บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองการใช้ถ่านกระดูกกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสี ในน้ำสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาแบ่งการทดลองเป็น 3 ตอนคือ

1) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกระดูก คือ พื้นที่ผิว ปริมาตรความพรุน และลักษณะพื้นผิว

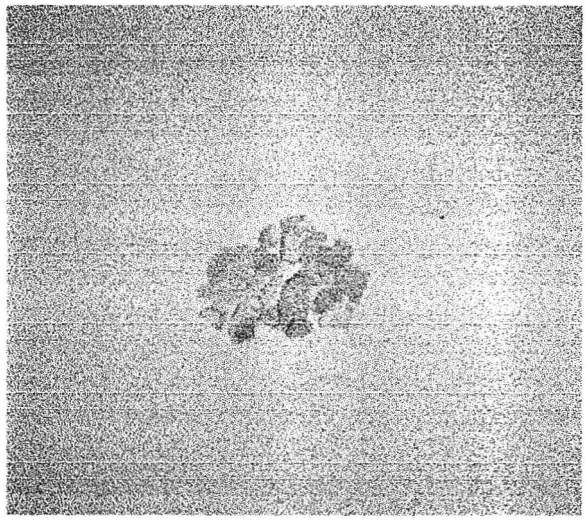
2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสีในน้ำ คือปริมาณถ่านกระดูก ความเข้มข้นเริ่มต้น ค่าพีเอชของน้ำ และเวลาสัมผัส โดยการทดลองแบบกะ

3) ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน และแมงกานีสในน้ำจริงที่สภาวะที่เหมาะสมโดยการทดลองแบบคอลัมน์

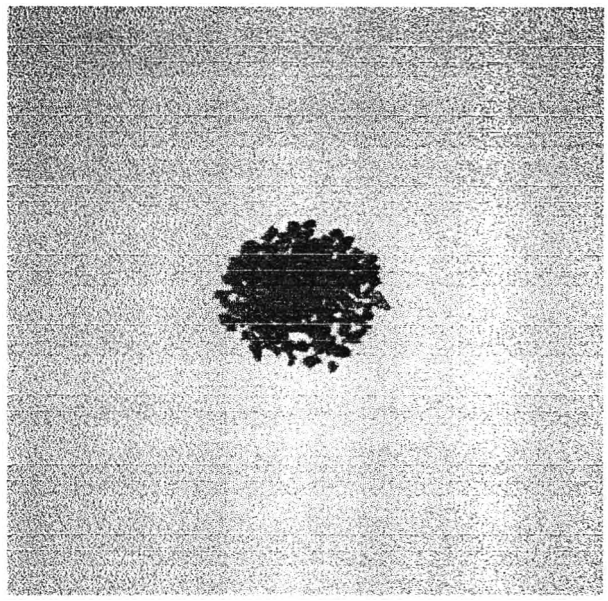
4.1 ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว

การศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกระดูก หลังจากทำการเตรียมถ่านกระดูกโดยการเผากระดูกโคกระบือที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบดและคัดขนาดโดยให้มีขนาด 1-3 มิลลิเมตร แล้วทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ซึ่งลักษณะทางกายภาพคือพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรง โดยเครื่อง Specific Area Analyser ด้วยวิธี N_2-BET (Brunauer -Emmett-Teller) และภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ลักษณะกระดูกก่อนนำมาทำการเผานั้นจะมีลักษณะสีเหลืองและน้ำตาลอ่อนปะปนกัน และลักษณะกระดูกหลังการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะมีสีดำสนิทคล้ายถ่านที่เตรียมจากการเผาไม้แสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะกระดูกโคกระบือก่อนการนำมาเผา



รูปที่ 4.2 ลักษณะถ่านกระดูกโคกระบือหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

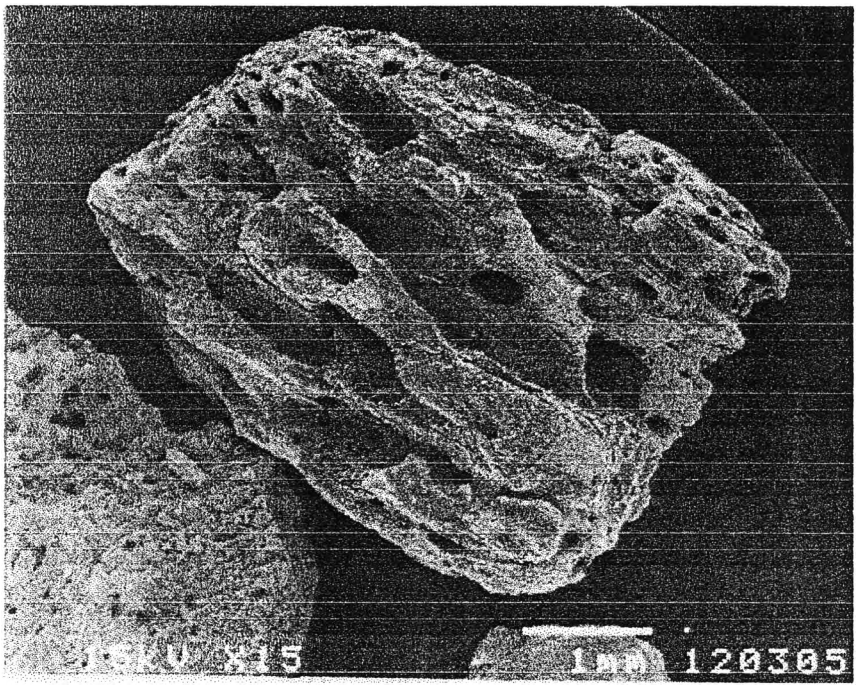
ผลการทดลองการศึกษาลักษณะทางกายภาพคือพื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง, ความหนาแน่น โดยเครื่อง Specific Area Analyser ด้วยวิธี N_2-BET (Brunauer -Emmett-Teller) แสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกระดูก

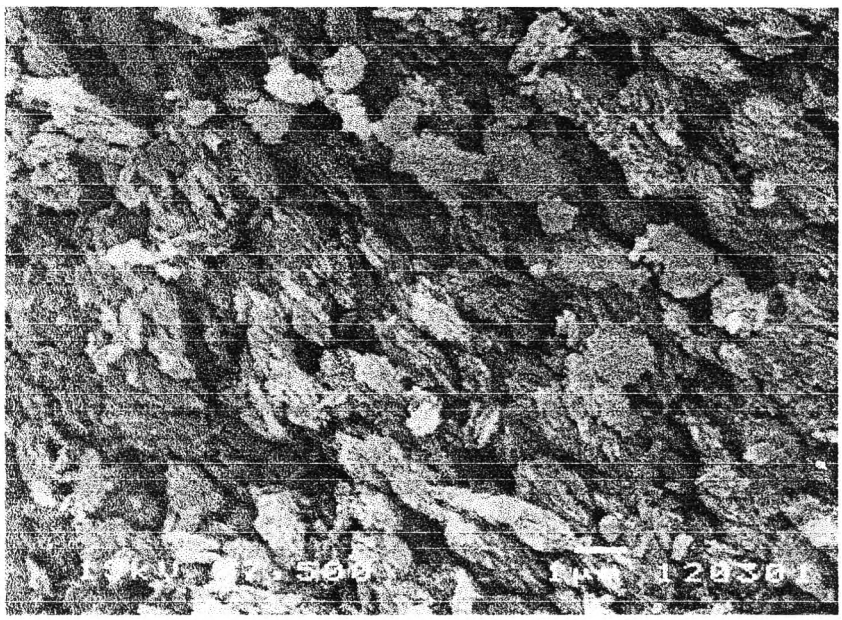
ลักษณะทางกายภาพ	ค่าที่วัดได้
พื้นที่ผิว	6.9272 m^2/g
ปริมาตรโพรง	0.00125 ml/m^2

จากตาราง 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกระดูก พบว่า การวิเคราะห์พื้นที่ผิวพื้นที่ผิว และปริมาตรความพรุน มีค่าเท่ากับ 6.9272 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.00125 มิลลิลิตรต่อตารางเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถ่านกระดูกที่เตรียมได้จะมีพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงค่อนข้างน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกระดูกเชิงการค้าที่ชื่อ Brimac 216 ซึ่งมีค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดสูงถึง 100 ตารางเมตรต่อกรัม (Irvin GD. และ Knowles Mj., 1997) คาดว่าสาเหตุที่ทำให้ค่าของพื้นที่ผิวมีค่าต่างกันมาก คงเนื่องมาจากขั้นตอนของการผลิต โดยรายละเอียดในการผลิตอาจจะมีการใช้สารกระตุ้น (Activated) เพื่อให้มีปริมาตรโพรงและพื้นที่ผิวมากขึ้น

ส่วนรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกที่วิเคราะห์จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า จะพบว่าลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกที่มีรูพรุนและช่องว่างค่อนข้างน้อยสอดคล้องกับค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงที่วัดได้



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากเครื่อง SEM ก่อนการทดลอง



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากเครื่อง SEM ก่อนการทดลอง

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกกำจัดคลอรีน โดยการทดลองแบบกะ

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกกำจัดคลอรีน โดยทำการศึกษาเวลาสัมผัส ปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมและศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลของการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน

การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน โดยการเตรียมน้ำคลอรีนสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 7 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมถ่านกระดูกปริมาณ 0.5 กรัม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยช่วงระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์อยู่ภายในระยะ 120 นาที เนื่องจากคลอรีนสามารถสลายตัวได้ จึงได้ทำการทดลองชุดควบคุมการสลายตัวของคลอรีนที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า ในชุดควบคุมการทดลองเมื่อเวลาผ่านไปคลอรีนจะมีการสลายตัวเพิ่มขึ้น โดยในช่วงระยะเวลาจาก 0-120 นาที การสลายตัวจะไม่เพิ่มคืออยู่ในช่วงร้อยละ 2- 6 แต่หลังจากนั้นการสลายตัวจะเพิ่มมากขึ้น

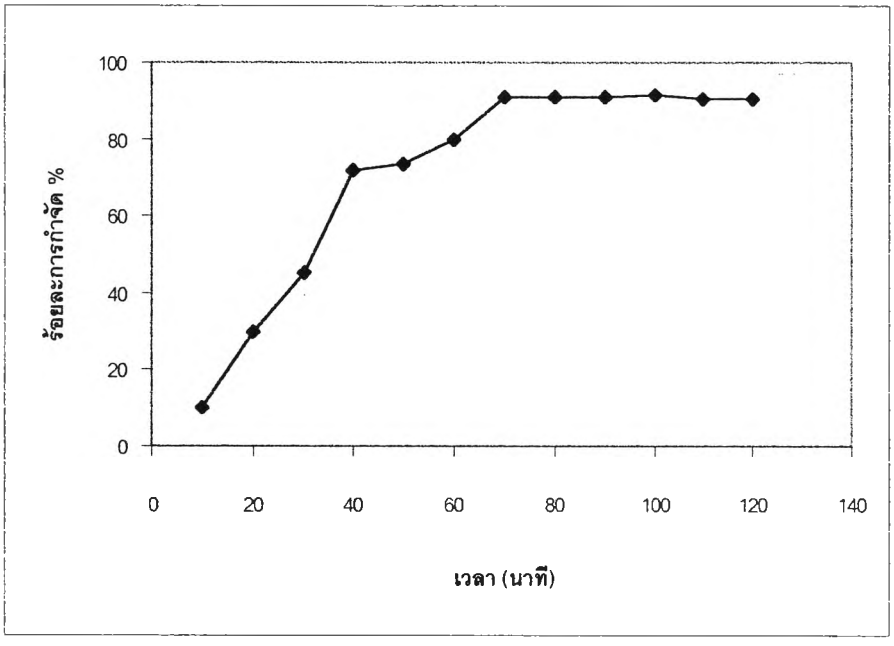
ตารางที่ 4.2 แสดงการสลายตัวของคลอรีนที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นคลอรีน(มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการสลายตัว
0	5	0
30	4.95	2
60	4.90	2.5
120	4.69	6
180	4.39	12.2

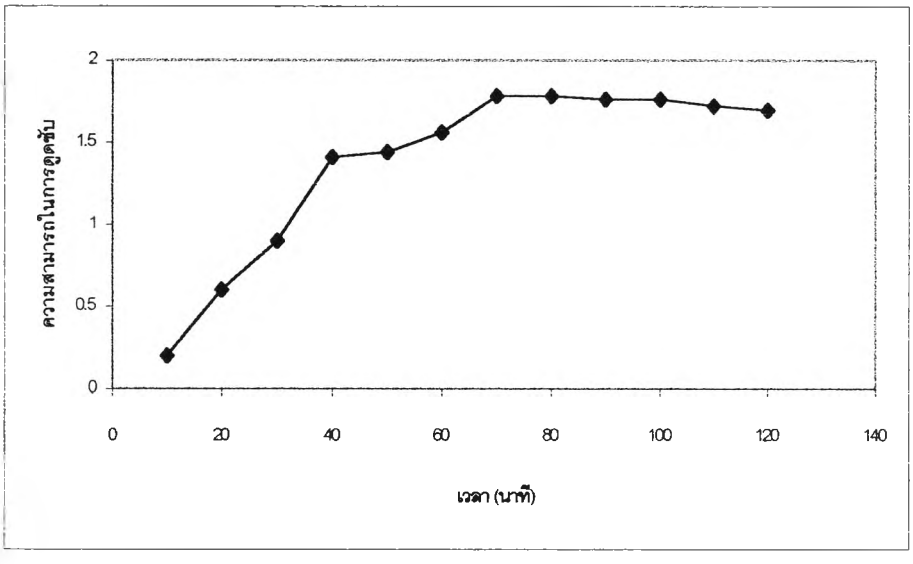
ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมโดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80,90, 100, 110 และ 120 นาที พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน มีค่าเท่ากับ 10, 30, 45.45, 71.54, 73.47, 79.59, 90.82, 90.82, 90.76, 91.67, 90.53 และ 90.41 ตามลำดับ โดยแสดงจากรูป 4.5 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาสัมผัสในการกำจัดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นโดยระหว่างช่วงระยะเวลา 10 – 30 นาที การกำจัดคลอรีนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสามารถกำจัดคลอรีนได้ร้อยละ 10-45.45 และภายหลังเวลาจากช่วงเวลา 40-60 นาที การกำจัดจะเพิ่มอย่างช้าๆ จนค่อนข้างจะคงที่ คือมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 71.45-79.59 จนกระทั่งประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนคงที่เท่ากับร้อยละ 90.82-90.41 ที่ระยะเวลาสัมผัส 70-90 นาที โดยรายละเอียดประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก (Adsoroption capacity : q) ที่เวลาสัมผัสต่างๆ พบว่า จากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 10-120 นาที พบว่า ถ่านกระดูกมีความสามารถในการกำจัดคลอรีนเท่ากับ 0.2, 0.6, 0.9, 1.41,1.44, 1.56, 1.78, 1.78,1.76, 1.76, 1.72 และ 1.70 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูก ที่เวลาเก็บตัวอย่างตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสามารถในการกำจัดคลอรีนจะค่าเพิ่มมากขึ้นในช่วงระหว่างช่วงระยะเวลา 10 – 30 นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2-0.9 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูก และภายหลังเวลาจากช่วงเวลา 40-60 นาที ความสามารถจะมีค่าค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน คือ 1.41-1.56 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูก และมีความสามารถในการกำจัดคลอรีนคงที่เท่ากับ 1.70-1.78 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมคาร์บอน ที่ระยะเวลาสัมผัส 70-90 นาที

ดังนั้นสภาวะการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการทดลองจึงเลือกที่เวลาเท่ากับ 70 นาที เพราะเป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดและความสามารถในการกำจัดคลอรีนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 90.82 และ 1.78 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูก และเป็นระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของการกำจัดคลอรีน



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนด้วยถ่านกระดูก 0.5 กรัม ในน้ำสังเคราะห์คลอรีนความเข้มข้น 5 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับความสามารถในการดูดซับคลอรีนของถ่านกระดูก 0.5 กรัม ในน้ำสังเคราะห์คลอรีนความเข้มข้น 5 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7

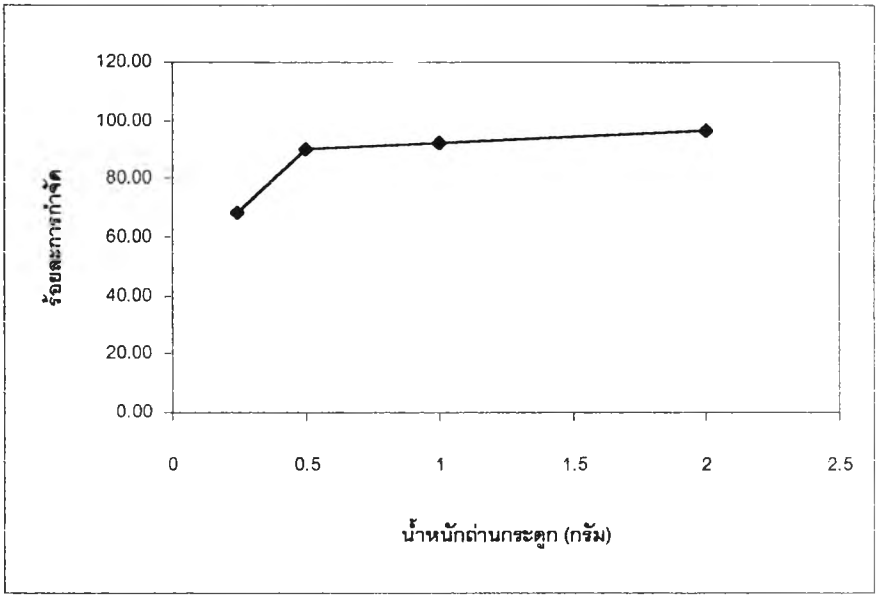
4.2.2 การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน

การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน ที่ความเข้มข้นสารละลายคลอรีนเริ่มต้นเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้สารละลายคลอรีนโดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ในแต่ละขวด นำเขย่าเป็นเวลา 70 นาทีตามผลการทดลองการศึกษาหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมตามหัวข้อ 4.2.1 โดยใช้ความเร็วในการเขย่า 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

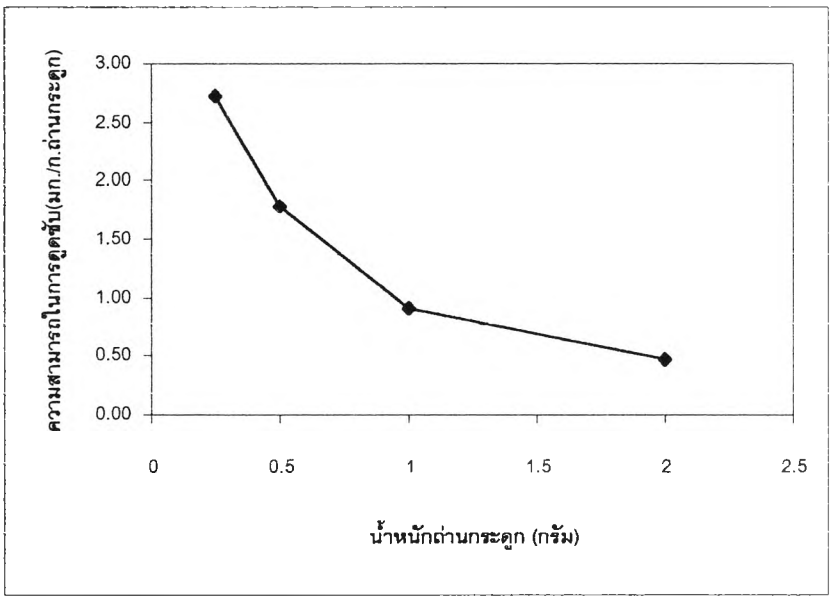
จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน (Chlorine Removal, %) มีค่าเท่ากับ 68.69, 89.90, 91.92 และ 96.57 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนจะเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก (Adsoroption capacity : q) และเวลาสัมผัส จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม พบว่า มีความสามารถในการกำจัดคลอรีนเท่ากับ 2.72, 1.78, 0.91 และ 0.48 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูกตามลำดับ ดังแสดงจากรูป 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกระดูกมีความสามารถในการดูดซับคลอรีนได้สูงเมื่อใช้ถ่านกระดูก 0.25 กรัม เมื่อเพิ่มกระดูกมากขึ้นความสามารถในการดูดซับคลอรีนจะลดลง

ดังนั้นสภาวะการหาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการทดลองจึงเลือกที่ปริมาณถ่านกระดูกเท่ากับ 0.5 กรัม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดและความสามารถในการดูดซับที่เหมาะสม โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเท่ากับร้อยละ 89.90 ซึ่งจะค่าประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกับเมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูก 1.00 และ 2.00 กรัม ร้อยละ 91.92 และ 96.57 ตามลำดับ แต่จะมีค่าความสามารถในการดูดซับคลอรีนสูงกว่าคือเท่ากับ 1.78 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูก เพราะเมื่อนำไปใช้งานจริงจึงเป็นการลดต้นทุนได้ หากใช้ปริมาณถ่านกระดูกน้อย แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกัน



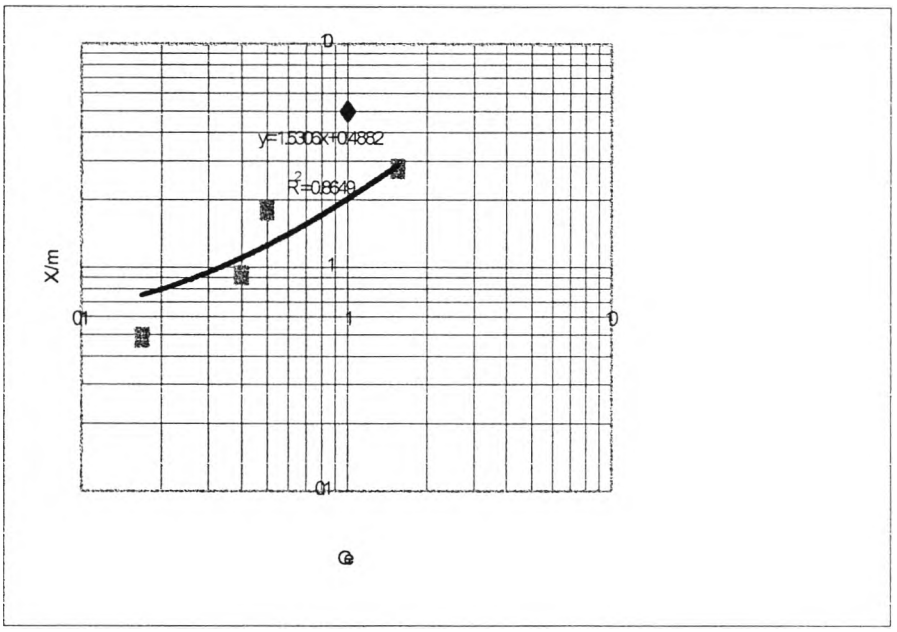
รูปที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนและปริมาณถ่านกระดูกต่างๆ ในน้ำสังเคราะห์คลอรีนความเข้มข้น 5 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7



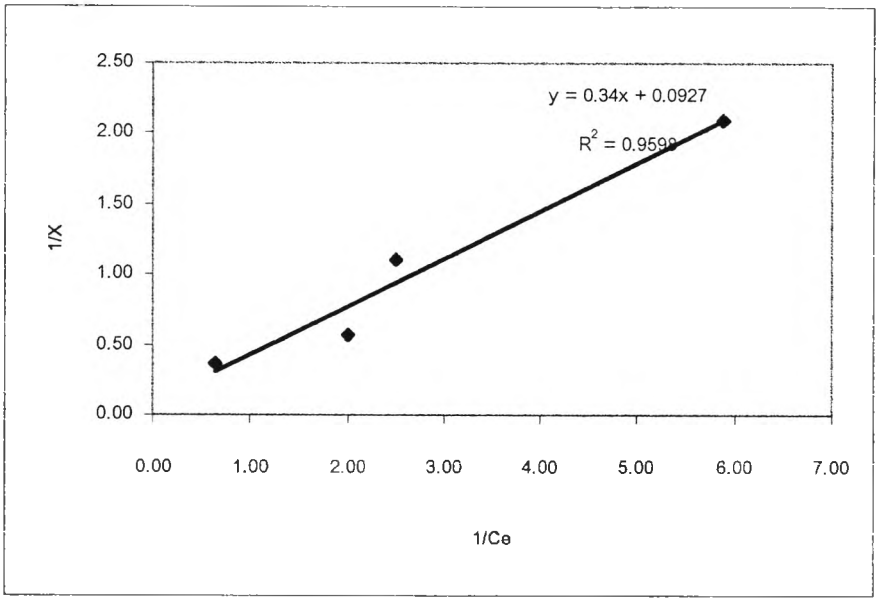
รูปที่ 4.8 แสดงความสามารถในการกำจัดคลอรีนและปริมาณถ่านกระดูกต่างๆ ในน้ำสังเคราะห์คลอรีนความเข้มข้น 5 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7

เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองมาทำกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบพรุนดิชและแบบแลงมัวร์ ซึ่งแสดงดังรูป 4.9 และ 4.10 เมื่อพิจารณาค่า R-square ของไอโซเทอมทั้งสอง พบว่า ค่าไอโซเทอมแบบแลงมัวร์มีค่าสูงกว่าแบบฟรุนดิช คือมีค่าเท่ากับ 0.9600 และ 0.8649 ตามลำดับ ดังนั้นการกำจัดคลอรีนจึงเข้ากับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ โดยไอโซเทอมการกำจัดคลอรีนแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูกการทดลองนี้เป็นดังสมการ

$$1/(X/m) = 0.34x + 0.0927$$



รูปที่ 4.9 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของถ่านกระดูก ในการกำจัดคลอรีนในน้ำสังเคราะห์คลอรีนความเข้มข้น 5 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7



รูปที่ 4.10 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูก ในการกำจัดคลอรีนในน้ำสังเคราะห์คลอรีนความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7

4.2.3 การศึกษาหาค่าพีเอชและความเข้มข้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน

การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน โดยการเตรียมน้ำคลอรีนสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2, 5, 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 0.5 กรัม ตามผลการทดลองการศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในหัวข้อ 4.2.2 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 70 นาที ตามผลการทดลองศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่อุณหภูมิห้อง ทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข-3 และสรุปได้ดังนี้

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปรับค่าพีเอชเท่ากับ5, 6, 7, 8 และ 9 ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนในจะอยู่ในช่วงร้อยละ 90.48 - 94.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ค่าพีเอช 6-8 จะมีค่าใกล้เคียงกันมากคือ 92.31, 93.3 และ 93.75 ตามลำดับ โดยในช่วงพีเอช 5 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดคือร้อยละ 90.48 และที่พีเอช 9 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือร้อยละ 94.12 ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพ

ในการกำจัดคลอรีนอยู่ในช่วงร้อยละ 92.01-93.88 โดยที่พีเอช 5 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดคือร้อยละ 92.01 และที่พีเอช 6-9 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันคือเท่ากับร้อยละ 92.8, 93.22, 93.17 และ 93.88 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงพีเอช 5-9 จะประสิทธิภาพในการกำจัดที่ใกล้เคียงกันมากคือเท่ากับร้อยละ 89.07-90.63 โดยที่พีเอช 9 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนร่วมกับการสลายตัวของคลอรีน แสดงดังรูป 4.12 พบว่า มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเนื่องจากการดูดติดผิวไม่มาก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณคลอรีนที่สลายตัวจากการปรับพีเอชมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย จากผลการทดลงสามารถอธิบายได้โดยเมื่อพิจารณาการละลายของคลอรีนในน้ำ ดังสมการ 4.3 และ 4.2 จะทำให้เกิดกรดไฮโปรคลอรัสและไฮโปรคลอไรด์ ซึ่งก็คือค่าคลอรีนอิสระที่เหลือค้างอยู่ในน้ำ

$$Cl_2 \rightleftharpoons HOCl + H^+ + Cl^- \quad \text{.....(4.3)}$$

Hypochlorous acid

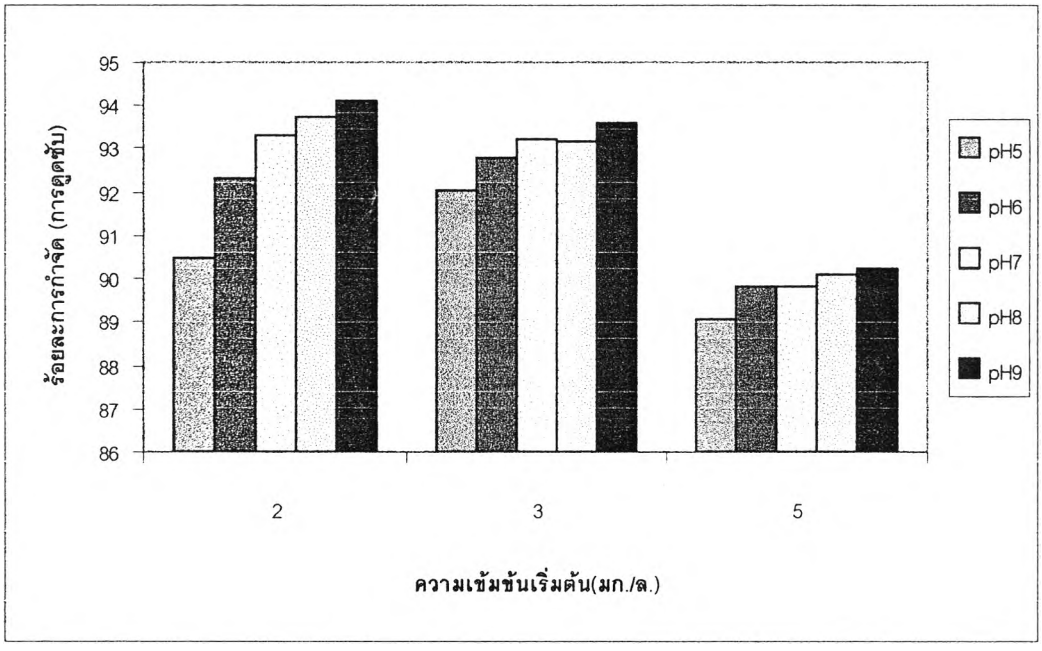
$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^- \quad \text{.....(4.4)}$$

Hypochlorite ion

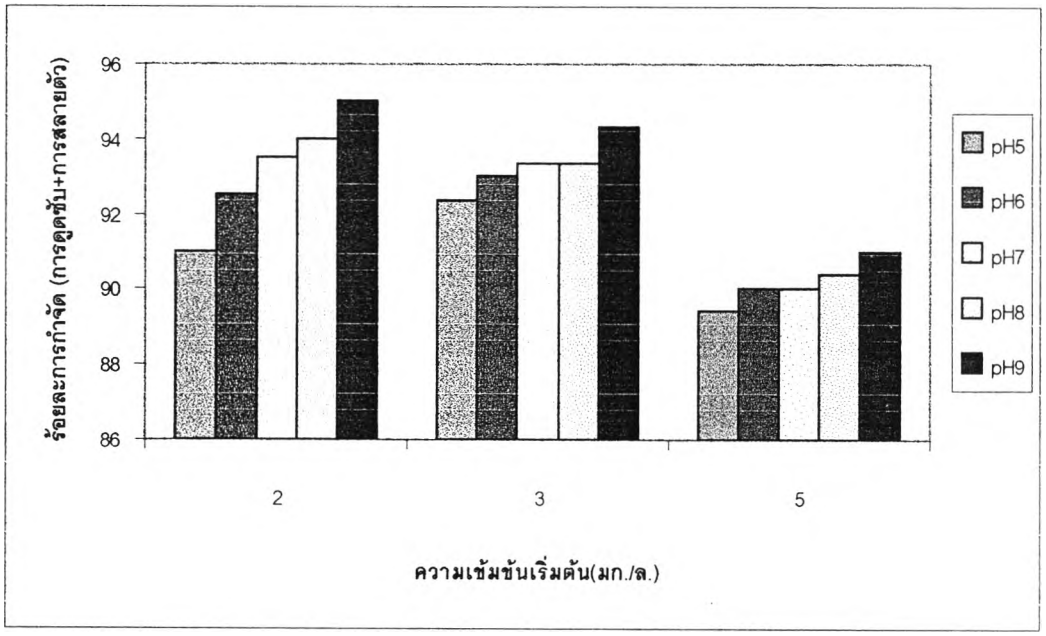
พบว่าในช่วงพีเอชต่ำกว่า 7 นั้นน้ำจะมีปริมาณของกรดไฮโปรคลอรัสมากกว่าและในช่วงพีเอชมากกว่า 8 จะพบไฮโปรคลอไรด์มากกว่า โดยจะมีปริมาณทั้งสองเท่าเทียมกันเมื่อน้ำมีพีเอชประมาณ 7.5 (อรภัทร, 2540) ทั้งนี้จากค่าการละลายน้ำของคลอรีนดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้เมื่อปรับพีเอชแล้วค่าคลอรีนอิสระในน้ำจึงเปลี่ยนรูปเกิดเป็นกรดไฮโปรคลอรัสที่พีเอชต่ำกว่า 7 และเกิดเป็นไฮโปรคลอไรด์ที่พีเอชมากกว่า 8 ดังนั้นค่าคลอรีนอิสระที่วิเคราะห์ได้หลังการปรับพีเอชจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในช่วงพีเอช 6-8

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก (Adsoroption capacity : q) และพีเอช ดังแสดงจากรูป 4.13 พบว่าเมื่อปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 ความสามารถในการกำจัดคลอรีนจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันที่ทุกความเข้มข้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำมีผลต่อความสามารถในการดูดซับคลอรีนของถ่านกระดูก

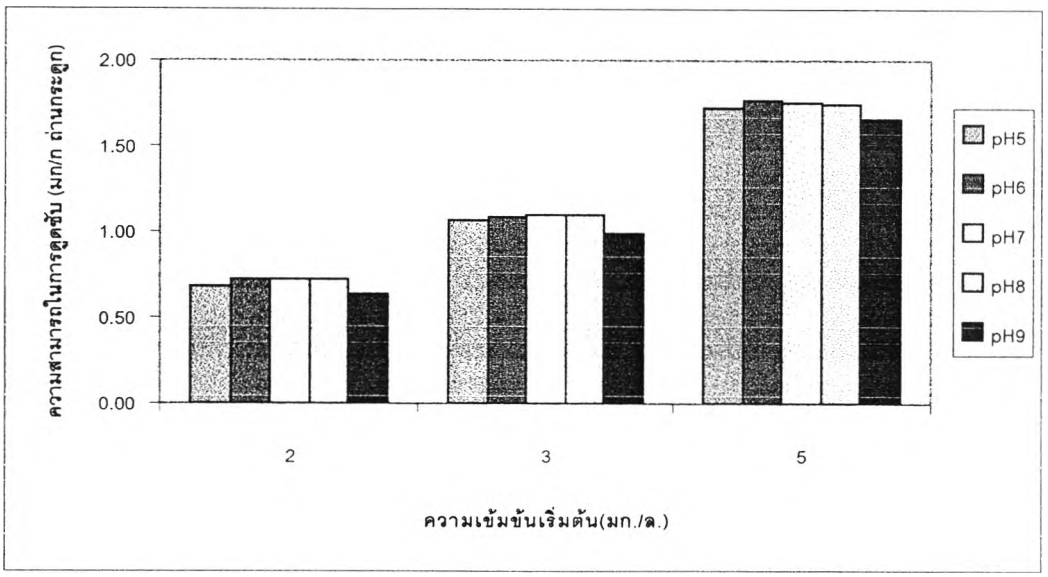
เล็กน้อย เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าพีเอชไม่มีผลต่อการใช้ถ่านกระดูกดูดซับคลอรีน และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับกับค่าความเข้มข้นของคลอรีน พบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย และในช่วงพีเอช 6-7 จะมีค่าความสามารถในการดูดซับคลอรีนของถ่านกระดูกสูงที่สุดในทุกค่าความเข้มข้น จึงสรุปว่าที่ช่วงค่าพีเอชดังกล่าวเป็นสภาวะเหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกกำจัดคลอรีน



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน (จากการดูดซับ) ของถ่านกระดูก 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนจากการดูดซับร่วมกับการสลายตัว ของถ่านกระดูก 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.13 แสดงความสามารถในการดูดซับคลอรีนของถ่านกระดูก 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ

4.3 การศึกษาเวลาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีสโดยการทดลองแบบกะ

4.3.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส

การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส โดยการเตรียมน้ำแมงกานีสสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ปรับค่าพีเอชของสารละลายประมาณ 6 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 1 กรัม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุล

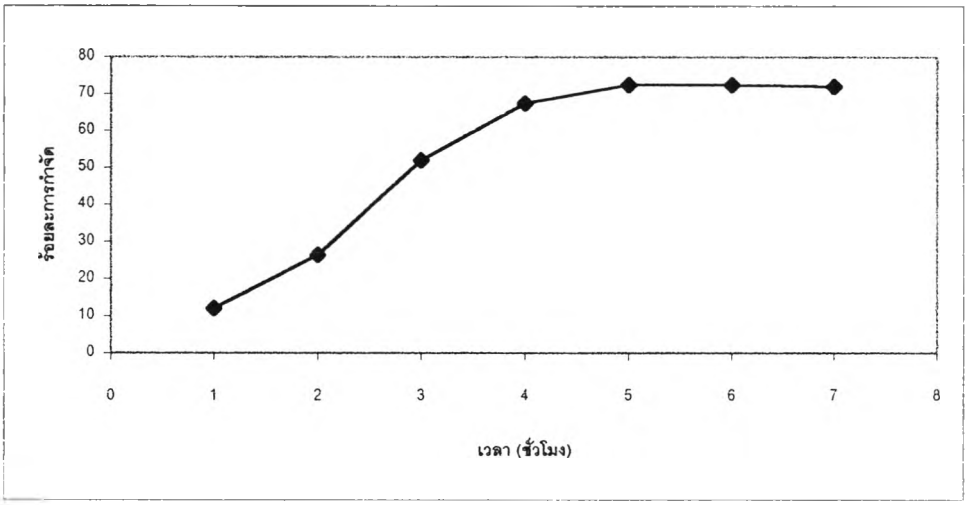
ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสเท่ากับร้อยละ 12, 26.5, 52, 67.5, 72.5, 72.5, 72.5 และ 72 ตามลำดับ โดยแสดงจากรูป 4.14 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาสัมผัสในการกำจัดเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นโดยระหว่างช่วงระยะเวลา 1 – 3 ชั่วโมง การกำจัดแมงกานีสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสามารถกำจัดแมงกานีสได้ร้อยละ 12-52 และภายหลังเวลาจากช่วงเวลา 4-5 ชั่วโมง การกำจัดจะเพิ่มอย่างช้าๆ จนค่อนข้างจะคงที่ คือมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 67.5-72.5 จนกระทั่งประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสคงที่เท่ากับร้อยละ 72.5 ที่ระยะเวลาสัมผัส 5-7 ชั่วโมง โดยรายละเอียดประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข-4

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก ที่เวลาสัมผัสต่างๆ พบว่า จากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 1-7 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกระดูกมีความสามารถในการกำจัดแมงกานีสเท่ากับ 0.048, 0.106, 0.21,0.27,0.29, 0.29 และ 0.29 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูก ที่เวลาเก็บตัวอย่างตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสามารถในการกำจัดแมงกานีสจะค่าเพิ่มมากขึ้นในช่วงระหว่างช่วงระยะเวลา 1 – 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.048-0.21 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูก และภายหลังเวลาจากช่วงเวลา 4-5 ชั่วโมง ความสามารถจะมีค่าค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน คือ 0.27-0.29 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อ

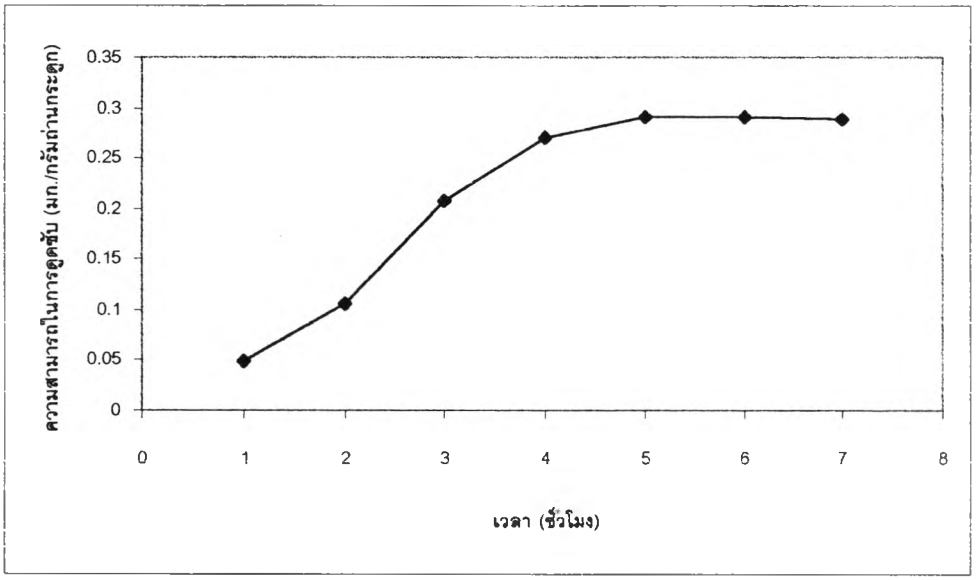
กรัมถ่านกระดูก และมีความสามารถในการกำจัดแมงกานีสคงที่เท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมคาร์บอน ที่ระยะเวลาสัมผัส 5-7 ชั่วโมง

ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างพีเอชเริ่มต้นและพีเอชสุดท้ายของแต่ละสภาวะการทดลอง พบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นทุกสภาวะการทดลองของการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ดังนี้ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ โดยมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.00 ค่าพีเอชสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 6.18-6.40

ดังนั้นสภาวะการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการทดลองจึงเลือกที่เวลาเท่ากับ 5 ชั่วโมง เพราะเป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดและความสามารถในการกำจัดแมงกานีสสูงสุด เท่ากับร้อยละ 72.5 และ 0.29 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูก ตามลำดับ และเป็นระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของการกำจัดแมงกานีส



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับประสิทธิภาพการกำจัดแมงกานีสด้วยถ่านกระดูก 1 กรัม ในน้ำสังเคราะห์แมงกานีสความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช6



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับความสามารถในการกำจัดแมงกานีสด้วยถ่านกระดูก 1 กรัม ในน้ำสังเคราะห์แมงกานีสความเข้มข้น 2 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6

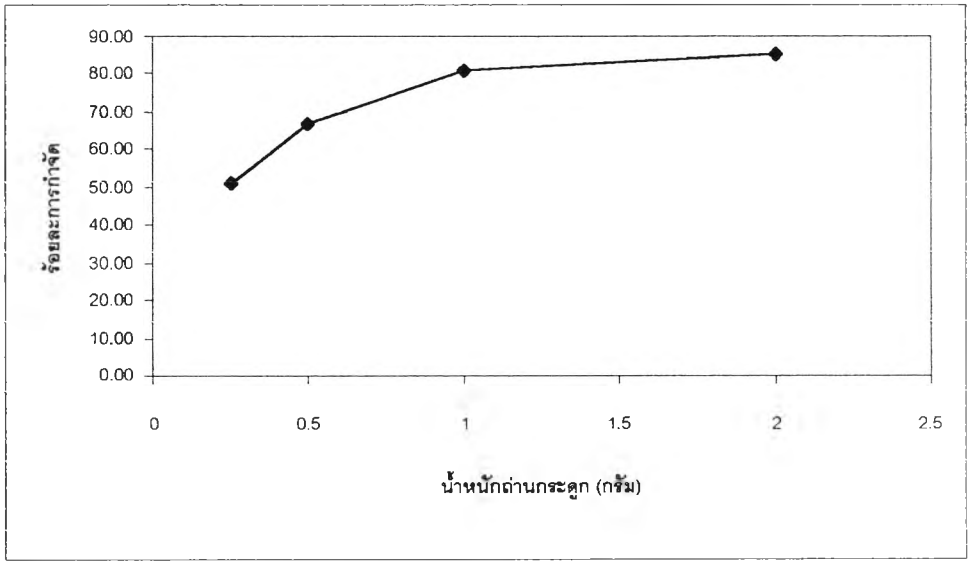
4.3.2 การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสม ในการกำจัดแมงกานีส

การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส ที่ความเข้มข้นสารละลายแมงกานีสเริ่มต้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปรับให้สารละลายแมงกานีสมีพีเอชเท่ากับ 6 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ในแต่ละขวด นำเขย่าเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามผลการทดลองการศึกษาหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในหัวข้อ 4.3.1 โดยใช้ความเร็วในการเขย่า 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

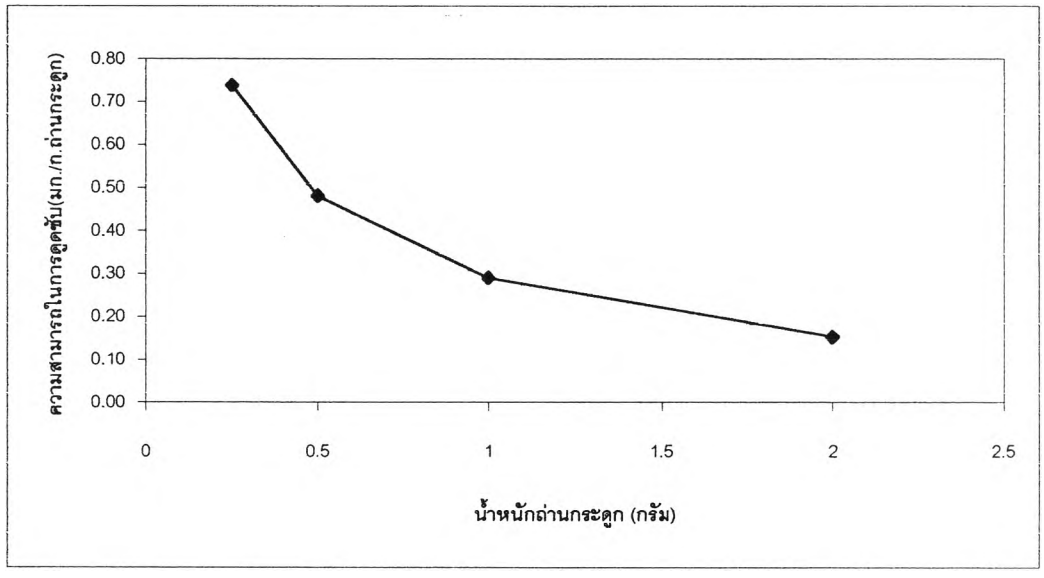
จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสมีค่าเท่ากับร้อยละ 51.11, 66.67 , 80.56 และ 85.00 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสจะเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูกและเวลาสัมผัส จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม พบว่า มีความสามารถในการกำจัดแมงกานีสเท่ากับ 0.74, 0.48, 0.29 และ 0.15 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูกตามลำดับ ดังแสดงจากรูป 4.17 ซึ่งจะพบว่าเมื่อปริมาณถ่านกระดูกเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการดูดซับแมงกานีสจะลดลง

ดังนั้นสภาวะการหาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการทดลองจึงเลือกที่ปริมาณถ่านกระดูกเท่ากับ 1 กรัม ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสเท่ากับร้อยละ 80.56 ซึ่งจะค่าประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกับเมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูก 2.00 กรัม คือเท่ากับร้อยละ 85 แต่จะมีค่าความสามารถในการดูดซับแมงกานีสสูงกว่าคือเท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูก เพราะเมื่อนำไปใช้งานจริงจึงเป็นการลดต้นทุนได้ หากใช้ปริมาณถ่านกระดูกน้อย แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสและปริมาณถ่านกระดูกต่างๆ ในน้ำสังเคราะห์แมงกานีสความเข้มข้น 2 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6

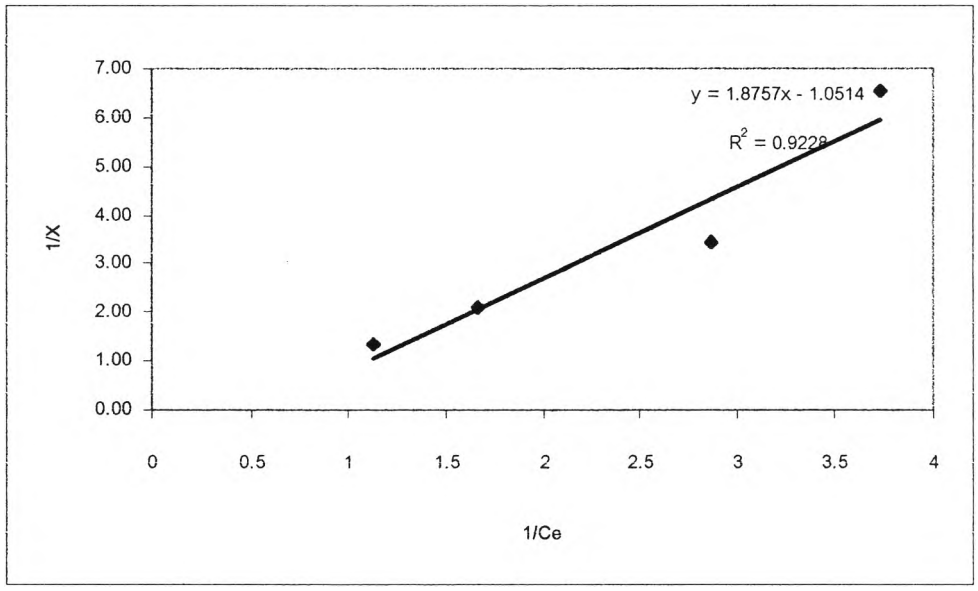


รูปที่ 4.17 แสดงความสามารถในการกำจัดแมงกานีสและปริมาณถ่านกระดูกต่างๆ ในน้ำสังเคราะห์แมงกานีสความเข้มข้น 2 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6

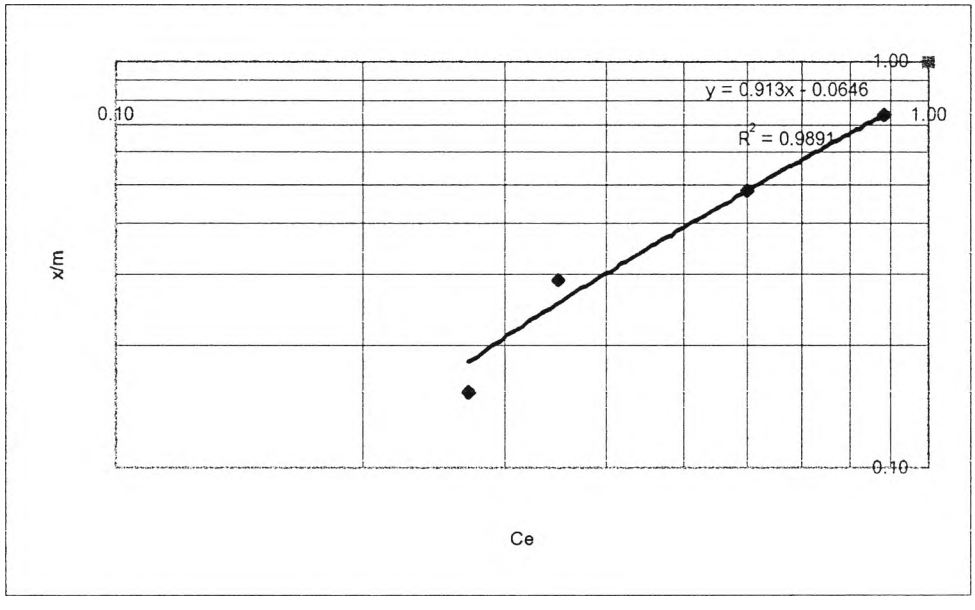
เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองมาทำกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และแบบฟรุนดิช ซึ่งแสดงดังรูป 4.18 และ 4.19 เมื่อพิจารณาค่า R-square ของไอโซเทอมทั้งสอง พบว่า ค่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิชมีค่าสูงและแบบแลงมัวร์คือมีค่าเท่ากับ 0.9891 และ 0.9222 ตามลำดับ ดังนั้นการกำจัดแมงกานีสจึงเข้ากับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชและแบบแลงมัวร์ โดยไอโซเทอมการกำจัดแมงกานีสแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูกการทดลองนี้เป็นดังสมการ

$$\log(X/m) = 0.913 \log Ce - 0.0646$$

โดยจากสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดิชข้างต้นมีค่าและ log K ซึ่งหมายถึงค่าคงที่สัมพันธ์กับการดูดติดผิวเท่ากับ -0.0646 มีค่าความชัน 1/n เท่ากับ 0.913 โดย Valencia และ Gloyna (1972) ได้ทำการศึกษา พบว่า สมการไอโซเทอมแบบฟรุนดิชที่มีค่าความชัน 1/n น้อยกว่า 1 แสดงเห็นว่าจะมีการดูดติดผิวที่ดีและความสามารถการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.18 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูกเตรียมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการกำจัดแมงกานีสในน้ำสังเคราะห์ แมงกานีสความเข้มข้น 2 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6



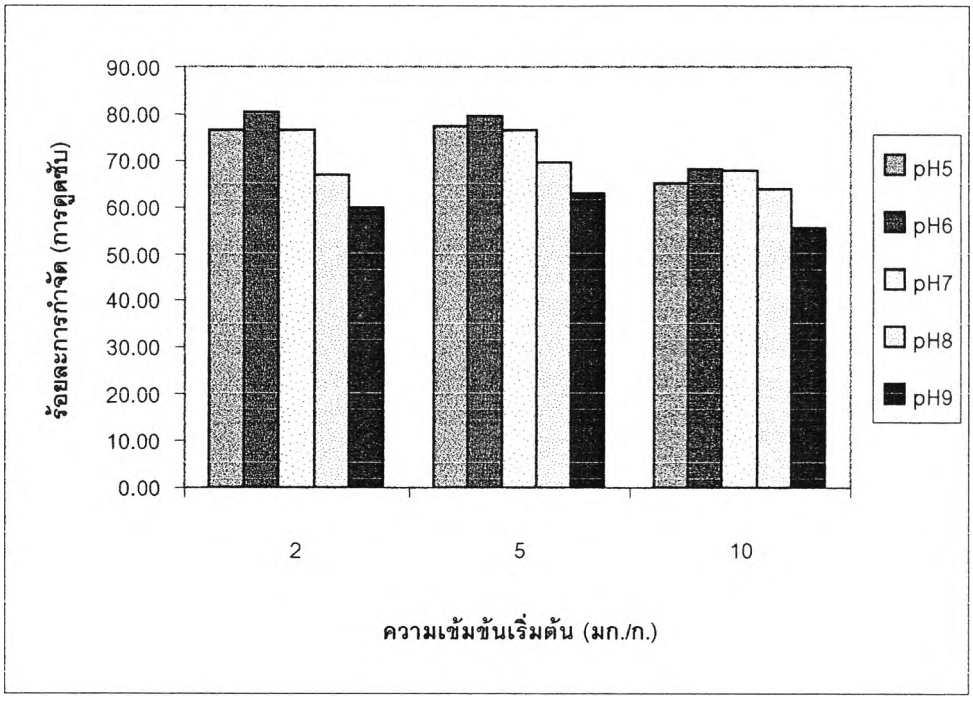
รูปที่ 4.19 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของถ่านกระดูกเตรียมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการกำจัดแมงกานีสในน้ำสังเคราะห์ แมงกานีสความเข้มข้น 2 มิลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6

4.3.3 การศึกษาหาค่าพีเอชและความเข้มข้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีส

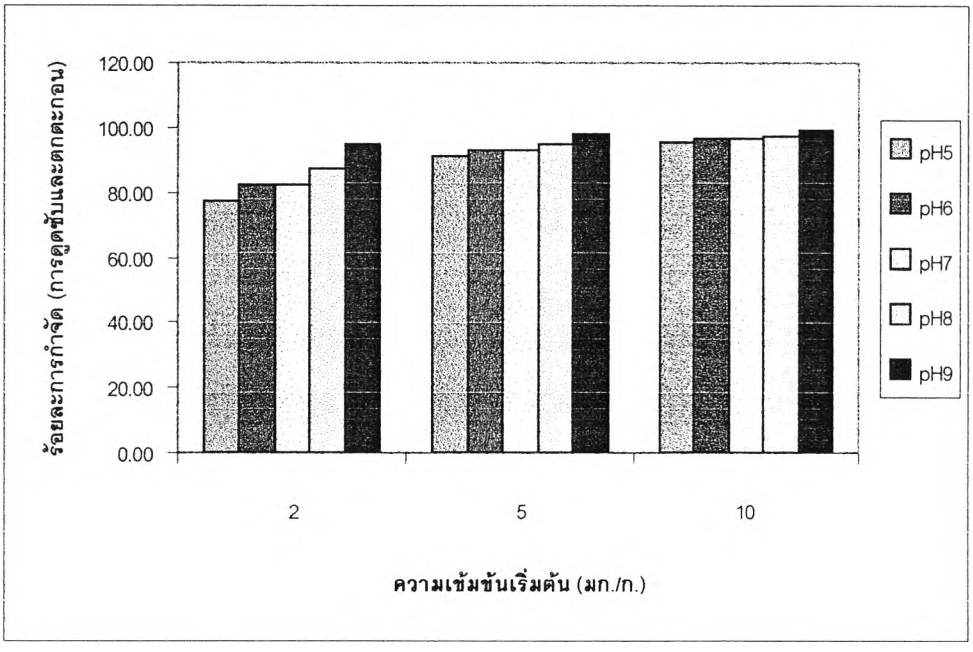
การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส โดยการเตรียมน้ำแมงกานีสสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 1 กรัม ตามผลการทดลองการศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในหัวข้อ 4.3.2 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามผลการทดลองศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสเนื่องจากการดูดติดผิว ดังแสดงในรูป 4.20 พบว่า ที่ความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้น 2,5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสจะเพิ่มขึ้นในช่วงพีเอช 5-6 และมีค่าลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นช่วง 8-9 โดยในช่วง 5-7 จะเป็นช่วงที่ถ่านกระดูกสามารถกำจัดแมงกานีสได้ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดเนื่องจากการดูดติดผิวร่วมกับการตกตะกอน ดังแสดงในรูป 4.21 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น และจะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแมงนีสสูงกว่าประสิทธิภาพในการกจัดแมงกานีสเนื่องจาการดูดติดผิวเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงพีเอชที่ทำการทดลองช่วง 5-9 เป็นช่วงที่แมงกานีสจะตกตะกอนในรูปของ $Mn(OH)_2$ และเมื่อพีเอชเพิ่มมากขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างก็จะตกตะกอนมากขึ้น ดังนั้นในช่วงพีเอชที่พีเอชสูงจะพบว่าถ่านกระดูกจะสามารถกำจัดแมงกานีสได้ดี เนื่องจากใช้กระบวนการดูดติดผิวร่วมกับการตกตะกอน

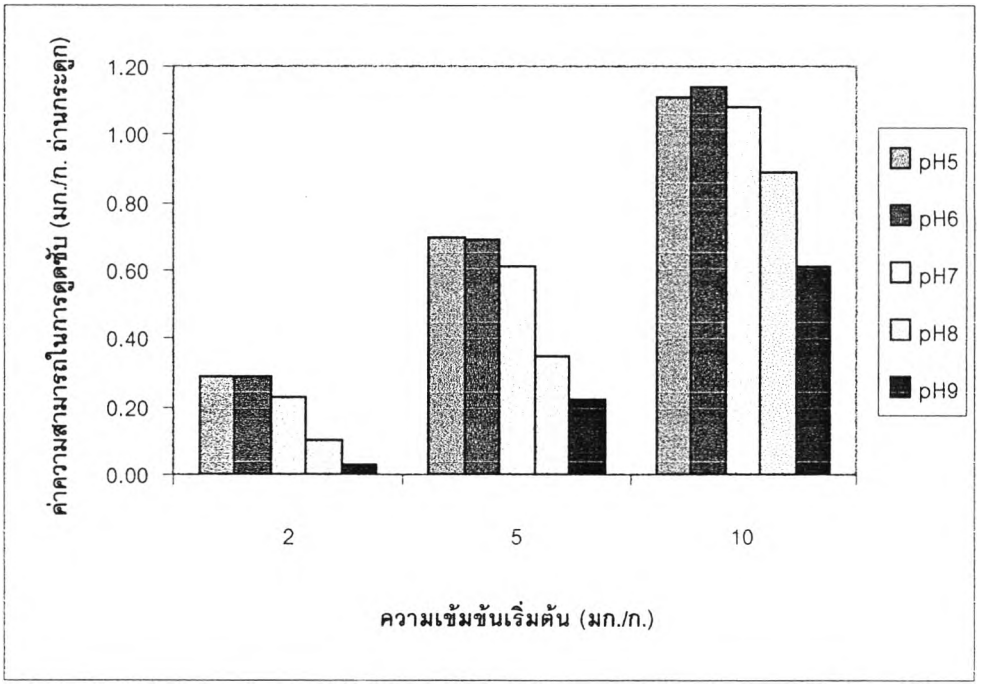
และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับแมงกานีสที่พีเอชและความเข้มข้นต่างๆ จากรูป 4.22 พบว่า ที่ค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นมีค่าความสามารถในการดูดซับแมงกานีสถ่านกระดูกเพิ่มขึ้น โดยพีเอช 6 จะมีค่าความสามารถในการดูดซับมากที่สุดคือเท่ากับ 0.29, 0.69 และ 1.14 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูก ที่ความเข้มข้น 2, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จึงสรุปว่าในการใช้ถ่านกระดูกดูดซับแมงกานีสพีเอช 5-7 เป็นพีเอชที่เหมาะในการใช้ถ่านกระดูกดูดซับแมงกานีส



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสจากการดูดซับ ของถ่านกระดูก 1 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสจากการดูดซับร่วมกับการตกตะกอน ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.22 แสดงความสามารถในการดูดซับแมงกานีสของถ่านกระดูก 1 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ

4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกกำจัดสีโดยการทดลองแบบกะ

4.4.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสี

การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดสี โดยการเตรียมน้ำสีสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ปริมาตร 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 7 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 1 กรัม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุล

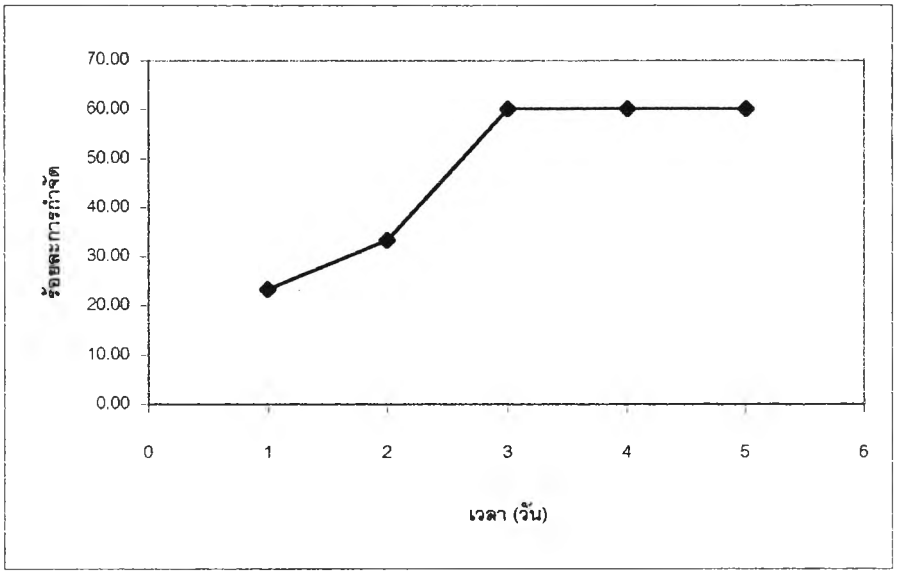
ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ที่เวลา 1,2, 3, 4, และ 5 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ดังต่อไปนี้เท่ากับร้อยละ 23.33, 33.33, 60.00, 60.00 และ 60.00, ตาม

ลำดับ โดยแสดงจากรูป 4.23 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาสัมผัสในการกำจัดเพิ่ม ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นโดยระหว่างช่วงระยะเวลา 1 – 3 วัน การกำจัดสีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 23.22-60.00 และภายหลังเวลาจากช่วงเวลา 3-5 วัน การกำจัดจะเริ่มคงที่ คือมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 60.00

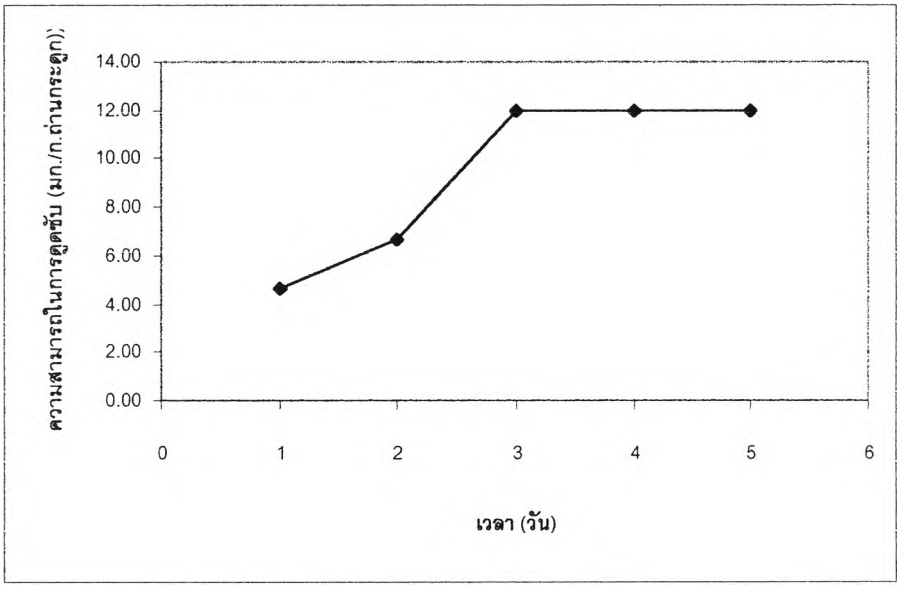
นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก ที่เวลาสัมผัสต่างๆ พบว่า จากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 1, 2, 3,4 และ 5 วัน พบว่า ถ่านกระดูกมีความสามารถในการกำจัดสีเท่ากับ 4.67, 6.67, 12.00, 12.00 และ 12.00 มิลลิกรัมคลอโรแพลทตินัมสีต่อกรัมถ่านกระดูก ที่เวลาเก็บตัวอย่างตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสามารถในการกำจัดสีจะค่าเพิ่มมากขึ้นในช่วงระหว่างช่วงระยะเวลา 1 – 3 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.67-12.00 มิลลิกรัมสีต่อกรัมถ่านกระดูก และภายหลังเวลาจากช่วงเวลา 3-5 วันความสามารถจะมีค่าความสามารถในการกำจัดแมงกานีสคงที่เท่ากับ 12.00 มิลลิกรัมคลอโรแพลทตินัมต่อกรัมคาร์บอน

ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างพีเอชเริ่มต้นและพีเอชสุดท้ายของแต่ละสภาวะการทดลอง พบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นทุกสภาวะการทดลองของการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ดังนี้ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ โดยมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.00 ค่าพีเอชสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 7.18-7.32

ดังนั้นสภาวะการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการทดลองจึงเลือกที่เวลาเท่ากับ 3 วัน เพราะเป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดและความสามารถในการกำจัดสีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 60 และ 12 มิลลิกรัมคลอโรแพทตินัมต่อกรัมถ่านกระดูก ตามลำดับ และเป็นระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของการกำจัดสี



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับประสิทธิภาพในการกำจัดสีด้วยถ่านกระดูก 1 กรัม ในน้ำสังเคราะห์สีความเข้มข้นสี 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม พีเอช 7



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับความสามารถในการกำจัดสีด้วยถ่านกระดูก 1 กรัม ในน้ำสังเคราะห์สีความเข้มข้นสี 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม พีเอช 7

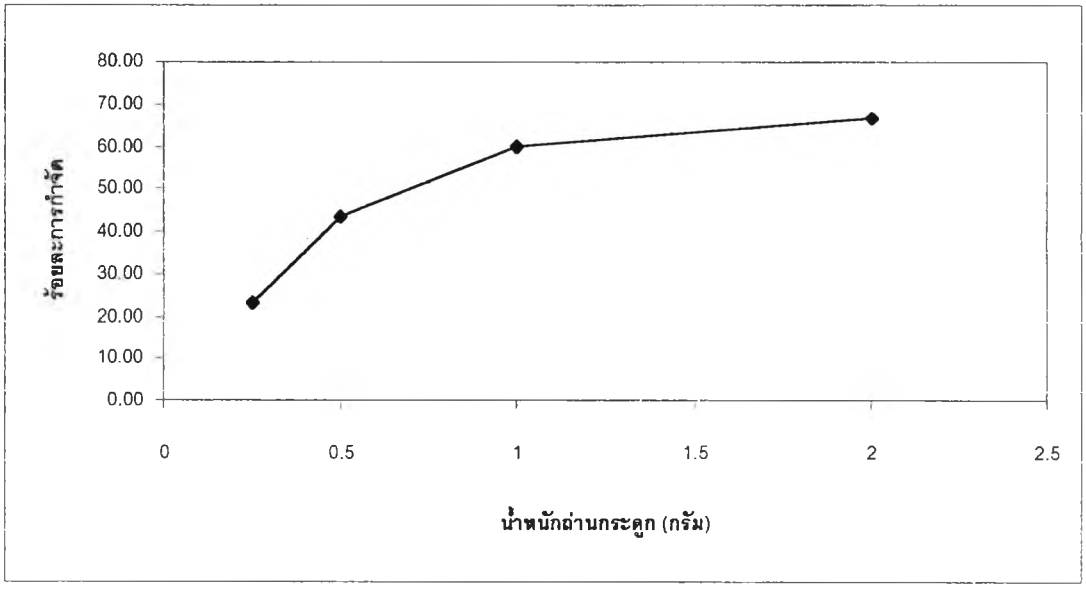
4.4.2 การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดสี

การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดสี ที่ความเข้มข้นสารละลายสีเริ่มต้นเท่ากับ 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปรับให้สารละลายให้มีพีเอชเท่ากับ 7 สีโดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ในแต่ละขวด นำเขย่าเป็นเวลา 3 วัน ตามผลการทดลองการศึกษาหาเวลาสัมผัสที่เข้าสู่สภาวะสมดุลในหัวข้อ 4.4.1 โดยใช้ความเร็วในการเขย่า 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

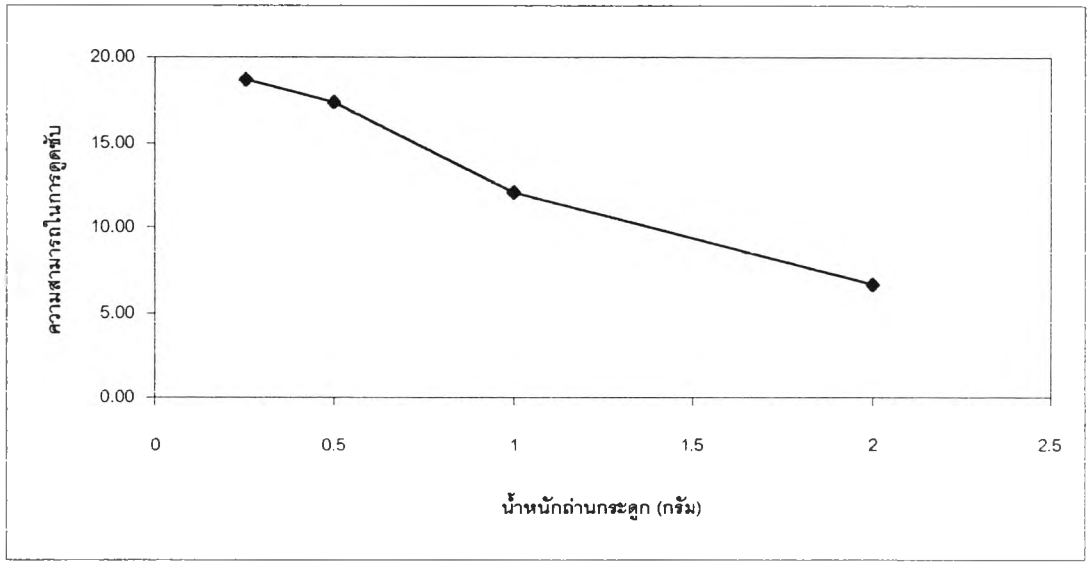
จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดสี มีค่าเท่ากับร้อยละ 23.33, 43.33 , 60.00 และ 66.67 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นถึงว่าเมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้น โดยรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข-8

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก (Adsoroption capacity : q) และเวลาสัมผัส จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ถ่านกระดูกปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม พบว่า มีความสามารถในการกำจัดสีเท่ากับ 18.67, 17.33, 12.00 และ 6.67 หน่วยคลอโรแพลทตินัมต่อกรัมถ่านกระดูกตามลำดับ ดังแสดงจากรูป 4.26 ซึ่งจะพบว่าเมื่อปริมาณถ่านกระดูกเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการดูดซับสีจะลดลง

ดังนั้นสภาวะการหาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการทดลองจึงเลือกที่ปริมาณถ่านกระดูกเท่ากับ 1 กรัม ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 60.00 ซึ่งจะค่าประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกับเมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูก 2.00 กรัม คือเท่ากับร้อยละ 66.67 แต่จะมีค่าความสามารถในการดูดซับสีสูงกว่าคือเท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมคลอโรแพลทตินัมต่อกรัมถ่านกระดูก เพราะเมื่อนำไปใช้งานจริงจึงเป็นการลดต้นทุนได้ หากใช้ปริมาณถ่านกระดูกน้อย แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.25 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสีและปริมาณถ่านกระดูกต่างๆ ในน้ำสังเคราะห์สีความเข้มข้นสี100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม พีเอซ 7

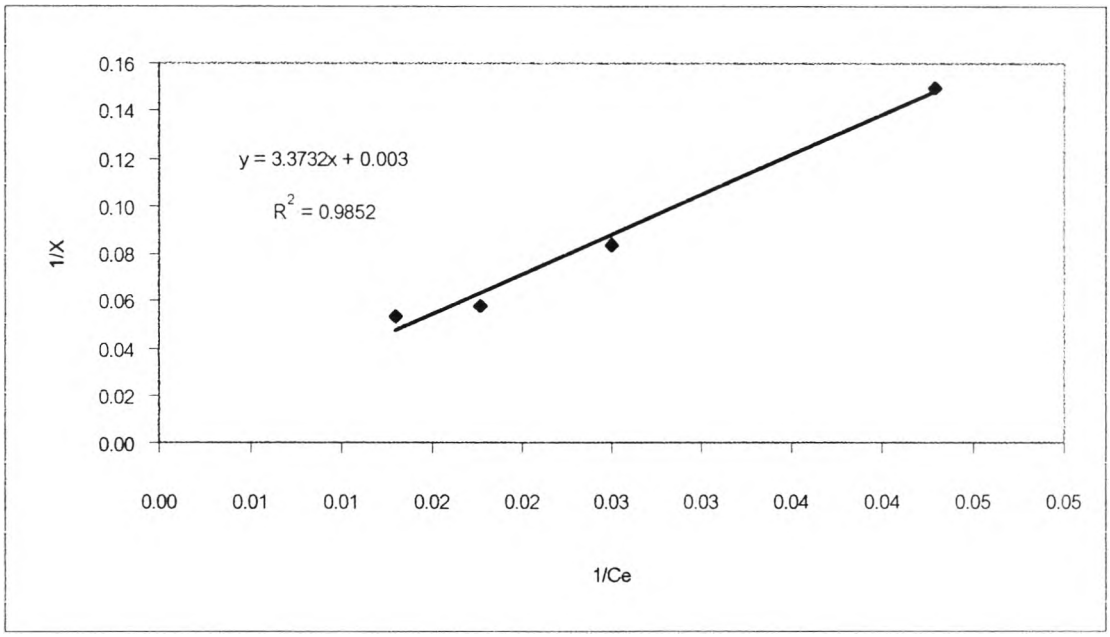


รูปที่ 4.26 แสดงความสามารถในกำจัดสีและปริมาณถ่านกระดูกต่างๆ ในน้ำสังเคราะห์สีความเข้มข้นสี100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม พีเอซ 7

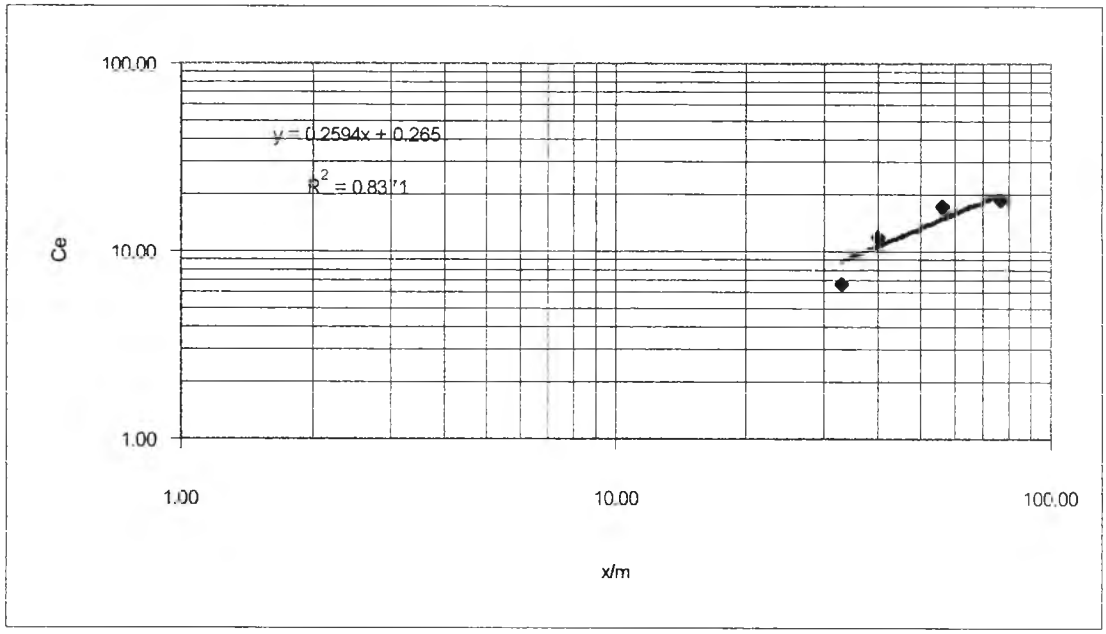
เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองมาทำกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และแบบฟรุนดิช ซึ่งแสดงดังรูป 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า R-square ของไอโซเทอมทั้งสอง พบว่า ค่าไอโซเทอมแบบแลงมัวร์มีค่าสูงกว่าแบบฟรุนดิชคือมีค่าเท่ากับ 0.9852 และ 0.8371 ตามลำดับ ดังนั้นการกำจัดสีจึงเข้ากับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ โดยไอโซเทอมการกำจัดสีแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูกการทดลองนี้เป็นดังสมการ

$$1(X/m) = 3.3732\ (1/Ce) + 0.003$$

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Venkata และคณะ (1997) ที่สรุปการกำจัดสีจากน้ำเสียเป็นไปตามไอโซเทอมแบบแลงมัวร์



รูปที่ 4.27 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูกเตรียมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการกำจัดสีในน้ำสังเคราะห์สี100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม พีเอช 7



รูปที่ 4.28 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของถ่านกระดูกเตรียมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการกำจัดสีในน้ำสังเคราะห์สี 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม พีเอช 7

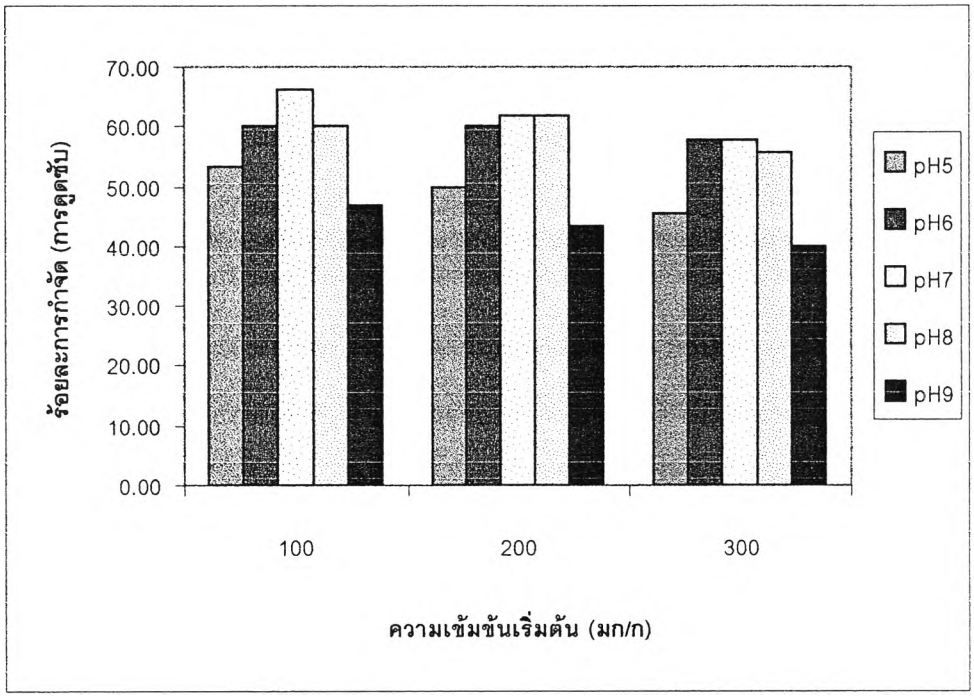
4.4.3 การศึกษาหาค่าพีเอชและความเข้มข้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี

การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสี โดยการเตรียมน้ำสีสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ปริมาณ 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้ 0.1 N ของสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และ 0.1 N ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เติมถ่านกระดูกปริมาณ 1 กรัม ตามผลการทดลองการศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในหัวข้อ 4.4.2 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 วัน ตามผลการทดลองศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิห้อง

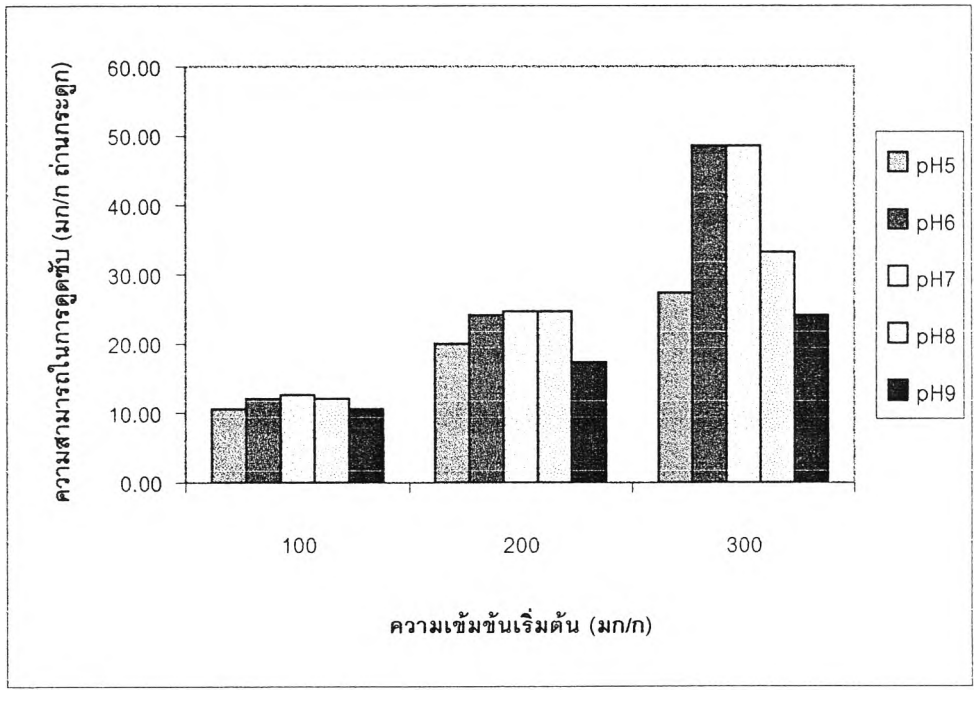
จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ดังแสดงในรูป 4.29 โดยที่ความเข้มข้น 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ช่วงพีเอช 6-

8 มีค่าเท่ากับร้อยละ 60-63.33 ที่พีเอช 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด คือร้อยละ 63.33 และประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดที่พีเอช 9 เท่ากับร้อยละ 46.67 ที่ค่าความเข้มข้นสี 200 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ที่พีเอช 6-8 มีค่าเท่ากับร้อยละ 60.00-61.67 โดยที่พีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือร้อยละ 61.67 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดที่พีเอช 9 เท่ากับร้อยละ 43.33 และที่ความเข้มข้นสี 300 หน่วยคลอโรแพลทตินัม มีค่าเท่ากับร้อยละ 55.56-57.78 โดยที่พีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือร้อยละ 57.78 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดที่พีเอช 9 เท่ากับร้อยละ 40.00 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงพีเอช 6-8และจะมีค่าลดลงเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 9 ในทุกความเข้มข้น จึงอาจกล่าวได้ว่าที่พีเอชสูงแสดงว่าน้ำมีปริมาณไฮโดรเจนสูงไอออนสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเกิดปฏิกริยาของถ่านกระดูกทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง

จากรูป 4.30 แสดงถึงความสามารถในการดูดซับสีของถ่านกระดูก พบว่า ความสามารถในการกำจัดสีจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นมากขึ้น โดยค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดจะอยู่ในช่วงพีเอช 6-7 โดยมีค่าเท่ากับ 12.00-12.67, 24.00-24.67 และ 48.44 มิลลิกรัมคลอโรแพลทตินัมต่อกรัมถ่านกระดูก ที่ความเข้มข้นสี 100, 200 และ 300 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ตามลำดับ สรุปว่าที่ค่าพีเอช 6-7 จึงเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยถ่านกระดูก เนื่องจากมีประสิทธิภาพและความสามารถในการกำจัดสูงสุดดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.29 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกระดูก 1 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.30 แสดงความสามารถในการดูดซับสีของถ่านกระดูก 1 กรัม ที่ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นต่างๆ

4.5 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน แมงกานีส และสีแบบกะ

4.5.1 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน

สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกดูดซับคลอรีน พบว่า ถ่านกระดูกสามารถกำจัดคลอรีนได้อย่างมีประสิทธิภาพดี โดยสามารถกำจัดได้สูงถึงร้อยละ 89.79-90.20 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6-7 และเวลาสัมผัสเท่ากับ 70 นาที เมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูก 0.5 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าพีเอชของน้ำเสีย ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแต่ความเข้มข้นคลอรีนเริ่มต้นในน้ำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวคลอรีนของถ่านกระดูกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยถ่านกระดูกสามารถดูดซับคลอรีนได้ในช่วง 1.73-1.77 มิลลิกรัมคลอรีนต่อถ่านกระดูก

$$Ca(OH)_2 + 2Cl^- + 2H^+ \rightarrow CaCl_2 + 2\,H_2O$$

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของอรภัทร (2540) ซึ่งศึกษาใช้ถ่านกัมมันต์เชิงการค้า DEO 8/30,PHO 8/30 และ HRO8/30 ดูดซับคลอรีนในน้ำพบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับคลอรีนมากกว่าถ่านกระดูกเล็กน้อย คือเท่ากับ 2.04 มิลลิกรัมคลอรีนต่อกรัมถ่านกระดูก ที่ความเข้มข้นคลอรีนเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 92.5

4.5.2 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดแมงกานีส

สรุปการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกดูดซับแมงกานีส พบว่า ถ่านกระดูกสามารถกำจัดแมงกานีสได้สูงสุดร้อยละ 77.33-79.31 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5-7 และเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 ชั่วโมง เมื่อใช้ปริมาณถ่านกระดูก 1 กรัม โดยค่าพีเอชมีผลต่อการกำจัด โดยเมื่อค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดจะเกิดปฏิกิริยาร่วมกับการตกตะกอนทางเคมี แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปฏิกิริยาการดูดซับด้วยถ่านกระดูกเท่านั้น พบว่าที่ค่าพีเอช 5-7 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพการกำจัดโดยการดูดซับ และค่าความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้น

แมงกานีสเริ่มต้นเพิ่ม โดยถ่านกระดูกมีความสามารถกำจัดแมงกานีสในช่วง 0.69-0.70 มิลลิกรัมแมงกานีสต่อกรัมถ่านกระดูก

$$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 6\,Mn^{2+} \rightarrow Mn_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 6Ca^{2+}$$

4.5.3 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดสี

สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกดูดซับสี พบว่าถ่านกระดูกสามารถกำจัดสีได้สูงสุดร้อยละ 66.33 ที่ความเข้มเริ่มต้น 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ที่พีเอช 7 และเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 วันปริมาณถ่านกระดูก 1 กรัม โดยค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยเมื่อค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง และค่าความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่ม และลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น โดยถ่านกระดูกมีความสามารถกำจัดสี เท่ากับ 12.67 มิลลิกรัมคลอโรแพลทตินัมต่อกรัมถ่านกระดูก

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของ สัญชวัล (2539) ในการใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดสีจากน้ำชะมูลฝอย พบว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวดีกว่าถ่านกระดูกคือเท่ากับ 512.22 หน่วยคลอโรแพลทตินัมต่อกรัมคาร์บอน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3000 หน่วยคลอโรแพลทตินัม เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีค่าพื้นที่ผิวและรูพรุนสูงกว่า คือเท่ากับ 1100 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.94 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ จึงสามารถดูดซับสีได้ดีกว่าถ่านกระดูกซึ่งมีค่าพื้นที่ผิวและรูพรุนเท่ากับ 6.9272 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.00125 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ เพราะในขบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้าจะใช้สารเคมีในการกระตุ้นในการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ แต่ในขบวนการผลิตถ่านกระดูกจะไม่ใช้สารเคมีใดๆ

โดยผลการทดลองแบบกะ สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสีในการทดลองแบบกะ

ผลการทดลอง	คลอรีน	แมงกานีส	สี
1.ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	89.79-90.20	77.33-79.31	66.33
2. พีเอชที่เหมาะสม	6-7	5-7	6-7
3.เวลาสัมผัส	70 นาที	5 ชั่วโมง	3 วัน
4. ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก)	1.73-1.77	0.69-0.70	12.67
5. ไอโซเทอมการดูดซับ	แลงมัวร์	ฟรุนดิช	แลงมัวร์

4.6 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสีในน้ำที่สภาวะที่เหมาะสมโดยการทดลองแบบคอลัมน์

4.6.1 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน ในน้ำที่มีการปนเปื้อนจริงที่สภาวะที่เหมาะสมโดยการทดลองแบบคอลัมน์

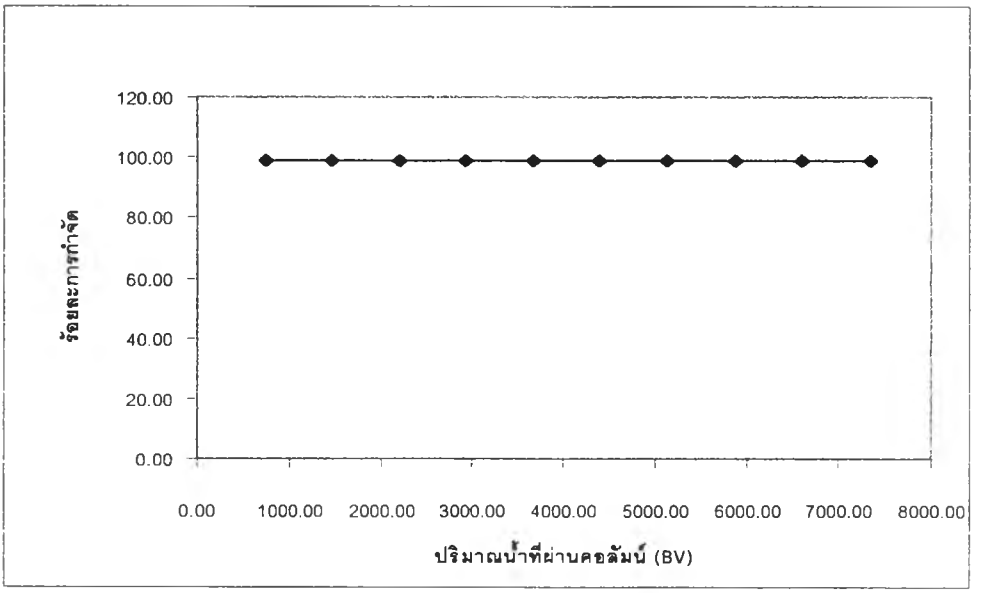
ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนในน้ำที่มีการปนเปื้อนจริงโดยการทดลองแบบคอลัมน์ ทดลองโดยนำน้ำที่ปริมาณคลอรีนจากน้ำประปาในโรงผลิตน้ำสามเสน-ธนบุรี นำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำหาปริมาณคลอรีนความขุ่น, ค่าสภาพด่าง และค่าพีเอชในน้ำประปา ไหลผ่านคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกให้มีความสูงที่เหมาะสมโดยบรรจุถ่านกระดูกปริมาณ 2.5 กรัม (ความสูงของชั้นถ่านกระดูกเป็น 10 เซนติเมตร หรือประมาณ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์ผ่านศูนย์กลางคอลัมน์) และทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเสียที่มีคลอรีนเท่ากับ 240 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง การทดลองมีลักษณะแบบต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างน้ำวันละ 1 ครั้ง จนกระทั่งน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นก่อนผ่านคอลัมน์

ผลการวิเคราะห์น้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำสามเสน-ธนบุรี แสดงดังตารางที่ 4.3

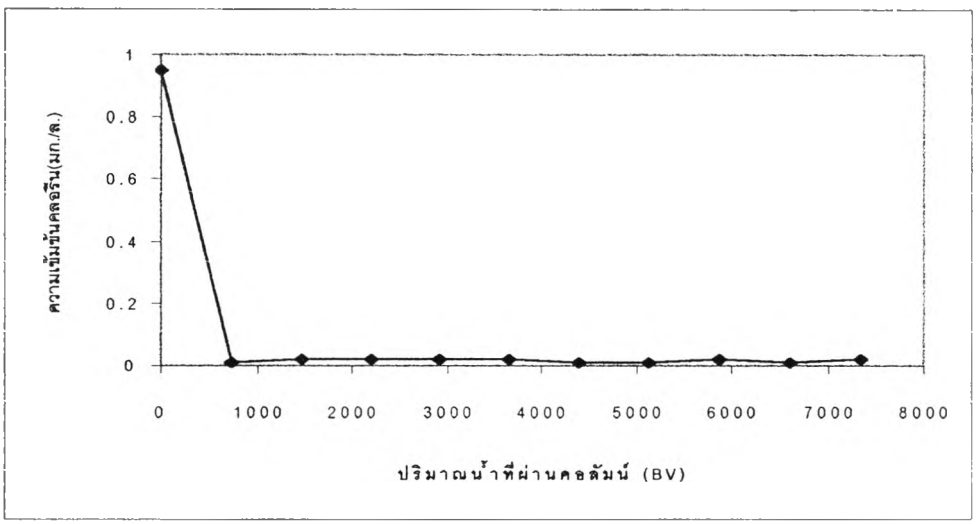
ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของน้ำประปาที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง จากโรงกรองน้ำสามเสน-ธนบุรี

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าที่ตรวจวัดได้
ค่าพีเอช	7.18
ค่าสภาพด่าง (mg/l)	84
ค่าความขุ่น (NTU)	0.4
ค่าคลอรีน (mg/l)	0.95

จากผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนในน้ำจริงโดยการทดลองแบบคอลัมน์ ดังแสดงจากรูป 4.31-4.32 พบว่า ปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 7338 BV มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเริ่มต้นเท่ากับประมาณร้อยละ 98.947 ซึ่งเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนค่อนข้างคงที่ ไม่มีการเบรคทรูจ์ แม้ว่าจะทำการทดลองเป็นเวลานานถึง 10 วัน ซึ่งสาเหตุคงเนื่องมาจากการที่คลอรีนมีการสลายตัวตัวอยู่ตลอดเวลา เป็นไปได้ว่าเมื่อถ่านกระดูกดูดซับคลอรีนแล้วเกิดการระเหยจึงสามารถรับคลอรีนเพิ่มเข้ามาได้อีกเรื่อย ๆ (รายละเอียดแสดงดังในภาคผนวก ค ตารางที่ ค-1)



รูปที่ 4.31 แสดงร้อยละในการกำจัดคลอรีนกับปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ความเข้มข้น 0.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ของถ่านกระดูก ซึ่งใช้อัตรากรอง 240 ลิตรต่อชั่วโมง ความสูงของชั้นถ่านกระดูก 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.32 แสดงความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยของถ่านกระดูก ซึ่งใช้อัตรากรอง 240 ลิตรต่อชั่วโมง ความสูงของชั้นถ่านกระดูก 10 เซนติเมตร

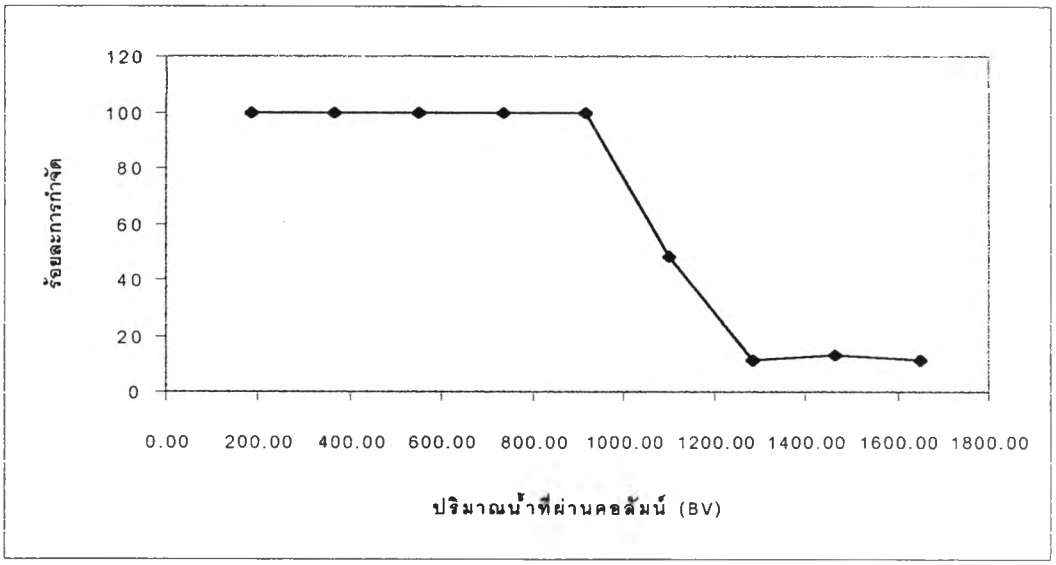
4.6.2 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดแมงกานีส ในน้ำที่มีการปนเปื้อนจริงที่สภาวะที่เหมาะสมโดยการทดลองแบบคอลัมน์

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสในน้ำจริงโดยการทดลองแบบคอลัมน์ ทดลองโดยนำน้ำเสียที่ปริมาณแมงกานีสจากน้ำคลองมหาสวัสดิ์ โดยเป็นแหล่งน้ำที่ทางการประปานครหลวงใช้ในการผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ นำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำหาปริมาณแมงกานีส, ความขุ่น, ค่าสภาพด่าง และค่าพีเอชในน้ำเสียดังแสดงดังตารางที่ 4.4 ไหลผ่านคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกให้มีความสูง 10 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกปริมาณ 2.5 กรัม (ความสูงของชั้นถ่านกระดูกเป็น 10 เซนติเมตร หรือ ประมาณ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์ผ่านศูนย์กลางคอลัมน์) และทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเสียที่มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และการทดลองมีลักษณะแบบต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างน้ำวันละ 1 ครั้ง จนกระทั่งน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นก่อนผ่านคอลัมน์

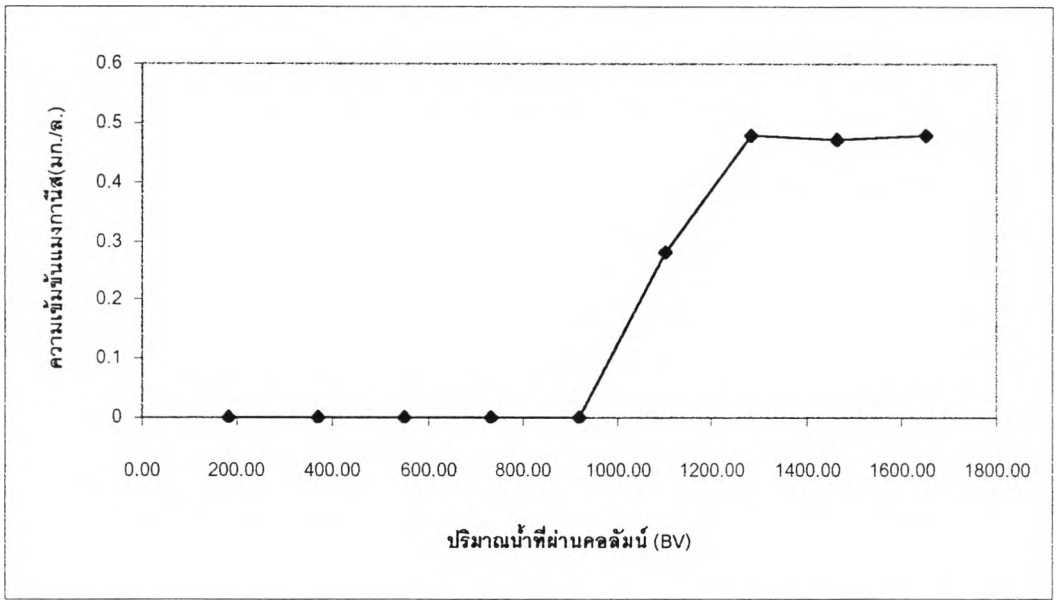
ตารางที่ 4.4 แสดงคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง จากคลองมหาสวัสดิ์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าที่ตรวจวัดได้
พีเอช	7.34
ค่าสภาพด่าง (มก/ล.)	122
ความขุ่น (NTU)	26
แมงกานีส(มก/ล.)	0.54

จากผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสในน้ำจริงโดยการทดลองแบบคอลัมน์ จากภาพ 4.33-4.34 พบว่าอัตราส่วนน้ำออกและน้ำเข้าของแมงกานีสจะเพิ่มขึ้นจนเกิดการเบรคทรูจ์ ที่ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านการบำบัดทั้งหมด 1284 BV และบำบัดน้ำเสียให้มีความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความของแมงกานีสเริ่มต้น 0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ไหล 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านการบำบัดปริมาตร 1101 BV



รูปที่ 4.33 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสกับปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ความเข้มข้น 0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ของถ่านกระดูก ซึ่งใช้อัตรากรอง 60 ลิตรต่อชั่วโมง ความสูงของชั้นถ่านกระดูก 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.34 แสดงความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยของถ่านกระดูก ซึ่งใช้อัตรากรอง 60 ลิตรต่อชั่วโมง ความสูงของชั้นถ่านกระดูก 10 เซนติเมตร