ Ft} \quad ( \\ &= 2.14 \times (0.2612 + 1.8047) \\ &= 4.42 \text{ บาท} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

2 (ค่าไฟในการเผา การหาค่าไฟในการเผา ได้ใช้ Single – Phase Kilowatt – Hour Meter ขนาด (45)15 Amp ทำการวัดกับเตเผาในขณะที่ทำการเผาที่อุณหภูมิเริ่มต้น 28 ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาอุณหภูมิคงที่ที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ได้ค่าเท่ากับ 4.6 KW-H คำนวณค่าใช้จ่ายเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{ราคาค่าไฟฟ้า} &= \text{KW-H} \times (0.2612 + 1.8047) \text{ Ft} \quad ( \\ &= 4.6 \times (0.2612 + 1.8047) \\ &= 9.50 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ซึ่งในขั้นตอนการผลิตตัวดูดซับนั้น มีการเผาทั้งหมดสองครั้งคือ ขั้นตอนการเตรียมถ่านจีบ 3 ชั่วโมง อีกขั้นตอนคือการเผาเพื่อให้เป็นตัวดูดซับ ดังนั้นค่าไฟที่ได้จากการเผาทั้งหมดเท่ากับ

$$\text{ราคาค่าไฟฟ้า} = 9.50 \times 2 = 19 \text{ บาท} \dots \dots \dots ($$

4)

3 (ค่าไฟในการอัดเป็นเม็ด เครื่องอัดเม็ดไม่สามารถใช้ Single – Phase Kilowatt – Hour Meter ทำการวัดได้เพราะไม่มีจุดต่อเชื่อม จึงใช้วิธีคำนวณจากมอเตอร์ไฟฟ้า แทน โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.170 และ 1.5 KW ใช้เวลาการอัดเม็ดวัตถุดิบดินดำผสม กะลามะพร้าว ปริมาณ 1 0 00 กรัม เท่ากับ 15 นาที จำนวนค่าใช้จ่ายเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{ราคาค่าไฟฟ้า} &= \text{KW} \times \text{TIME} \times (0.2612 + 1.8047) \\ &= 1.67 \times 0.25 \times (2.0659) \\ &= 0.86 \text{ บาท} \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

#### 4.10 .3ค่าแรงที่ใช้ในการผลิต

จะเป็นค่าแรงในการเตรียมวัตถุดิบเช่น ร่อนดิน ร่อนถ่านขี้เถ้า ผสมดิน ถ่านขี้เถ้า เป็นต้น ซึ่งการผลิตตัวดูดซับ 1000 กรัม ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 2 ชั่วโมง คิดค่าแรงที่ 20.40 บาท / ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{รวมเป็นเงิน} &= 20.40 \times 2 \\ &= 40.8 \text{ บาท} \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

รวมต้นทุนที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับรวมเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{ตัวดูดซับ 5AC60} &= (1) + (3) + (4) + (5) + (6) \\ &= 505.36 + 4.42 + 19 + 0.86 + 40.8 \\ &= 570.44 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\text{ตัวดูดซับ 5AC80} = (1) + (3) + (4) + (5) + (6)$$

$$= 672.68 + 4.42 + 19 + 0.86 + 40.8$$

$$= 737.76 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากจี้แป้ง 570.44 บาท สำหรับตัวดูดซับ 5AC60 และ 737.76 บาท สำหรับตัวดูดซับ 5AC80 ส่วนถ่านกัมมันต์) Filtrasorb 300 (ราคา 190 บาทต่อลิตร พบว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากจี้แป้งสูงกว่าถ่านกัมมันต์) Filtrasorb 300) เนื่องจากซิงก์คลอไรด์ที่ใช้เป็นเกรดการวิเคราะห์ซึ่งมีราคาสูง หากมีการนำไปผลิตเป็นตัวดูดซับเพื่อการใช้งานจริงสามารถที่จะเลือกใช้ซิงก์คลอไรด์เกรดอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาประมาณ 1,750 บาท ต่อ 25 ลิตร ซึ่งถูกกว่าเกรดการวิเคราะห์มาก จะได้ว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากจี้แป้ง 107.08 บาท สำหรับ ตัวดูดซับ 5AC60 และ 121.08 บาท สำหรับตัวดูดซับ 5AC80 ซึ่งค่าที่จะถูกกว่าการผลิตถ่านกัมมันต์ (Filtrasorb 300) อย่างไรก็ตาม ราคาที่ประเมินได้ ยังไม่ได้รวมค่าทางการตลาดเข้าไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย