

บทที่ 4

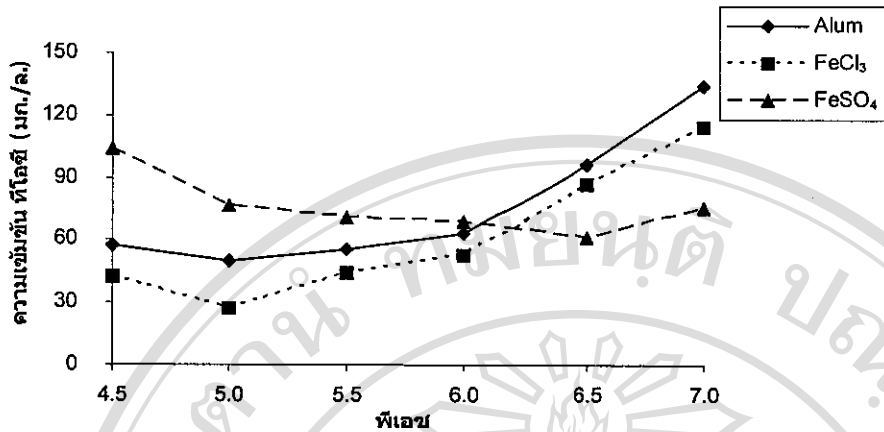
ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 การทดลอง Jar Test

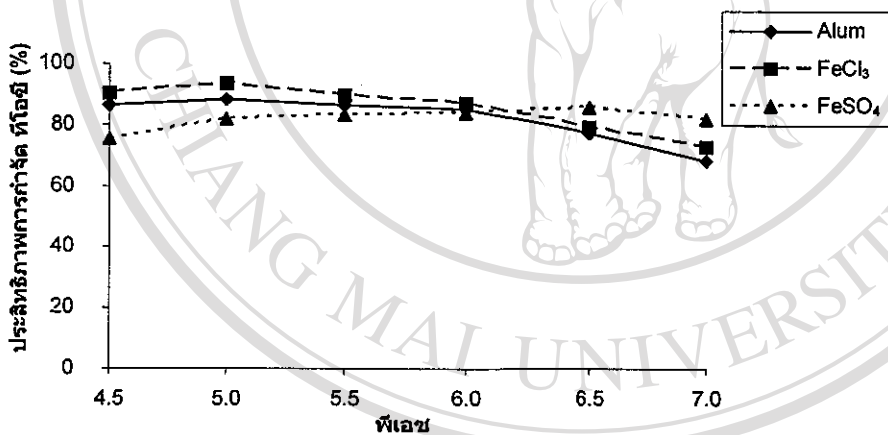
4.1.1 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปของทีโอซี

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดลองกระบวนการกำจัดสีในรูปของทีโอซีโดยวิธีโคแอกกูเลชัน โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานย้อมผ้าฝ้ายแห่งหนึ่งในจังหวัดลำพูน โดยน้ำเสียที่เก็บได้จากโรงงานย้อมผ้าฝ้ายแห่งนี้มีลักษณะที่เป็นน้ำเสียสีผสมเป็นสีน้ำเงินทีโอซีและพีเอชที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 420 มก./ล. และ 6.8 ตามลำดับ นำน้ำเสียสีนี้ไปผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้อุปกรณ์ Jar Test โดยมีความเร็วรอบในการกวนเร็วเท่ากับ 150 รอบต่อนาที และความเร็วรอบในช่วงกวนช้าเท่ากับ 20 รอบต่อนาที โดยใช้เวลา 1 นาที ทำการปรับพีเอชไปพร้อมกับการกวนเร็ว และใช้เวลา 20 นาที และ 30 นาที สำหรับช่วงกวนช้าและตกตะกอนตามลำดับโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต โดยใช้ความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดเท่ากับ 600 มก./ล. ทำการแปลผันค่าของพีเอชภายหลังผ่านกระบวนการกวนเร็วให้มีค่าเท่ากับ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 และ 7.0 จากนั้นนำน้ำเสียสีรวมที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้วมาหาปริมาณของทีโอซีที่เหลือโดยทำการทดลอง 2 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีที่เหลือ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีที่เหลือมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณของทีโอซีที่เหลือ หลังจากการทำกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซี (%) ที่พีเอชต่างๆ หลังจากการทำกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าพีเอชมีผลอย่างเด่นชัดต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีซึ่งวัดในรูปของทีโอซีกล่าวคือ จะเห็นได้เมื่อใช้ สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นสารโคแอกกูแลนต์ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีจะลดลงเมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้นและค่าพีเอชที่ดีที่สุดในการกำจัดสีในรูปของทีโอซีมีค่าเท่ากับ 5.0 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีเท่ากับ 88.11 % และ 93.45 % สำหรับสารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ ตามลำดับในขณะที่เมื่อใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีมีค่าต่ำลงเมื่อพีเอชมีค่าลดลงและค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีในรูปของทีโอซีมีค่าเท่ากับ 6.5 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีเท่ากับ 85.48 %



รูปที่ 4.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดที่ไอซีที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 420 มก./ล. โดยการใช้สารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด คือ Alum FeCl₃ และ FeSO₄ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 600 มก./ล.



รูปที่ 4.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซี (%) ของสารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด คือ Alum FeCl₃ และ FeSO₄ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 600 มก./ล.

ผลการทดลองระบุให้เราทราบว่ากลไกในการกำจัดสีโดยกระบวนการโคแอกกูแลชัน และฟลอคกูแลชันมีความซับซ้อน โดยมีกลไกหลากหลายรูปแบบเกิดขึ้น กล่าวคือเมื่อ สารส้มเพอร์ริคลอไรด์ และเฟอร์รัสซัลเฟตละลายอยู่ในน้ำ สารโคแอกกูแลนต์เหล่านี้จะแตกตัวให้อิออนที่มีประจุบวก (Fe^{3+} Al^{3+} หรือ Fe^{2+}) โดยอิออนที่มีประจุบวกเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาสร้างพันธะกับออกซิเจนอะตอมของน้ำ 6 โมเลกุลที่อยู่ล้อมรอบ อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุที่พันธะที่เกิดขึ้น

ระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจนนั้นมีความแข็งแรงที่ต่ำส่งผลให้อะตอมของไฮโดรเจนมีแนวโน้มที่จะสูญเสียออกไปสู่น้ำ (โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จะถูกเรียกว่า กระบวนการ Hydrolysis) ส่งผลให้เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนที่แตกต่างกันไปตามค่าพีเอชและปริมาณสารโคแอกกูแลนที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ โดยที่สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีประจุบวกที่ลดลงเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นและเมื่อพีเอชสูงขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่งจะเกิดการตกผลึกของสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะหนัก (ยกตัวอย่างเช่น $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่ไม่ละลายน้ำ) และในที่สุดก็เกิดสารเชิงซ้อนที่มีประจุลบ

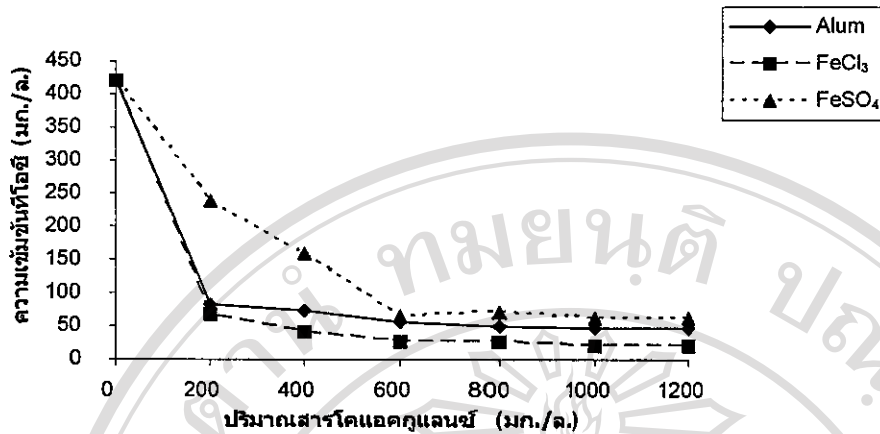
การเปลี่ยนแปลงของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นนี้อาจจะเป็นกลไกควบคุมกลไกในการกำจัดสีเมื่อพิจารณาดีไคเร็กซ์ซึ่งเป็นสีย้อมที่นิยมในการใช้ย้อมผ้าฝ้ายเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ประจุลบ ดังนั้นเมื่อพีเอชของน้ำมีค่าที่ต่ำสารส้อมและเฟอร์ริคคลอไรด์จะแตกตัวให้สารเชิงซ้อนที่มีประจุบวกซึ่งมีประจุที่ตรงข้ามกับสีย้อมดีไคเร็กซ์ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดสี (กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบ Charge Neutralization) และเมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้นประจุบวกของสารเชิงซ้อนจะมีค่าที่ลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพมีค่าที่ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพีเอช มีค่าเท่ากับ 7 พบว่าทั้งสารส้อมและเฟอร์ริคคลอไรด์ มีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสี (ประมาณ 72.92 % สำหรับเฟอร์ริคคลอไรด์ และ 68.17 % สำหรับสารส้อม) ผลเช่นนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่ประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุลบยังเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อย ดังนั้นกลไกการกำจัดสีในช่วงนี้อาจจะเกิดจากกลไกแบบกวาด (Sweep Flocc) ซึ่งเป็นกลไกการกำจัดอนุภาคโดยเกิดจากการตกผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่เป็นของแข็งกวาดเอาอนุภาคต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำให้ตกตะกอน

ในทางตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาเฟอร์ริคซัลเฟต พบว่าที่พีเอชสูงจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่าที่พีเอชต่ำ (ในช่วงพีเอช 4.5-7.5) ซึ่งผลการทดลองเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเฟอร์ริคซัลเฟต มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากสารส้อมและเฟอร์ริคคลอไรด์ (ประจุแตกต่างกัน) ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสารเชิงซ้อนในช่วงนี้มีโครงสร้างที่แตกต่างออกไป อย่างไรก็ตาม พบว่าที่ค่าพีเอชมีค่าที่ต่ำมากๆ ยกตัวอย่างเช่น 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีของสารโคแอกกูแลนทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่เป็นเช่นนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการที่ พีเอช มีค่าที่ลดต่ำลงส่งผลให้สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีปริมาณโมเลกุลของ OH^- ที่ล้อมรอบมากขึ้น (ยกตัวอย่างเช่น $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ หรือ $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$) ส่งผลให้การรวมตัวกันของสีและไอออนเชิงซ้อนเป็นไปได้ยากขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วงพีเอชต่ำๆ มีค่าที่ลดลง

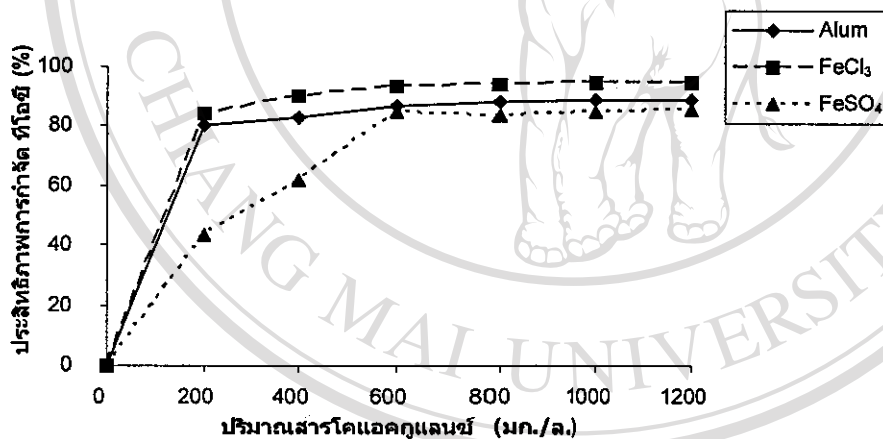
4.1.2 ผลของปริมาณสารโคแอกกูแลนที่มีต่อการกำจัดสีในรูปของ ทีไอซี

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดลองกระบวนการกำจัดสีโดยวิธีโคแอกกูแลชัน โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานย้อมผ้าฝ้ายแห่งหนึ่งในจังหวัดลำพูน น้ำเสียรวมที่เก็บได้จากโรงงานย้อมผ้าฝ้ายแห่งนี้มีลักษณะที่เป็นน้ำเสียสีผสมเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำไปวัดค่าทีไอซีและพีเอชพบว่าค่าทีไอซีและพีเอชที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 420 มิลลิกรัม/ลิตร และ 6.8 ตามลำดับ เมื่อนำน้ำเสียน้ำเงินนี้ไปผ่านกระบวนการโคแอกกูแลชันโดยใช้สารโคแอกกูแลนที่ 3 ชนิดซึ่ง ได้แก่ สารส้ม เพอร์ริคคโลไรด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต โดยแปรผันค่าความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนที่ เท่ากับ 200, 400, 600, 800 1000 และ 1200 มก./ล. ทำการปรับพีเอชไปพร้อมกับกระบวนการกวนเร็วโดยควบคุมให้พีเอชภายหลังผ่านกระบวนการกวนเร็วให้มีค่าเท่ากับ 5.0 สำหรับสารส้มและเพอร์ริคคโลไรด์ และให้มีค่าเท่ากับ 6.5 สำหรับ เฟอร์รัสซัลเฟต (ผลจากการทดลองในข้อ 4.1.1) โดยใช้เวลา 20 นาที และ 30 นาที สำหรับช่วงกวนช้าและตกตะกอนตามลำดับ โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$) จากนั้นนำน้ำเสีารวมที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูแลชันแล้วมาหาปริมาณของทีไอซีที่เหลือ โดยทำการทดลอง 2 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีไอซีที่เหลือ แล้วนำค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีไอซี ที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารโคแอกกูแลนที่ใช้กับปริมาณของทีไอซีที่เหลือ หลังจากการทำกระบวนการโคแอกกูแลชัน โดยใช้สารโคแอกกูแลนที่แต่ละชนิด แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดทีไอซี (%) ที่ ปริมาณของสารโคแอกกูแลนที่ต่างๆ หลังจากการทำกระบวนการโคแอกกูแลชัน โดยใช้สารโคแอกกูแลนที่แต่ละชนิด แสดงไว้ในรูปที่ 4.4

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลของปริมาณสารโคแอกกูแลนที่ทั้ง 3 ชนิดที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ในรูปของค่าทีไอซีโดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปทีไอซีสูงกว่า 80 % คือ เท่ากับ 80.18 %, 84.03 % และ 84.58 % สำหรับ สารส้ม เพอร์ริคคโลไรด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ สารส้ม และเพอร์ริคคโลไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนค่าความเข้มข้นของทีไอซีมีค่าลดลงเมื่อค่าของปริมาณสารโคแอกกูแลนที่มีค่าเพิ่มขึ้นและที่ประสิทธิภาพในการกำจัดทีไอซีสูงกว่า 80 % ปริมาณของสารโคแอกกูแลนที่ทั้ง 2 ชนิดมีค่าเท่ากับ 200 มก./ล. ในขณะที่เมื่อใช้ เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนค่าความเข้มข้นของทีไอซีมีค่าลดลงเมื่อค่าของปริมาณสารโคแอกกูแลนที่มีค่าเพิ่มขึ้นและที่ประสิทธิภาพในการกำจัดทีไอซีสูงกว่า 80 % ปริมาณของเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่าเท่ากับ 600 มก./ล. โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนที่เท่ากัน เพอร์ริคคโลไรด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในรูปทีไอซีสูงสุด รองลงมา ได้แก่ สารส้มและเฟอร์รัสซัลเฟตตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ทั้ง 3 ชนิด คือ Alum FeCl₃ และ FeSO₄ ที่มีต่อการกำจัดที่ไอซีที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 420 มก./ล. โดยควบคุมพีเอชเท่ากับ 5.0 สำหรับ Alum และ FeCl₃ และควบคุมพีเอชเท่ากับ 6.5 สำหรับ FeSO₄



รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซี (%) โดยการใช้สารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด คือ Alum FeCl₃ และ FeSO₄ ซึ่งทำการควบคุมพีเอชเท่ากับ 5.0 สำหรับ Alum และ FeCl₃ และควบคุมพีเอชเท่ากับ 6.5 สำหรับ FeSO₄

นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปที่ไอซีโดยพบว่าเมื่อใช้สารโคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่สูงขึ้นจะสามารถกำจัดสีได้มากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าการเพิ่มปริมาณสารโคแอกกูแลนต์จะส่งผลให้ปริมาณสารเชิงซ้อนที่พีเอชที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสีและ

สารเชิงซ้อนที่มากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในรูปของ ทีโอซี มีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองเช่นนี้ทำให้เราทราบว่ากลไกการกำจัดสีมีความซับซ้อนซึ่งอาจเกิดจากกลไกทำลายเสถียรภาพแบบ Charge Neutralization ร่วมกับ Sweep Flocc ซึ่งถ้าต้องการที่จะทราบว่ากลไกในการบำบัดเป็นชนิดใด จำเป็นต้องทราบข้อมูลของการกระจายตัวของสารเชิงซ้อนของทั้ง Fe^{3+} และ Al^{3+} ที่ พีเอช ต่างๆ กัน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้ทำการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้

นอกจากนี้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียสีเขียวรวมก่อนและหลังทำการโคแอกกูเลชัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ ค-1 และ ค-2 (ภาคผนวก ค)

4.1.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้สารโคแอกกูแลนต์

เมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าสารส้มนั้นเป็นสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีรวม 1 ลบ.ม. ให้ได้ประสิทธิภาพสูงกว่า 80 % พบว่าสารส้มจะใช้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดเช่นกัน โดยเสียค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 3 บาท รองลงคือ เฟอร์รัสซัลเฟต (15 บาท) และ เฟอร์ริกคลอไรด์ (18 บาท) ตามลำดับ โดยราคาที่คำนวณพิจารณาจากราคา สารส้ม ราคา กิโลกรัมละ 15 บาท เฟอร์รัสซัลเฟต ราคา กิโลกรัมละ 25 บาทและเฟอร์ริกคลอไรด์ ราคา กิโลกรัม ละ 90 บาท

อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่าสีข้อมฟ้าแม้ปนเปื้อนอยู่ในน้ำในปริมาณที่น้อยก็ส่งผลให้น้ำเสียที่ถูกทิ้งนั้นต่อทัศนียภาพในแง่ลบ เกิดความน่ารำคาญแก่ผู้พบเห็น ดังนั้นแม้ว่าจะสามารถบำบัดค่าทีโอซีได้สูงกว่า 80 % ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ จำเป็นต้องผ่านการบำบัดขั้นต่อไป ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.2 การทดลองกระบวนการดูดติดผิวแบบไม่ต่อเนื่องในถังปฏิกรณ์แบบเท

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันจากการทดลอง 4.1 โดยใช้สารส้มเป็นสาร โคแอกกูแลนต์ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายเป็นหลักซึ่งน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการข้างต้นมีค่าทีโอซีและพีเอชเท่ากับ 39.05 มก./ล. และ 5.0 ตามลำดับ สำหรับกระบวนการดูดติดในขั้นตอนนี้เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน (F 300) และ กะลามะพร้าว (C 1000) โดยคุณสมบัติของถ่านทั้ง 2 ชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง

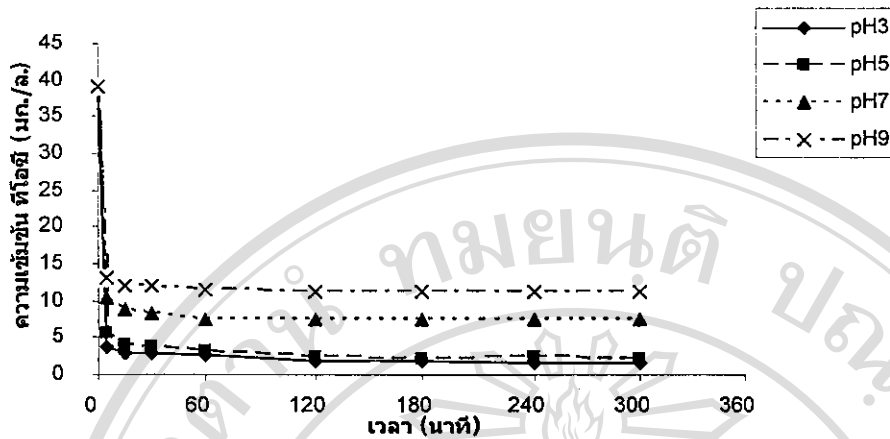
คุณสมบัติของถ่าน	ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก	ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก
	ถ่านหิน (F 300)	กะลามะพร้าว (C 1000)
เลขไอโอดีน (Iodine Number)	950	1,150
พื้นที่ผิวจำเพาะ(ม ² /กรัม)(BET)	900-1,000	1,000-1,150
ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	0.48	0.43
เปอร์เซ็นต์ซีเถ้า (%)	8	12
ขนาดของอนุภาคถ่าน	เล็กกว่า 106 ไมโครเมตร	เล็กกว่า 106 ไมโครเมตร

ที่มา : บริษัท Calgon Carbon Corporation USA และบริษัท K Activated Carbon Kristall

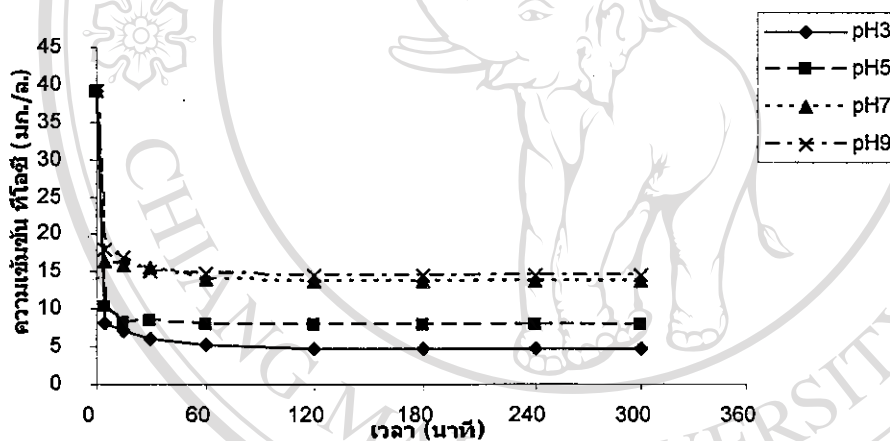
4.2.1 ผลของพีเอชที่มีต่อเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 0.4 กรัมสำหรับถ่านกัมมันต์ F 300 และ 1.0 กรัมสำหรับถ่านกัมมันต์ C 1000 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. ที่มีน้ำสีช้อมรวมที่มีสีน้ำเงินที่มีค่าความเข้มข้นซึ่งวัดในรูปของทีโอซีเท่ากับ 39.05 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. พีเอชที่ใช้ในการทดลองให้มีค่าเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริกในการปรับพีเอชหลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที โดยทำการเขย่าขวดที่เวลาต่างๆกัน (5, 15, 30, 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที) โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) เมื่อทำการเขย่าครบตามเวลาที่กำหนด จึงนำน้ำเสียสีรวมมาทำการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกของแข็งออกจากน้ำตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการเก็บเอาเฉพาะน้ำใสไปทำการหาปริมาณสีในรูปทีโอซีที่เหลืออยู่ โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีที่เหลือ แล้วนำค่าความเข้มข้นทีโอซีเฉลี่ยไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทีโอซีที่เหลืออยู่กับเวลาที่ใช้ในการเขย่าดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และ

4.6



รูปที่ 4.5 ผลของพีเอชที่มีต่อเวลาสัมพัทธ์ที่ใช้ในการดูดติดสีในรูปของทีโอซีที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 39.05 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300



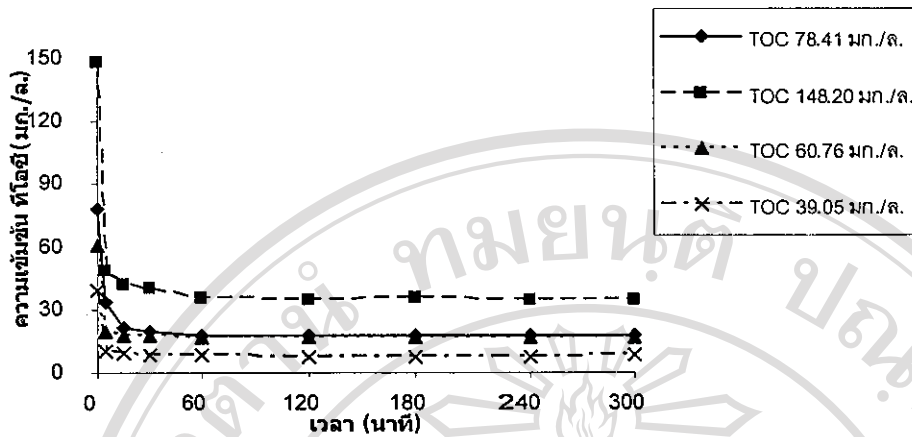
รูปที่ 4.6 ผลของพีเอชที่มีต่อเวลาสัมพัทธ์ที่ใช้ในการดูดติดสีในรูปของทีโอซีที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 39.05 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียขอมรวมไม่มีผลต่อเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุล (Equilibrium Time) โดยพบว่าที่ทุกค่าพีเอชเริ่มต้นค่าความเข้มข้นทีโอซี มีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก ของการทดลอง และเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาสัมพัทธ์ 60 นาที ซึ่งพบว่าทุกค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียขอมรวมจะมีเวลาที่ระบบใช้เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลเท่ากันคือ 2 ชั่วโมง โดยมีค่าที่เท่ากันสำหรับถ่านกัมมันต์ F300 และ C1000 ซึ่งพบว่าภายหลังการเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมงปริมาณค่าทีโอซีที่วัดได้ค่อนข้างคงที่ โดยพิจารณาจากเมื่อเวลาผ่านไปอีก 3 ชั่วโมง (คือชั่วโมงที่ 5 ของการเขย่า) ความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับความเข้มข้นสีที่เวลา 2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองยังแสดง

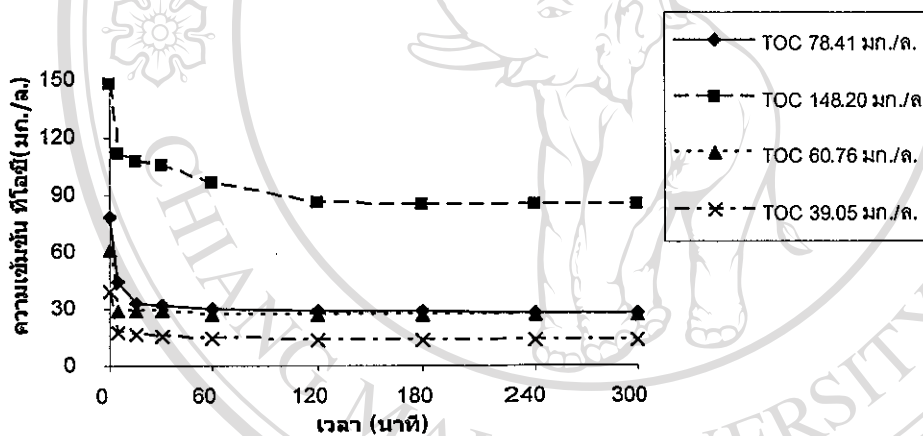
ให้ทราบอีกว่าการดูดติดสีโดยถ่านกัมมันต์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและในปริมาณที่มากในช่วง 5 นาทีแรกและจะเริ่มน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไปจนและหมดสภาพ ที่เป็นเช่นนี้อาจจะมีสาเหตุมาจาก 2 กรณี กรณีแรกอาจมีสาเหตุมาจากการที่ช่วงแรกๆของการเขย่า ความเข้มข้นของสียังมีอยู่ในปริมาณที่สูงทำให้อัตราการดูดติดสีเกิดขึ้นสูงและรวดเร็ว ส่วนกรณีที่สองอาจจะมีสาเหตุมาจากการที่สีใดเรียกที่ชนิดต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำมีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันและต้องใช้เวลาในการเคลื่อนที่เข้าไปยังผิวของถ่านกัมมันต์ที่ตกลงไปในโพรงด้านในของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลา ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสีนี้ จะมากน้อยเท่าไร จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ ขนาดและรูปร่างของโมเลกุลสี และ ลักษณะของโพรงภายในถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการสัมผัสของน้ำเสียสีรวมที่ พีเอช ต่างๆ มีค่าเท่ากับ 2 ชั่วโมง แต่เพื่อความสมบูรณ์ในการเข้าสู่ภาวะสมดุล (Equilibrium Time) ในการทดลองในขั้นตอนต่อไปจะใช้เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง

4.2.2 ผลของความเข้มข้น ทีโอซี เริ่มต้นที่มีต่อเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 0.4 กรัมสำหรับถ่านกัมมันต์ F 300 และ 1.0 กรัมสำหรับถ่านกัมมันต์ C 1000 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. ที่มีน้ำสีข้อมรวมที่มีค่าทีโอซีเริ่มต้นเท่ากับ 78.41, 148.20, 60.78 และ 39.05 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. ทำการปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบประมาณ 200-250 รอบต่อนาที โดยทำการเขย่าขวดที่เวลาต่างๆกัน (5, 15, 30, 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที) โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เมื่อทำการเขย่าครบตามเวลาที่กำหนด จึงนำน้ำเสียสีรวมมาทำการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกของแข็งออกจากน้ำตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการเก็บเอาเฉพาะน้ำใสไปทำการหาปริมาณสีในรูปทีโอซีที่เหลืออยู่ โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีที่เหลือ แล้วนำค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทีโอซีที่เหลืออยู่กับเวลาที่ใช้ในการเขย่าดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นที่โอซีเริ่มต้นที่มีต่อเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดซับในรูปของทีโอซี ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ของถ่านกัมมันต์ F 300



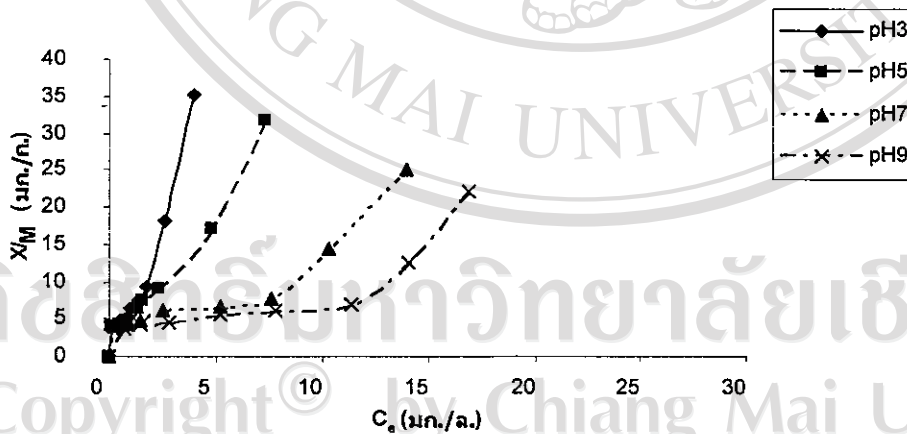
รูปที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นที่โอซีเริ่มต้นที่มีต่อเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดซับในรูปของทีโอซีที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ของถ่านกัมมันต์ C 1000

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าเวลาสัมผัสของทุกความเข้มข้นเริ่มต้นของทีโอซี มีค่าที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 2 ชั่วโมง โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกและจะค่อยๆ ลดลงจนหมดสภาพภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงแต่เพื่อความสมบูรณ์ในการเข้าสู่สภาวะสมดุล (Equilibrium Time) ในการทดลองในขั้นตอนนี้ต่อไปจะใช้เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองเช่นนี้ระบุให้เราทราบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นไม่มีผลต่อเวลาสัมผัสที่จุดสมดุลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากโรงย้อมผ้าที่ไปเก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้สีย้อมผ้าที่นำมาจากบริษัทเดียวกันและมีรูปแบบการ

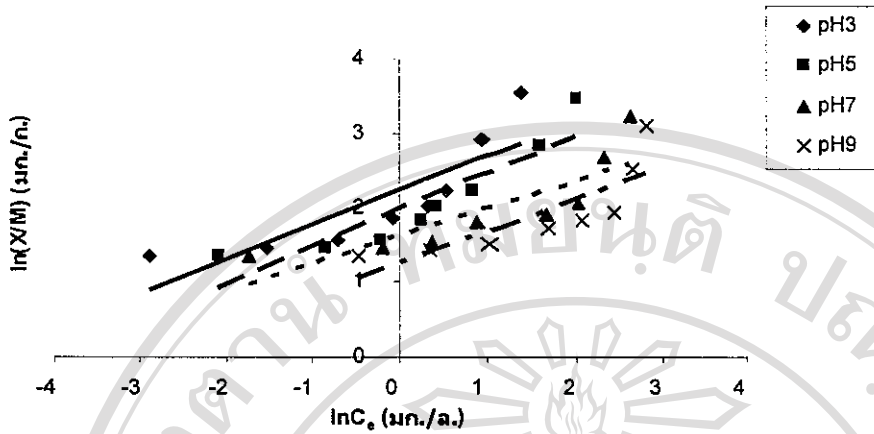
ย้อมที่คล้ายๆ กันทุกๆวัน ในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่าง ส่งผลให้ลักษณะของน้ำเสียมีคุณสมบัติที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

4.2.3 ผลของพีเอชที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์

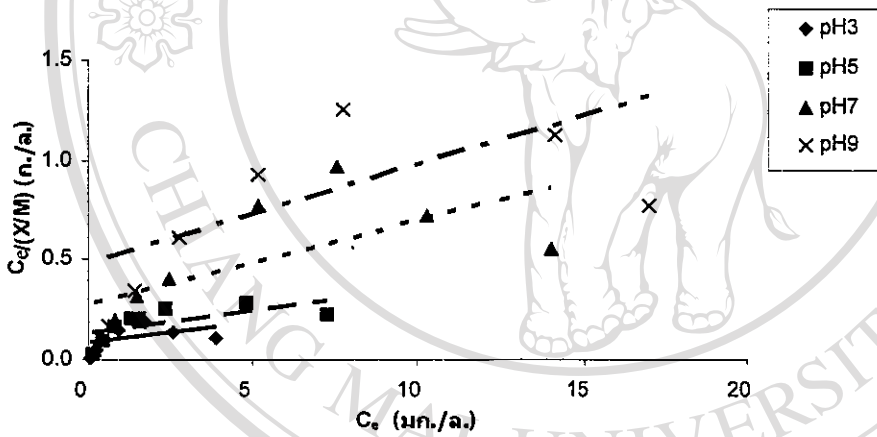
ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 1.0 กรัมสำหรับถ่านกัมมันต์ F300 และ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 กรัมสำหรับถ่านกัมมันต์ C1000 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. ที่มีน้ำเสียขมรวมที่มีสีน้ำเงินที่มีค่าความเข้มข้นซึ่งวัดในรูปของทีโอซีเท่ากับ 39.05 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. ปรับค่าของ พีเอช ที่ใช้ในการทดลองให้มีค่าเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริกในการปรับพีเอชหลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที โดยทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) เมื่อทำการเขย่าครบตามเวลาที่กำหนด จึงนำน้ำเสียดีรรวมมาทำการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกของแข็งออกจากน้ำตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการเก็บเอาเฉพาะน้ำใสไปทำการหาปริมาณสีในรูปทีโอซีที่เหลืออยู่ โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีที่เหลือ แล้วนำค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ C_e ตามสมการ Isotherm ของ Freundlich และ Langmuir เพื่อหาค่าคงที่ในการดูดติดต่อไปซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.9-4.14



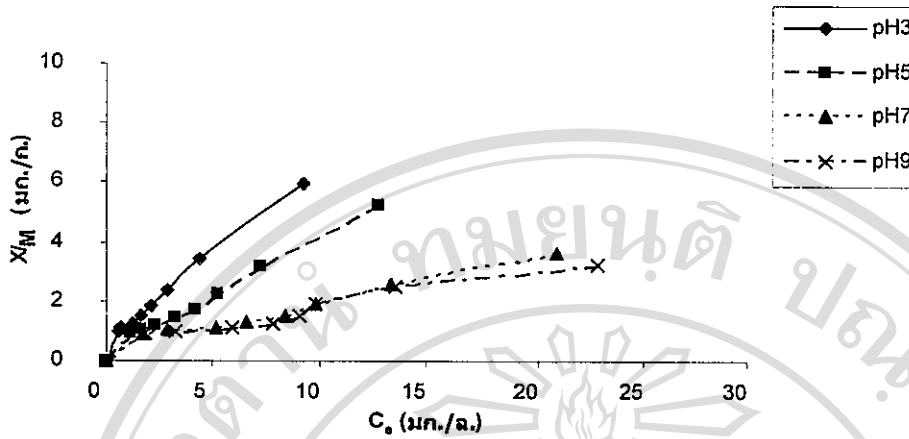
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่ค่าพีเอชแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$)



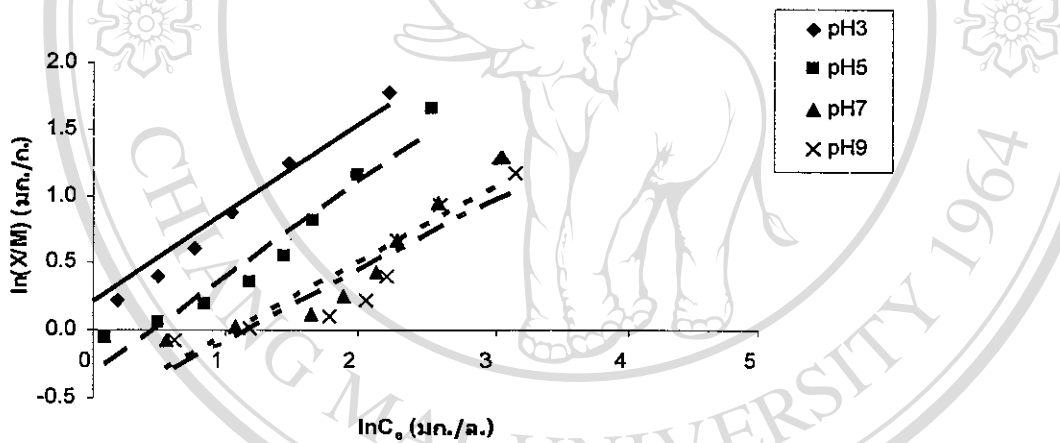
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่ค่าพีเอชแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่ค่าพีเอชแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$)

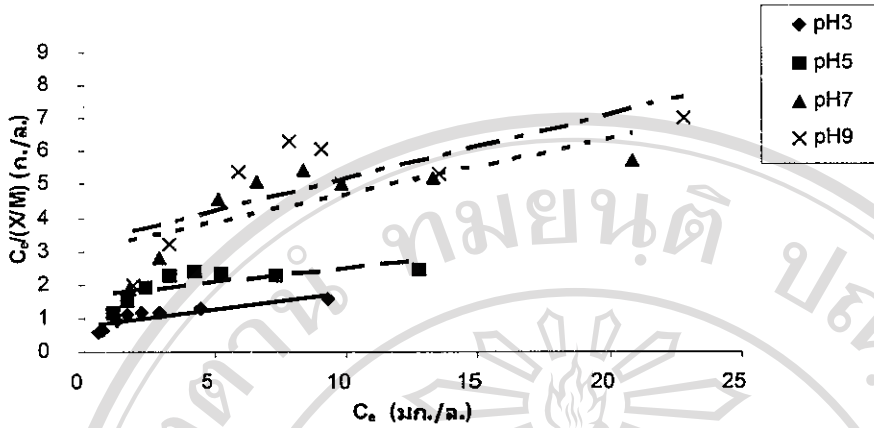


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่าพีเอชแตกต่างกัน ที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่ค่าพีเอชแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่าพีเอชแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ C$)

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงรูปแบบการกระจายตัวของโมเลกุลสีในสถานะสมดุลตามความสัมพันธ์ของ X/M และ C_e (ส่วนที่อยู่บนผิว (X/M) และส่วนที่อยู่ในของเหลว (C_e)) ในถ่านกัมมันต์ชนิด F 300 โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นไม่สอดคล้องกับทฤษฎีการดูดติดของทั้ง Freundlich และ Langmuir โดยลักษณะรูปแบบการดูดติดผิวในลักษณะที่มีส่วนโค้งช่วงปลายที่โค้งขึ้นนี้ มีสาเหตุมาจากการที่ในน้ำเสียสิ่วรมมีสีย้อมผ้าหลายชนิดปะปนกันอยู่โดยสีแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดติดสีที่แตกต่างกันซึ่งในที่นี้การทดลองกระบวนการดูดติดในรูปของทีโอซีไม่สามารถอธิบายถึงโครงสร้างทางโมเลกุลของสีแต่ละชนิดที่ใช้ในการย้อมผ้าโดยช่วงปลายของความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ที่มีค่าที่โค้งขึ้นนี้จะเกิดจากโมเลกุลของสีบางชนิดที่สามารถถูกดูดติดได้ง่าย ซึ่งให้ค่า X/M ที่สูงเมื่อใช้ปริมาณถ่านในปริมาณที่เล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงรูปแบบการกระจายตัวของโมเลกุลสีในสถานะสมดุลตามความสัมพันธ์ของ X/M และ C_e (ส่วนที่อยู่บนผิว (X/M) และส่วนที่อยู่ในของเหลว (C_e)) ในถ่านกัมมันต์ชนิด C 1000 โดยจะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับทฤษฎีการดูดติดของ Freundlich และ Langmuir โดยลักษณะรูปแบบการดูดติดผิวในลักษณะที่มีส่วนโค้งมีความชันในช่วงเริ่มต้น และความชันของเส้นโค้งลดลงในช่วงปลายจนถึงช่วงปลายเมื่อ C_e มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการที่พื้นที่ของโพรงในถ่านกัมมันต์เกิดการดูดติดแบบหลายชั้นและแบบชั้นเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Freundlich และ Langmuir โดยจะเห็นได้ว่า ความสามารถในการดูดติด (X/M) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของทีโอซีมีค่าเพิ่มขึ้นในถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด โดยจากรูปที่ 4.9 และ 4.12 นำข้อมูลมาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง X/M กับ C_e ตามสมการ Isotherm ของ Freundlich และ Langmuir ในรูปที่ 4.10-4.11 และ รูปที่ 4.13-4.14 พบว่าพีเอชมีผลอย่างมากต่อค่าความสามารถในการดูดซับในรูปของทีโอซีของถ่านทั้ง 2 ชนิด โดยพบว่าเมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียโดยรวมมีค่าลดลงค่าความสามารถในการดูดซับในรูปของทีโอซีของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าที่สูงขึ้น โดยจากข้อมูลในการทดลอง และข้อมูลที่ได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ C_e ตามสมการ Isotherm ของ Freundlich และ Langmuir และสามารถนำข้อมูลจากกราฟมาคำนวณหาค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich และ Langmuir โดยค่าคงที่ที่คำนวณได้สามารถบอกถึงลักษณะและชนิดของปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด และสามารถนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับในรูปของทีโอซีของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด ได้ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ตามสมการ Freundlich และ Langmuir ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 5 7 และ 9 ของถ่านกัมมันต์ชนิด C 1000 และ F 300 (ทีโอซีเริ่มต้น 39.05 มก./ล.)

C 1000							
pH	Freundlich				Langmuir		
	1/n	k	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2	b	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2
3	0.66	1.23	13.86	0.97	0.12	8.68	0.74
5	0.71	0.73	9.86	0.95	0.05	7.92	0.46
7	0.55	0.55	4.13	0.88	0.05	4.06	0.57
9	0.52	0.54	3.63	0.84	0.05	3.63	0.58
F 300							
pH	Freundlich				Langmuir		
	1/n	k	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2	b	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2
3	0.46	9.30	50.19	0.71	0.24	42.96	0.20
5	0.51	7.17	46.48	0.82	0.16	39.28	0.43
7	0.37	5.12	19.87	0.71	0.15	20.36	0.45
9	0.42	3.53	16.45	0.68	0.10	16.06	0.39

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาลักษณะของกระบวนการดูดซับในรูปของทีโอซีของถ่านกัมมันต์ C1000 พบว่ารูปแบบการดูดซับจะมีรูปแบบใกล้เคียงกับรูปแบบการดูดซับตามทฤษฎีของ Freundlich (R^2 มีค่าเท่ากับ 0.97, 0.95, 0.88 และ 0.84 สำหรับพีเอช 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ)

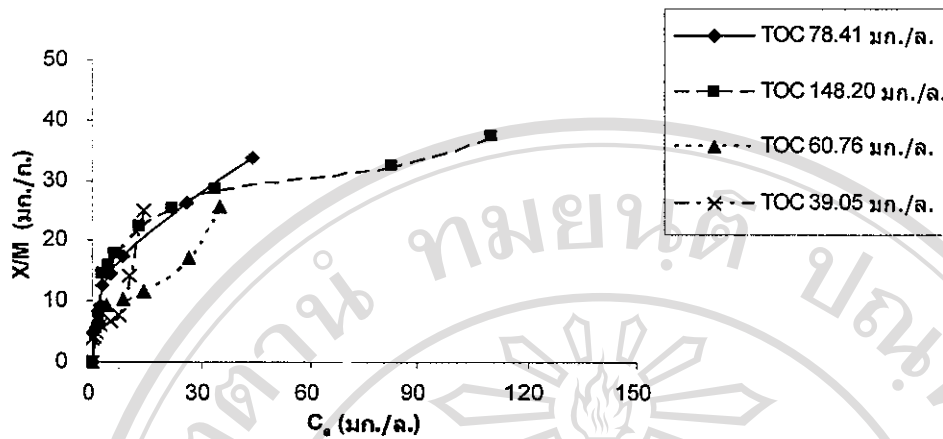
มากกว่ารูปแบบการดูดติดที่ตามทฤษฎีของ Langmuir (R^2 มีค่าเท่ากับ 0.74, 0.46, 0.57 และ 0.58 สำหรับพีเอช 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการกระจายตัวของโมเลกุลสีในสถานะสมดุลตามความสัมพันธ์ของ X/M และ C_e ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่าเมื่อ C_e มีค่าที่เพิ่มขึ้นค่า X/M มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบุให้เราทราบว่าในช่วงของ C_e ที่ทำการทดลองครั้งนี้ ปริมาณของสีที่ถูกดูดติดบนถ่านกัมมันต์ (X/M) จะมีค่าที่สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีที่จุดสมดุล (C_e) มีค่าที่สูงขึ้น โดยสามารถใช้สมการ Isotherm ของ Freundlich ทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ C_e ได้ค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่า สมการ Isotherm ของ Langmuir และจากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าความสามารถเริ่มต้นของการดูดติด (K) และความสามารถในการดูดติด (Q_{max}) ของถ่านกัมมันต์ F 300 พบว่าค่าความสามารถเริ่มต้นของการดูดติด (K) และความสามารถในการดูดติด (Q_{max}) ในรูปที่ไอซีมีค่าที่สูงขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าลดลงขึ้นเช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ C1000 และพบว่ารูปแบบการดูดติดสีจะมีรูปแบบใกล้เคียงกับรูปแบบการดูดติดสีตามทฤษฎีของ Freundlich (R^2 มีค่าเท่ากับ 0.71, 0.82, 0.71 และ 0.68 สำหรับพีเอช 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ) มากกว่ารูปแบบการดูดติดที่ตามทฤษฎีของ Langmuir (R^2 มีค่าเท่ากับ 0.20, 0.43, 0.45 และ 0.39 สำหรับพีเอช 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามจากข้อมูลคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด (ตารางที่ 4.1) พบว่าค่าไอโอซินัมเบอร์และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองครั้งนี้กลับพบว่าค่าความสามารถในการดูดติด (Q_{max}) ที่คำนวณได้จากสมการ Freundlich isotherm ของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่าค่าความสามารถในการดูดติด (Q_{max}) ในรูปที่ไอซีที่คำนวณได้จากสมการ Freundlich isotherm ของถ่านกัมมันต์ C1000 อย่างเห็นได้ชัดเจน ที่เป็นเช่นนี้ อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่ลักษณะ โครงสร้างของโพรงในถ่านกัมมันต์ F300 มีขนาดที่เหมาะสมกว่าถ่านกัมมันต์ C 1000 ในการดูดติดสีย้อมผ้าที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าไอโอซิน (ใช้ในการคำนวณไอโอซินัมเบอร์) และก๊าซไนโตรเจน (ใช้ในการคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ) ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปควรจะทำการศึกษาค่าการกระจายตัวของขนาดของโพรงภายในถ่านกัมมันต์ เช่นเดียวกันกับค่าไอโอซินัมเบอร์และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

จากการทดลองพบว่า สาเหตุที่พีเอชมีผลอย่างมากต่อค่าความสามารถในการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์ อาจมีสาเหตุมาจาก 2 สาเหตุด้วยกันคือ ประการแรก อาจมีสาเหตุมาจากการที่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะสภาพทางเคมี กล่าวคือ ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ ทำให้องค์ประกอบส่วนหนึ่งยังอาจจะมีลักษณะที่มีหมู่ Functional Group อยู่ และ Functional Group เหล่านี้ ก็สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพีเอช ดังนั้นเป็นไปได้ว่าในสถานะที่น้ำเสียมีพีเอชที่ต่ำพื้นผิวถ่านกัมมันต์จะแสดงคุณสมบัติที่เป็นประจุบวก ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีของ Functional Group ส่งผลให้สามารถ

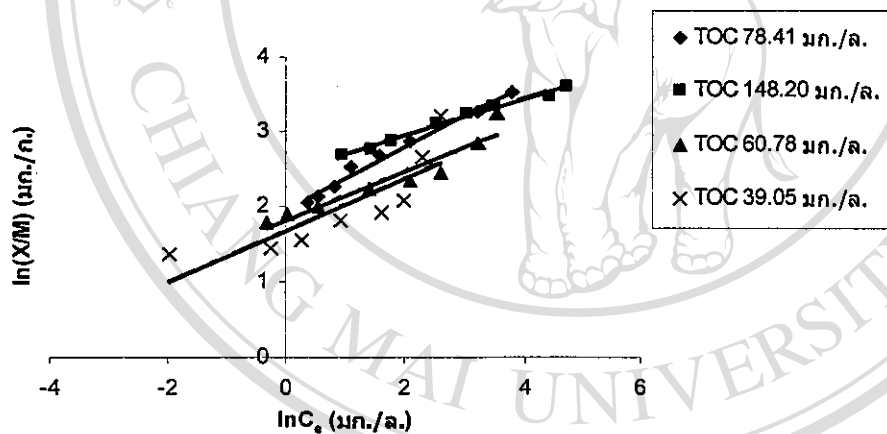
ดูดติดสีที่มีประจุลบได้มากยิ่งขึ้น ในทางกลับกันในสถานะที่พีเอชเพิ่มขึ้น พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะแสดงลักษณะที่เป็นประจุลบ ทำให้ไม่สามารถดูดติดสีที่มีประจุลบ ได้ดี แต่อย่างไรก็ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีพื้นผิวนี้นี้ สามารถอธิบายได้จากการหาค่า pH_{zpc} ประการที่ 2 อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่ ปริมาณ OH^- มีค่าที่สูงขึ้นในน้ำเสียดสีที่มีค่าพีเอช สูงๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการแข่งขันระหว่างโมเลกุลสีที่มีประจุลบและ OH^- ที่มีอยู่ในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของสีที่สามารถดูดติดได้บนถ่านกัมมันต์ค่าที่ลดลง ในทางกลับกัน ที่พีเอชต่ำๆ ปริมาณ OH^- จะมีค่าที่ลดลง ส่งผลให้โมเลกุลสีสามารถที่จะถูกดูดติดได้เพิ่มขึ้น

4.2.4 ผลของความเข้มข้นทีโอซีของสีเริ่มต้นที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์

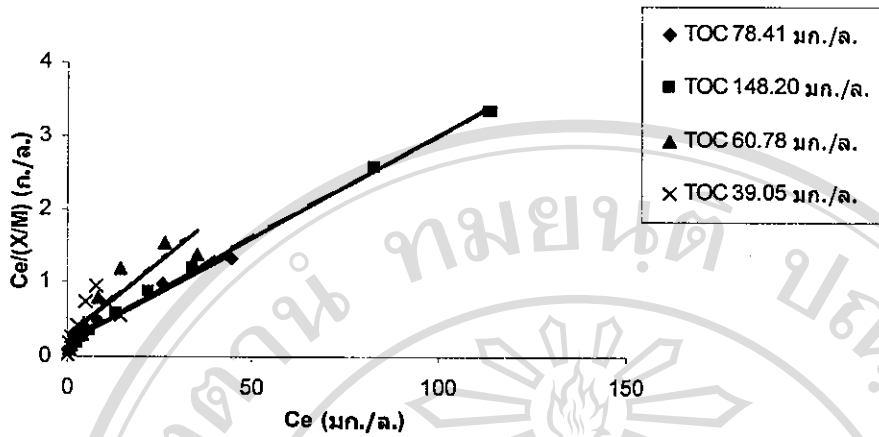
ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 1.0 สำหรับถ่านกัมมันต์ F300 และ จำนวน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 กรัม สำหรับถ่านกัมมันต์ C1000 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. ที่มีน้ำสีข้อมรวม 4 ชนิด (เก็บที่เวลาแตกต่างกัน) มีค่าความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งวัดในรูปของ ทีโอซีเท่ากับ 39.05, 60.78, 78.41 และ 148.20 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. โดยควบคุมพีเอชที่ใช้ในการทดลองให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับพีเอชหลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่มีความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที โดยทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ C$) เมื่อทำการเขย่าครบตามเวลาที่กำหนดจึงนำน้ำเสียดสีรวมมาทำการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกของแข็งออกจากริ่ตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการเก็บเอาเฉพาะน้ำใสไปทำการหาปริมาณสีในรูป ทีโอซี ที่เหลืออยู่ โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซี ที่เหลือ แล้วนำค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ C_e ตามสมการ Isotherm ของ Freundlich และ Langmuir เพื่อหาค่าคงที่ในการดูดติดต่อไปโดยแสดงไว้ในรูปที่ 4.15-4.20



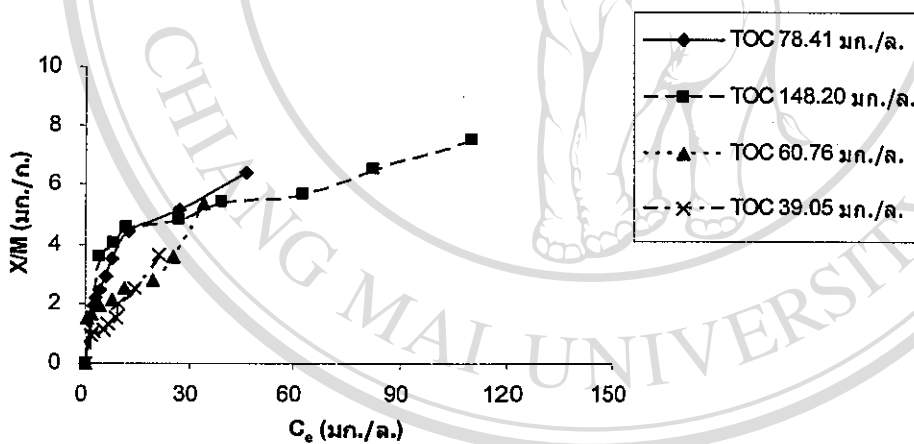
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่ค่าความเข้มข้นที่ไอซี เริ่มต้นที่แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) ที่ พีเอช เท่ากับ 7



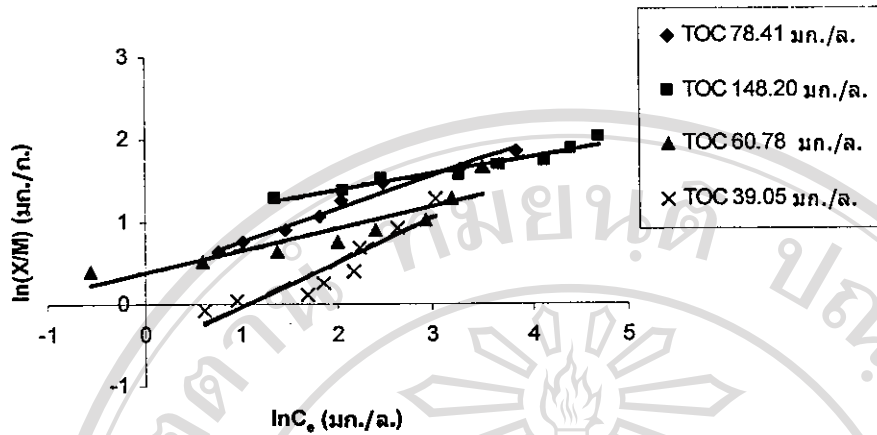
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่ค่าที่ไอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) ที่ พีเอช เท่ากับ 7



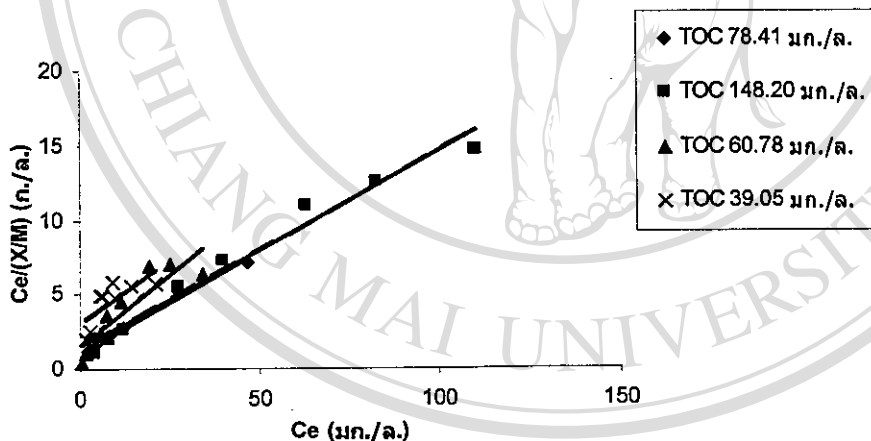
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F 300 ค่าที่ไอโซเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) ที่พีเอชเท่ากับ 7



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่ความเข้มข้นที่ไอโซเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) ที่พีเอชเท่ากับ 7



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่ค่าที่ไอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) ที่พีเอช เท่ากับ 7



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่ค่าที่ไอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) ที่พีเอช เท่ากับ 7

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.15-4.20 พบว่าค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของทีไอซีมีผลอย่างชัดเจนต่อกระบวนการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด โดยสามารถศึกษาได้จากรูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ F300 พบว่าค่าความเข้มข้นของทีไอซีเริ่มต้นในรูปที่ไอซีที่แตกต่างกันไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัม

มันต์ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากน้ำเสียที่ย้อมผ้ารวมที่เก็บได้ในเวลาที่แตกต่างกันมีองค์ประกอบของโมเลกุลที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์ของ Isotherm ที่คำนวณได้มีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นเช่นเดียวกันในถ่านชนิด C 1000 โดยสามารถศึกษาได้จากกราฟที่ 4.18 และยิ่งกว่านั้นความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e จะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยจากข้อมูลในการทดลอง และข้อมูลที่ได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ C_e ตามสมการ Isotherm ของ Freundlich และ Langmuir โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากกราฟมาคำนวณค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich และ Langmuir โดยค่าคงที่ที่คำนวณได้สามารถบอกถึงลักษณะและชนิดของปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด และสามารถนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับในรูปของ ทีโอซี ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดได้ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ตามสมการ Freundlich และ Langmuir ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นทีโอซีเท่ากับ 39.05, 60.78, 78.41 และ 148.20 มก./ล. (พีเอชเท่ากับ 7) ของถ่านกัมมันต์ชนิด C 1000 และ F 300

C 1000							
ทีโอซี (mg./l.)	Freundlich				Langmuir		
	1/n	k	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2	b	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2
39.05	0.54	0.56	4.05	0.87	0.06	4.04	0.56
60.76	0.27	1.46	4.43	0.82	0.14	4.55	0.81
78.41	0.40	1.44	8.24	0.98	0.13	6.63	0.95
148.20	0.20	2.66	7.23	0.95	0.09	7.12	0.90
F 300							
ทีโอซี (mg./l.)	Freundlich				Langmuir		
	1/n	k	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2	b	$Q_{max}(X/M)$ (mg./g.)	R^2
39.05	0.35	5.31	19.15	0.70	0.17	20.14	0.47
60.76	0.32	6.22	23.15	0.91	1.11	14.28	0.82
78.41	0.42	7.04	43.98	0.99	4.24	29.41	0.98
148.20	0.27	11.47	40.02	0.99	3.73	33.34	0.90

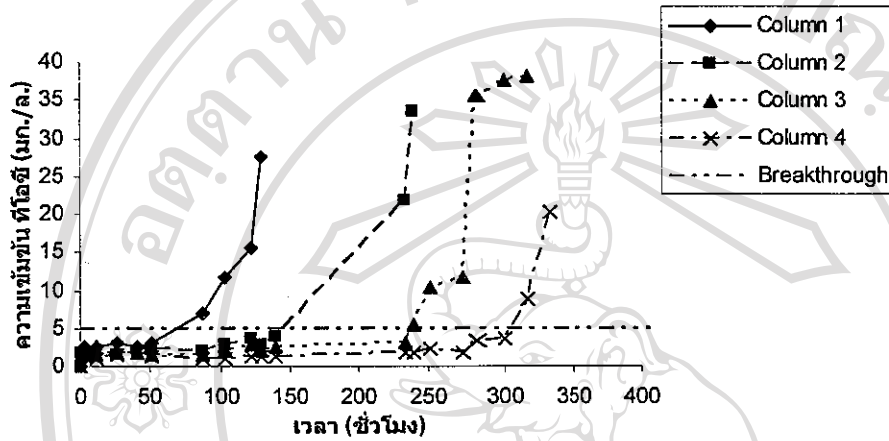
จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อค่าความเข้มข้นทีโอซีเริ่มต้นมีค่าที่สูงขึ้นค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด (Q_{max}) ของถ่านกัมมันต์ F 300 จะมีค่าที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง

สอดคล้องกับความสัมพันธ์ของ Freundlich Isotherm (ค่าความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นที่จุดสมดุลมีค่าที่เพิ่มขึ้น) ซึ่งมีค่า R^2 (0.70, 0.91, 0.99 และ 0.99 ที่ค่าความเข้มข้นที่ไอโซเริ่มต้นเท่ากับ 39.05, 60.76, 78.41 และ 148.2 มก./ล. ตามลำดับ) ที่สูงกว่าความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir Isotherm (0.47, 0.82, 0.98 และ 0.90 ที่ค่าความเข้มข้นที่ไอโซเริ่มต้นเท่ากับ 39.05, 60.76, 78.41 และ 148.2 มก./ล. ตามลำดับ) สำหรับทุกค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของถ่านกัมมันต์ F 300 หนึ่งความสามารถในการดูดซับสูงสุด (Q_{max}) ของถ่าน C1000 มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสูงขึ้น เช่นเดียวกับของถ่านกัมมันต์ F 300 โดยที่จากข้อมูลที่ได้ก็พบว่าสามารถอธิบายการดูดซับโดยสมการ Freundlich Isotherm ได้ดีกว่าสมการ Langmuir Isotherm (R^2 มีค่าเท่ากับ 0.86, 0.82, 0.98 และ 0.95 ที่ค่าความเข้มข้นที่ไอโซเริ่มต้นเท่ากับ 39.05, 60.76, 78.41 และ 148.2 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า R^2 ตามสมการของ Langmuir Isotherm ที่มีค่าเท่ากับ 0.85, 0.81, 0.95 และ 0.90 ที่ค่าความเข้มข้น ที่ไอโซ เริ่มต้นเท่ากับ 39.05, 60.76, 78.41 และ 148.2 มก./ล. ตามลำดับว่า อย่างไรก็ตามจากข้อมูลคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด (ตารางที่ 4.1) พบว่าค่าไอ โอดีนัมเบอร์และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองครั้งนี้กลับพบว่าค่าความสามารถในการดูดซับ (Q_{max}) ที่คำนวณได้จากสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่าค่าความสามารถในการดูดซับ (Q_{max}) ในรูปที่ไอโซที่คำนวณได้จากสมการ Freundlich isotherm ของถ่านกัมมันต์ C 1000 อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งน่าจะมีสาเหตุเหมือนกันกับการทดลองที่ 4.2.3 คือ มีสาเหตุมาจากการที่ลักษณะโครงสร้างของโพรงในถ่านกัมมันต์ F300 มีขนาดที่เหมาะสมในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมผ้ามากกว่าถ่านกัมมันต์ C1000

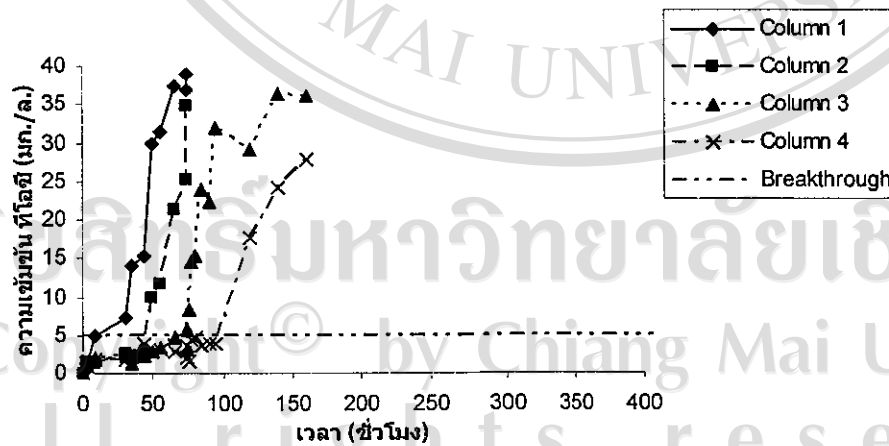
4.3 การทดลองดูดซับผิวแบบต่อเนื่องเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหล และความลึกของคอลัมน์ ที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ C1000 และ F 300

การทดลองครั้งนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาการดูดซับน้ำสีย้อมรวมของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด โดยการทดลองแบบต่อเนื่องแสดงโดยถึงปฏิกิริยา 4 ดังที่สร้างด้วยท่ออะคริลิกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5 ซม. และมีความยาวชั้นของตัวดูดซับเท่ากับ 20 ซม. ต่อกันแบบอนุกรม โดยที่ใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ C1000 และ F300 น้ำเสียจะถูกนำเข้าสู่ที่ด้านบนของถัง โดยใช้ปั๊มไดอะแฟรม ดูบน้ำเสียจากถังพักน้ำเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) โดยที่มีค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านคอลัมน์ 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งน้ำเสียที่นำมาทดลองเป็นน้ำเสียสีย้อมผ้ารวมที่มีที่มีสีน้ำเงินที่มีค่าความเข้มข้นซึ่งวัดในรูปของที ไอโซเท่ากับ 39.05 มก./ล. และได้กำหนดค่าความเข้มข้นของที ไอโซ เท่ากับ 5.0 มก./ล. เป็นจุดเบรคทฤษฎีของระบบ

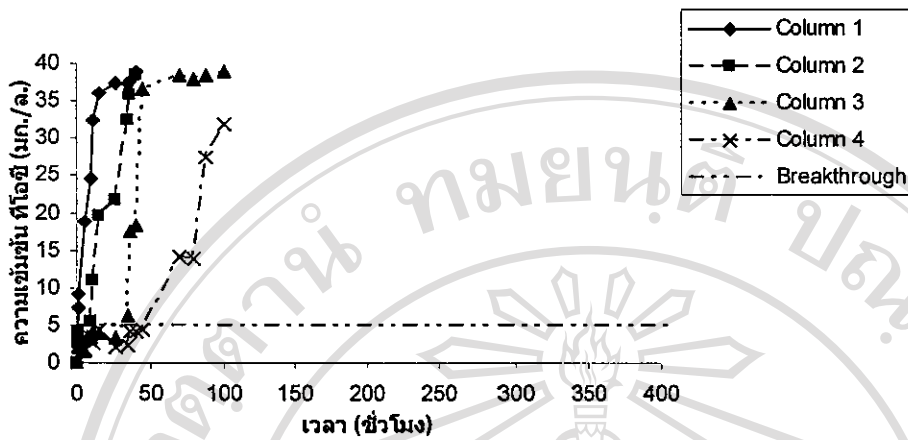
โดยทำการเก็บตัวอย่างจากทุกถังปฏิบัติการที่เวลาต่างๆ เพื่อนำมาทำการหาปริมาณของทีโอซีโดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นทีโอซีจากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทีโอซีกับ เวลาในการที่ใช้ในการเดินระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.21-4.28



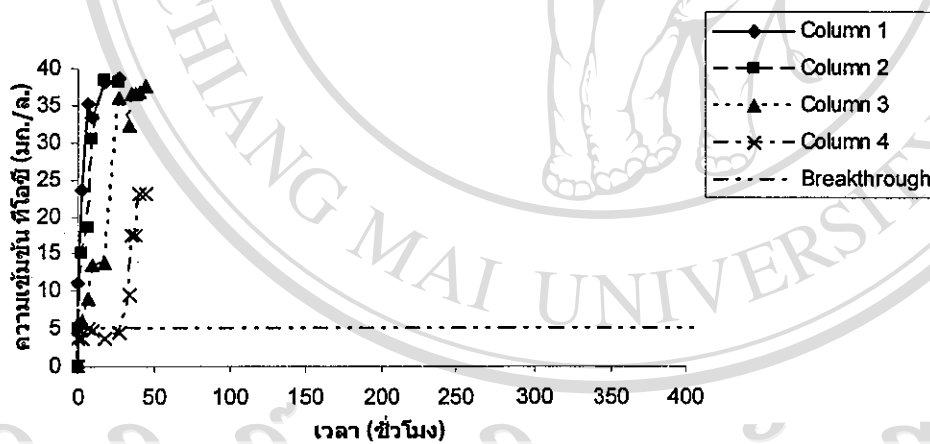
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นทีโอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นทีโอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ ชั่วโมง



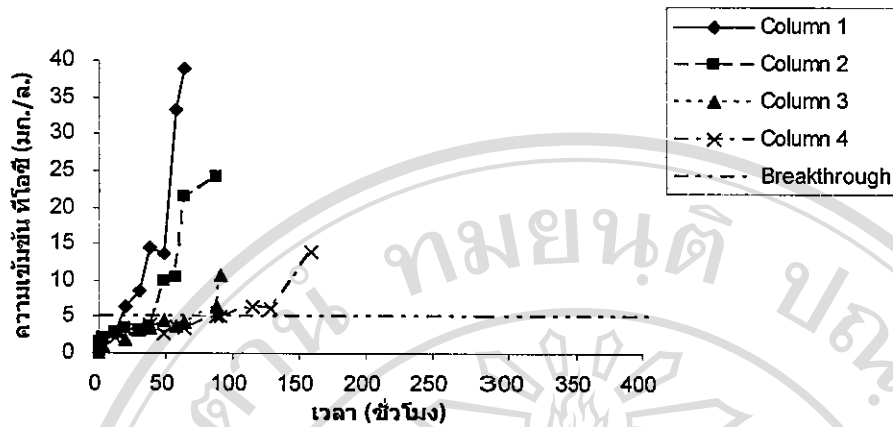
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นทีโอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นทีโอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ ชั่วโมง



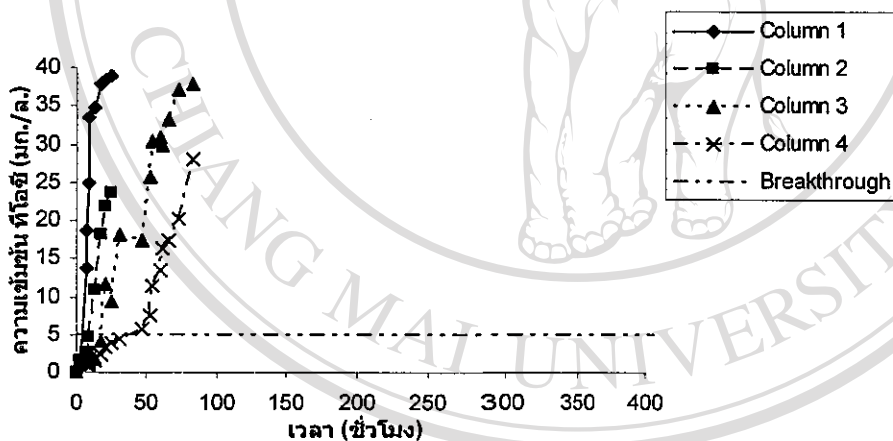
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ ชั่วโมง



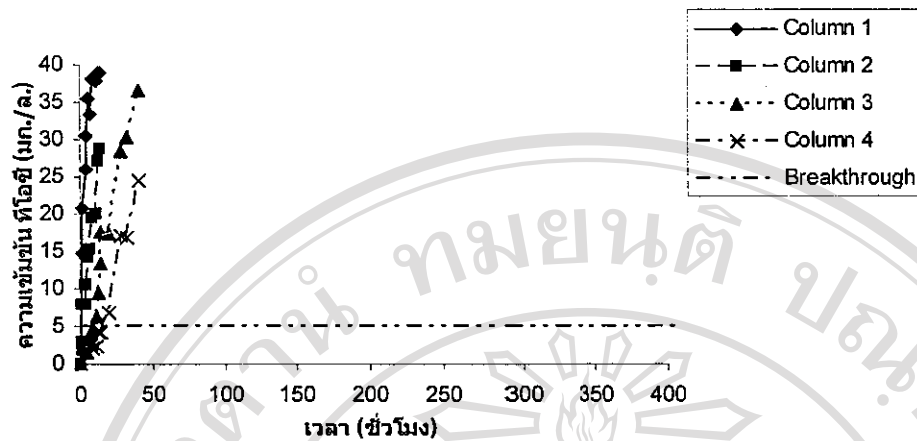
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ ชั่วโมง



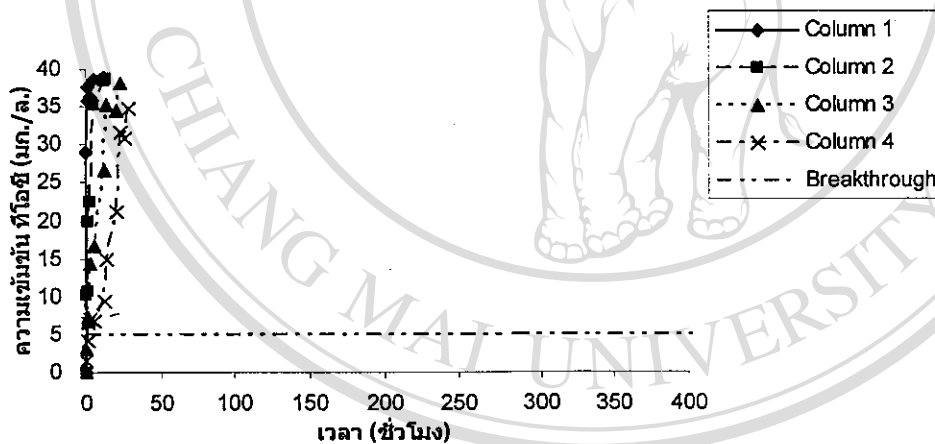
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทอ ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ ชั่วโมง



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทอ ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ ชั่วโมง



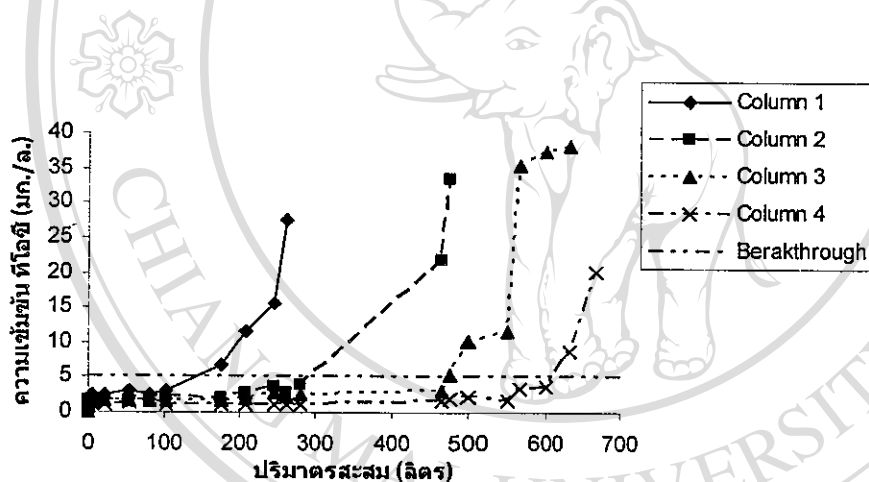
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทูล ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ ชั่วโมง



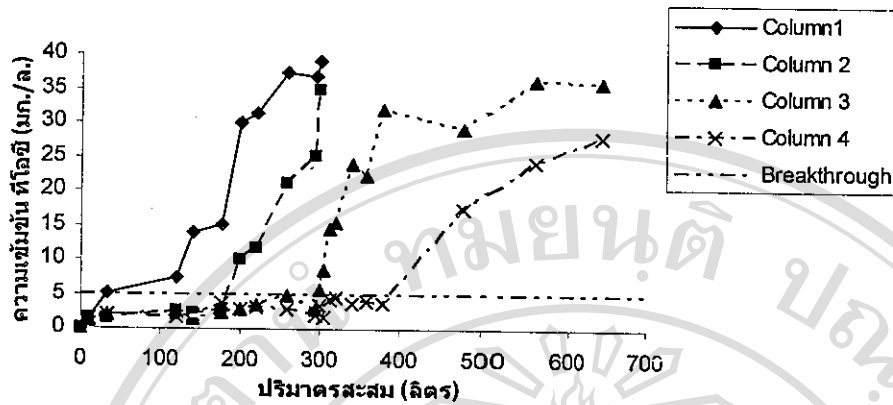
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทูล ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ ชั่วโมง

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.21-4.28 พบว่าอัตราการไหลมีผลอย่างเด่นชัดต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระบบโดยเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจะทำให้เวลาในการเดินระบบสั้นลง โดยจากรูปที่ 4.21 เมื่อทำการวัดเวลาที่สามารถเดินระบบได้ก่อนถึงจุดเบรคทูลที่ Column ที่ 4 จะได้เวลาในการเดินระบบเท่ากับ 300 ชั่วโมง ในขณะที่จากรูปที่ 4.22 เมื่อทำการวัดเวลาที่สามารถ

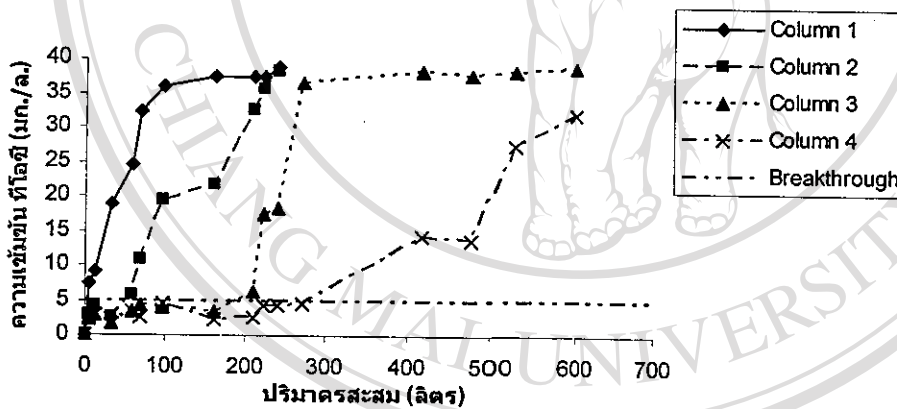
เดินระบบได้ก่อนถึงจุด เบรคทรู ที่ Column ที่ 4 จะใช้เวลาในการเดินระบบเท่ากับ 95 ชั่วโมง โดยเมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของชั้นถ่านกัมมันต์เป็นถ่านกัมมันต์ C1000 ผลการทดลองที่ได้มีลักษณะเดียวกันคือ จากรูปที่ 4.25 เมื่อทำการวัดเวลาที่สามารถเดินระบบได้ก่อนถึงจุดเบรคทรูที่ Column ที่ 4 จะใช้เวลาในการเดินระบบเท่ากับ 70 ชั่วโมง ในขณะที่จากรูปที่ 4.26 เมื่อทำการวัดเวลาที่สามารถเดินระบบได้ก่อนถึงจุดเบรคทรูที่ Column ที่ 4 จะใช้เวลาในการเดินระบบเท่ากับ 30 ชั่วโมงและจากรูปที่ 4.21 ทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการเดินระบบก่อนถึงจุด เบรคทรูที่ Column ที่ 4 ของ ระบบที่ใช้ ถ่านกัมมันต์ F300 เป็นชั้นถ่าน สามารถเดินระบบได้นานกว่าระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 เป็นชั้นถ่านคือ 300 และ 70 ชั่วโมง สำหรับระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ F300 และ C1000 เป็นชั้นถ่านตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทีโอซีกับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบได้ดังรูปที่ 4.29-4.36



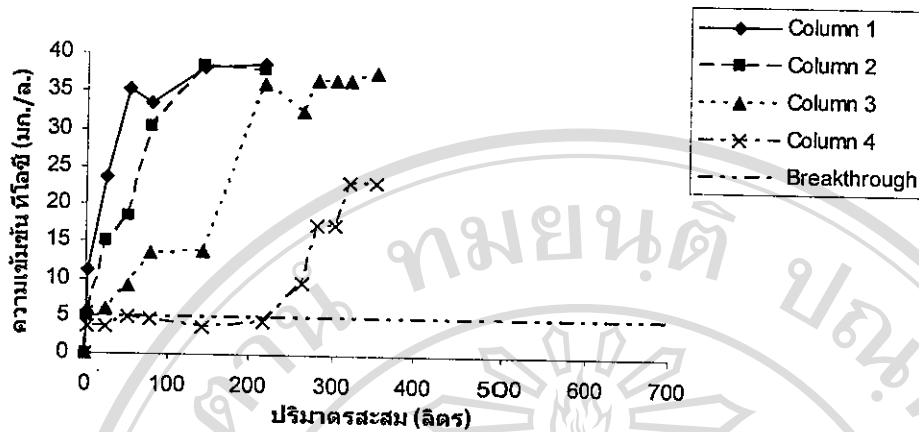
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นทีโอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นทีโอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง



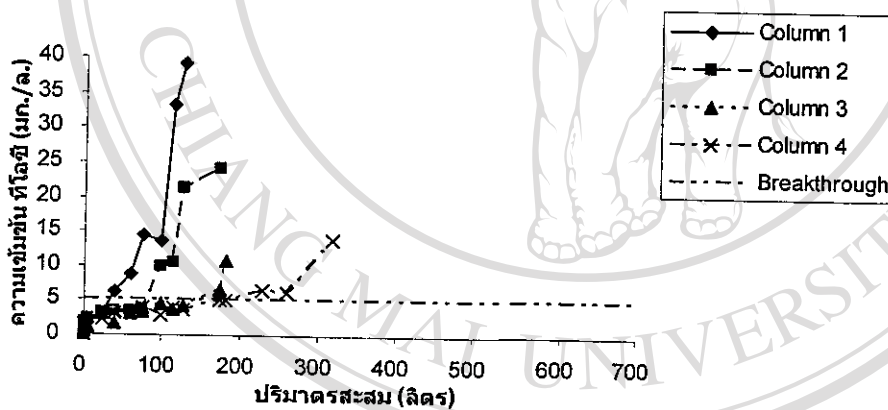
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ ชั่วโมง



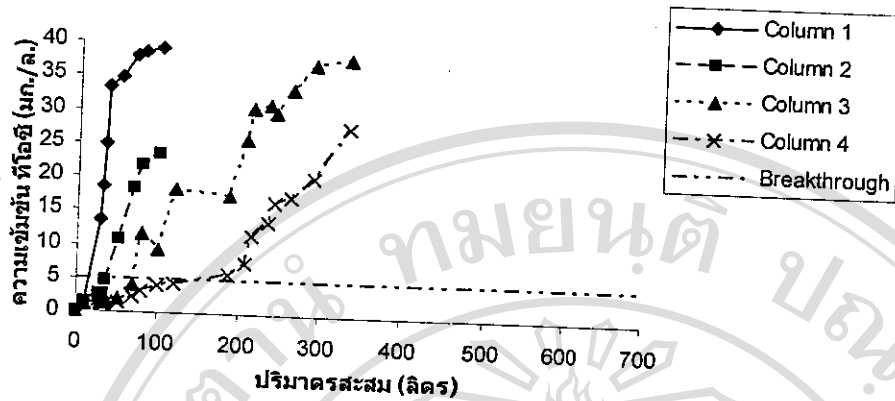
รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ ชั่วโมง



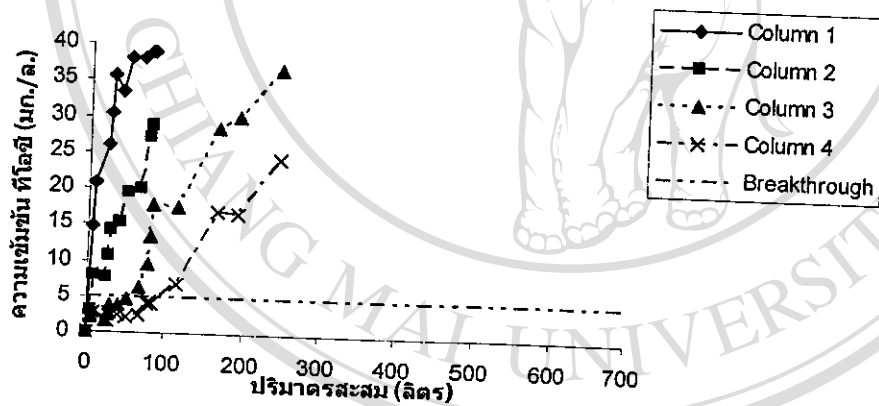
รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F 300 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ ชั่วโมง



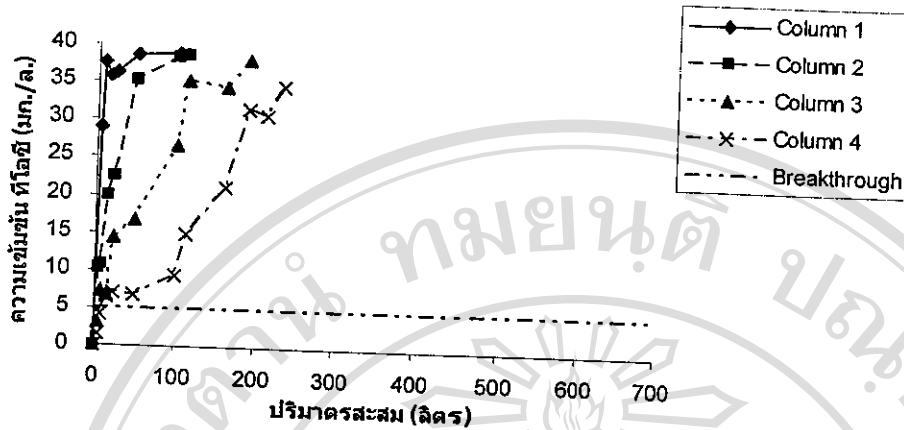
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ ชั่วโมง



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทอรั ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ ชั่วโมง



รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทอรั ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ ชั่วโมง



รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้นที่ไอซีที่จุดเบรคทรู ความเข้มข้นที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ ชั่วโมง

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.29-4.36 พบว่าอัตราการไหลมีผลอย่างเด่นชัดต่อ ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบโดยเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำที่ผ่านระบบมีปริมาณที่ลดลง โดยจากรูปที่ 4.29 พบว่าปริมาณน้ำที่ผ่านระบบก่อนถึงจุดเบรคทรูที่ Column ที่ 4 มีค่าประมาณ 600 ลิตร ในขณะที่จากรูปที่ 4.30 พบว่าปริมาณน้ำที่ผ่านระบบก่อนถึงจุดเบรคทรูที่ Column ที่ 4 มี ค่าประมาณ 380 ลิตร โดยเมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของชั้นถ่านกัมมันต์เป็นถ่านกัมมันต์ C 1000 ผล การทดลองที่ได้มีลักษณะเดียวกันคือ จากรูปที่ 4.33 พบว่าปริมาณน้ำที่ผ่านระบบก่อนถึงจุด เบรคทรู ที่ Column ที่ 4 มีค่าประมาณ 140 ลิตรในขณะที่จากรูปที่ 4.34 พบว่าปริมาณน้ำที่ผ่าน ระบบก่อนถึงจุดเบรคทรูที่ Column ที่ 4 มีค่าประมาณ 120 ลิตรและจากรูปที่ 4.29 ทำการ เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ผ่านระบบก่อนถึงจุดเบรคทรูที่ Column ที่ 4 ของ ระบบที่ใช้ ถ่านกัมมันต์ F300 เป็นชั้นถ่านมีปริมาณที่มากกว่าระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 เป็นชั้นถ่านคือมีค่าประมาณ 600 และ 140 ลิตร สำหรับระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ F 300 และ C1000 เป็นชั้นถ่านตามลำดับ

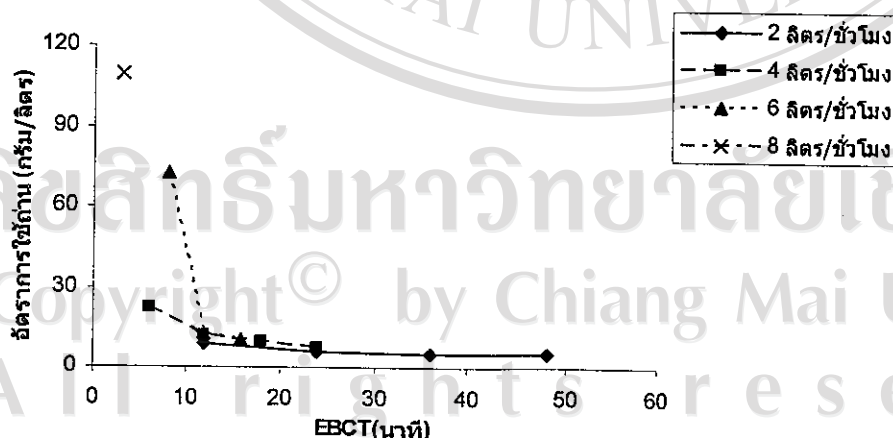
อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ได้จาก Column ที่บรรจุถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่า ถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ทุกๆ อัตราการไหล ซึ่งเมื่อนำค่าปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยเลือกจุด เบรคทรูที่มีค่าที่ไอซีเท่ากับ 5.0 มก./ล. ไปคำนวณหาอัตราการใช้ถ่าน (Carbon Usage Rate) ที่ ค่าอัตราการไหลต่างๆ พบว่าค่าอัตราการใช้ถ่านของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์

กะละมะพร้าว (น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ F300 และ C1000 ใน 1 คอลัมน์มีค่า 219 กรัม เท่ากัน) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

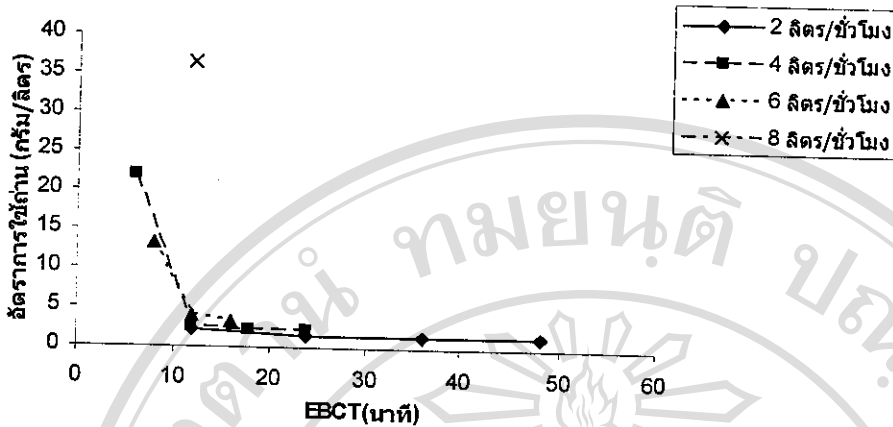
ตารางที่ 4.4 อัตราการใช้ถ่านที่อัตราการไหลต่างๆ กันของถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 และ F300

อัตราการใช้ถ่าน								
อัตราการไหล (L./HR.)	คอลัมน์ 1		คอลัมน์ 2		คอลัมน์ 3		คอลัมน์ 4	
	C 1000 (g./L.)	F 300 (g./L.)	C 1000 (g./L.)	F 300 (g./L.)	C 1000 (g./L.)	F 300 (g./L.)	C 1000 (g./L.)	F 300 (g./L.)
2.00	18.25	2.17	10.95	1.56	6.57	1.40	6.26	1.46
4.00	21.90	21.90	12.14	2.49	9.66	2.22	7.30	2.31
6.00	-	-	73.00	13.27	12.88	4.06	10.43	3.24
8.00	-	-	-	-	-	-	109.50	36.50

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าอัตราการใช้ถ่านจะมีค่าที่ต่ำที่สุดที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง สำหรับถ่านกัมมันต์ F300 ที่ความลึกคอลัมน์ 0.6 เมตร โดยมีค่าเท่ากับ 1.40 ก./ล. และมีค่าที่สูงที่สุดในถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 8 ลิตร/ชั่วโมง ที่ความลึกคอลัมน์ 0.8 เมตร โดยมีค่าเท่ากับ 109.50 ก./ล. และจากข้อมูลในตารางที่ 4.4 และข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 4.29-4.36 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการใช้ถ่านกับเวลาสัมผัสของถ่าน (EBCT) ดังในรูปที่ 4.37 และ 4.38



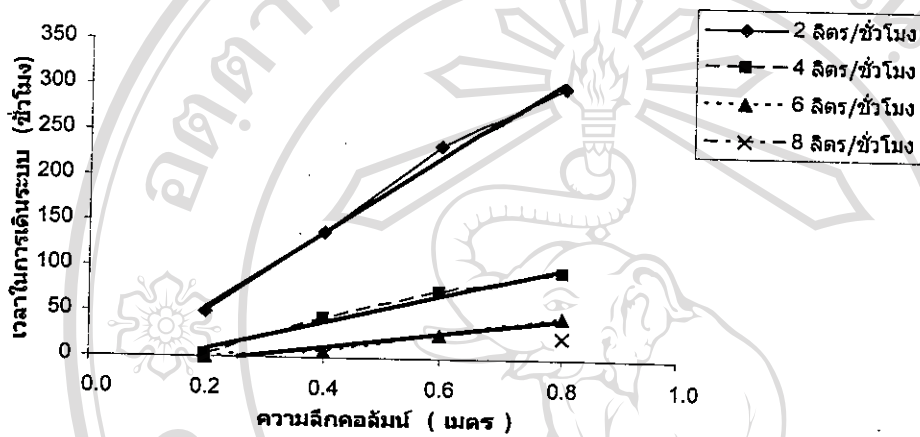
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ถ่านกับค่า EBCT ของถ่านกัมมันต์ C1000



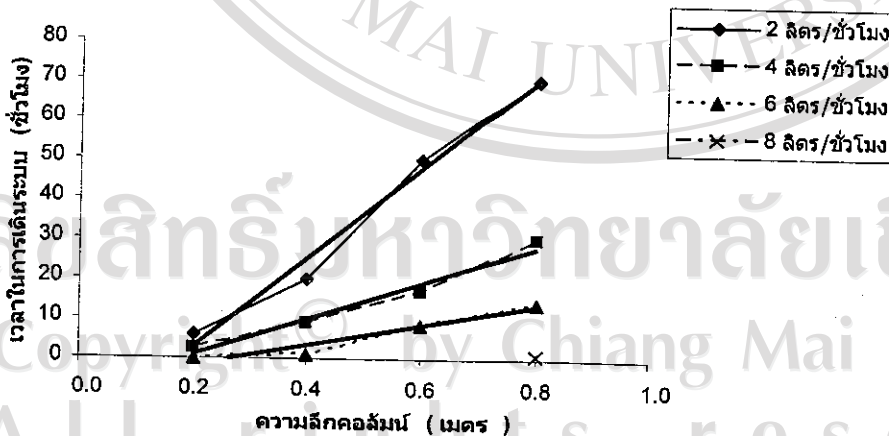
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ถ่านกับค่า EBCT ของถ่านกัมมันต์ F300

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.37 และ 4.38 สามารถอธิบายถึงการที่ค่าอัตราการใช้ถ่านมีค่าที่สูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงขึ้นและเมื่อค่าความลึกคอลัมน์มีค่าที่ลดลง น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ค่า EBCT มีค่าที่ลดลงเมื่อน้ำไหลผ่านคอลัมน์เร็วขึ้นหรือคอลัมน์มีขนาดที่เล็กลงนั่นเองสาเหตุที่ปริมาณน้ำที่บำบัดได้ภายหลังจุดเบรคทอร์ของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหลเดียวกัน อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่ถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าความสามารถในการดูดซับในรูปที่ไอซีที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ C1000 เมื่ออัตราการไหลมีค่าที่สูงขึ้น ปริมาณน้ำที่จุดเบรคทอร์จะมีค่าที่ลดลง (ถ่านกัมมันต์ทั้งสองจะมีเวลาสัมผัสและจุดสมดุลมีค่าที่เท่ากัน) ซึ่งที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่เวลาสัมผัสของถ่านกับสีมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงขึ้น (EBCT มีค่าที่ลดลง) ส่งผลให้กระบวนการดูดซับผิวเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ถ่านกับค่า EBCT ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดพบว่า ความสัมพันธ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความชันที่เป็นลบลดลงเมื่อค่า EBCT มีค่าที่สูงขึ้นและจะมีค่าที่ขนานกับแกน X (แกน EBCT) ที่ค่า EBCT ประมาณ 36 และ 24 นาที สำหรับถ่านกัมมันต์ C1000 และ F300 ตามลำดับ ที่อัตราการไหล 2 ลิตร/ชั่วโมงเท่ากัน โดยมีค่าอัตราการใช้ถ่านเท่ากับ 6.57 และ 1.56 ก./ล. สำหรับถ่านกัมมันต์ C1000 และ F300 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเช่นระบุให้ทราบถึงค่า EBCT ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการออกแบบคอลัมน์ กล่าวคือ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ F300 ในการบำบัดสีภายในคอลัมน์ ค่า EBCT ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 24 นาที (ค่า EBCT จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหลและความสูงของคอลัมน์ ในกรณีที่หน้าตัดของคอลัมน์มีค่าที่เท่ากัน) โดยที่สถานะนี้ค่าอัตราการใช้ถ่านจะมีค่าประมาณ 1.56 ก./ล. และถึงแม้ว่าจะลดอัตราการไหลของน้ำผ่านคอลัมน์ลงไปอีก (เพิ่มค่า EBCT) ค่าอัตราการใช้ถ่านก็มีค่าที่คงที่ ดังนั้นใน

กรณีที่ใช้คอลัมน์ที่มีขนาดเท่าเดิมการลดอัตราการไหลให้มีค่าที่ต่ำกว่าสภาวะนี้ก็จะไม่มีประโยชน์ในทางกลับกันส่งผลให้เกิดการเสียเวลาในการเดินระบบที่นานขึ้นระยะการกักเก็บน้ำเสียนานขึ้น และจากข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับเวลาที่ใช้ในการเดินระบบเพื่อหาความลึกวิกฤตของชั้นถ่านตามสมการของ Bohart-Adams ดังแสดงในรูปที่ 4.39 และ 4.40



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินระบบก่อนถึงจุดเบรคทูรกับความลึกของคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ F300



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินระบบก่อนถึงจุดเบรคทูรกับความลึกของคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ C1000

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.39 และ 4.40 จะเห็นได้ว่าจากความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาที่ใช้ในการเดินระบบก่อนถึงจุดเบรคท루 (Service Time) กับความลึกของคอลัมน์หรือที่นิยมเรียกกันว่า Bed Depth-Service Time Curve สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำนาย ความสามารถในการดูดติดและอัตราการดูดติดของถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ที่สภาวะอัตราการไหล หนึ่งได้โดยใช้โมเดลที่มีชื่อว่า Bohart-Adams Model ซึ่งคิดขึ้นโดย Bohart และ Adams ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$t = \frac{N_0}{C_0 V} \left[D - \frac{V}{KN_0} \ln \left(\frac{C_0}{C_b} - 1 \right) \right]$$

โดยที่ t = เวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)

V = อัตราเร็วของน้ำ (เมตร/ชั่วโมง)

D = ความลึกของชั้นถ่าน (เมตร)

D_0 = ความลึกวิกฤตของชั้นถ่าน (เมตร)

K = ค่าอัตราการดูดติด (ล./มก.-ชม.)

N_0 = ค่าความสามารถในการดูดติด (BDST adsorption capacity) (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_0 = ความเข้มข้นของน้ำเข้า (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_b = ความเข้มข้นของน้ำออกที่จุดเบรคท루 (มิลลิกรัม/ลิตร)

ซึ่งความยาวของ Mass Transfer Zone หรือ ความลึกวิกฤตของชั้นถ่าน (Critical Bed Depth) มีค่าดังนี้ เมื่อ $t = 0$

$$D_0 = \frac{V}{KN_0} \left[\ln \left(\frac{C_0}{C_b} - 1 \right) \right] \quad \text{และ} \quad \text{slope} = \frac{N_0}{C_0 V}$$

โดยค่าคงที่ต่างๆ ที่คำนวณโดยใช้สมการของ Bohart และ Adams แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 ซึ่งค่าความลึกวิกฤตของชั้นถ่าน (D_0) สามารถหาได้โดยการหาจุดตัดของแกน X ใน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของคอลัมน์กับเวลาในการเดินระบบตามสมการของ Bohart และ Adams

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ตามสมการ Bohart และ Adams ของถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 และ F300

อัตราภาระบรรจุเชิง ปริมาตร (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)	F 300			C 1000		
	K (ล./มก.-ชม.)	No (มก./ล.)	X/M (มก./ก.)	K (ล./มก.-ชม.)	No (มก./ล.)	X/M (มก./ก.)
1.019	1.66×10^{-3}	16,764	36.63	2.60×10^{-3}	4,417	8.58
2.038	2.13×10^{-3}	12,237	26.52	6.12×10^{-3}	3,362	4.65
3.057	2.51×10^{-3}	9,342	7.07	7.63×10^{-3}	2,954	2.33

ตารางที่ 4.6 ค่าความลึกวิกฤติที่อัตราการไหลที่แตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ F300 และ C1000

ความลึกวิกฤติของถ่านกัมมันต์				
Flow (L./HR.)	F 300 (m.)	R ²	C 1000 (m.)	R ²
2.00	0.07	0.99	0.17	0.98
4.00	0.15	0.98	0.19	0.97
6.00	0.25	0.95	0.26	0.93
8.00	<0.80	-	<0.80	-

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความสามารถในการดูดซับที่ทุกๆค่าของอัตราการไหลของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ C1000 กล่าวคือมีค่าที่เท่ากับ 36.63, 26.52 และ 7.07 มก./ก. สำหรับถ่านกัมมันต์ F300 และมีค่าเท่ากับ 8.58, 4.65 และ 2.33 มก./ก. สำหรับถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 2.4 และ 6 ล./ชม. ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามพบว่า ค่าอัตราการดูดซับจะมีค่าที่สูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลมีค่าที่สูงขึ้น และในถ่านกัมมันต์ C1000 มีค่าที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ F300 โดยมีค่าเท่ากับ 1.66×10^{-3} , 2.13×10^{-3} และ 2.51×10^{-3} ล./มก.-ชม. สำหรับถ่านกัมมันต์ F300 และมีค่าเท่ากับ 2.60×10^{-3} , 6.12×10^{-3} และ 7.63×10^{-3} ล./มก.-ชม. สำหรับถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหลเท่ากับ 2.4 และ 6 ล./ชม. ตามลำดับการที่ค่าความสามารถในการดูดซับมีค่าที่ลดลงเมื่ออัตราการไหลมีค่าที่สูง นำมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของค่า EBCT เมื่ออัตราการไหลมีค่าที่สูงขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการสัมผัสระหว่างถ่านกัมมันต์และสีมีค่าที่ลดลง และยังพบว่าค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ C1000 ซึ่งสอดคล้องเป็นอย่างดีกับข้อมูลจากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งพบว่าค่าการดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ C1000

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาความความถี่วิกฤติที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาที่ใช้ในการเดินระบบของจุดเบรคทูล (Service Time) และความถี่ของคอลัมน์ พบว่าที่ค่า อัตราการไหลสูงขึ้น (EBCT มีค่าลดลง) ความถี่วิกฤติของคอลัมน์มีค่าที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ค่าความ ยาวของคอลัมน์ที่ยอมรับได้ จะมีค่าที่มากขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านคอลัมน์มีค่าที่สูงขึ้น ซึ่ง พบว่าความสามารถในการดูดติดมีค่าที่ลดลงเมื่ออัตราการไหลมีค่าที่สูงขึ้น โดยมีผลมาจากการที่ อัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้เวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์กับสีมีค่าลดลงหรือทำให้ต้องใช้ ถ่านปริมาณมากขึ้นในการดูดติดสี โดยในระบบที่ติดตั้งโดยถ่านกัมมันต์ F300 มีค่าความถี่วิกฤต เท่ากับ 0.07, 0.15 และ 0.25 ม. ที่อัตราการไหล 2.4 และ 6 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับและเมื่อเปลี่ยนชั้น ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านกัมมันต์ C1000 ค่าความถี่วิกฤตมีค่าเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันคือ ที่ค่า อัตราการไหลสูงขึ้น (EBCT มีค่าลดลง) ความถี่วิกฤติของคอลัมน์มีค่าที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าความถี่ วิกฤตเท่ากับ 0.17, 0.19 และ 0.26 ม. ที่อัตราการไหล 2.4 และ 6 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

จากผลการทดลองกระบวนการดูดติดผิวแบบไม่ต่อเนื่องในถังปฏิกริยาแบบเท และการ ทดลองดูดติดผิวแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์ C1000 และ F300 พบว่าถ่านกัมมันต์ F300 มี ความสามารถในการดูดติดสีในรูปของทีโอซีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ C1000 เนื่องจากผลการทดลองที่ ได้จากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องและการทดลองแบบต่อเนื่องนั้นมีผลสอดคล้องแต่เมื่อพิจารณา ถึงความสามารถในการดูดติดจะมีค่าที่แตกต่างกันเนื่องมาจากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องนั้นความ เข้มข้นของทีโอซีมีค่าที่ไม่คงที่โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของทีโอซีเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชั่วโมง เท่ากับ 39.05 มก./ล. แต่เมื่อเวลาสัมผัสผ่านไปความเข้มข้นของทีโอซีจะมีค่าลดลง ในขณะที่ความ เข้มข้นทีโอซีเฉลี่ยในการทดลองแบบต่อเนื่องนั้นมีค่าคงที่ตลอดเวลาเท่ากับ 39.05 มก./ล. ซึ่งจาก ปัจจัยดังกล่าวทำให้ความสามารถในการดูดติดที่หาได้จากการทดลองทั้งสองแบบมีค่าที่แตกต่างกัน

4.3.1 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้ถ่านกัมมันต์

เมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิด F300 นั้นเป็นถ่านกัมมันต์ที่ เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียสีข้อมฟ้ารวมด้วยกระบวนการดูดติดผิว กล่าวคือเมื่อพิจารณา ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีรวม 1 ลบ.ม. ให้ได้ประสิทธิภาพของการกำจัดทีโอซีในน้ำ เสียสีข้อมฟ้ารวม โดยที่ความเข้มข้นของทีโอซีในน้ำที่ออกจากระบบไม่เกิน 5 มก./ล. พบว่าถ่าน กัมมันต์ชนิด F300 จะใช้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดโดยเสียค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 230 บาท ในขณะที่ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 เป็นตัวกลางดูดซับจะมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสีข้อมฟ้ารวม 1 ลบ.ม. เท่ากับ 448 บาท โดยราคาที่คำนวณพิจารณาจากราคา ถ่านกัมมันต์ชนิด F300 ราคา กิโลกรัม ละ 147 บาท และถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 ราคา กิโลกรัมละ 68 บาท

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้ารวมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการดูดซับสามารถกำจัดสีในรูปของทีโอซีในน้ำเสียสีย้อมผ้ารวมได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยน้ำที่ผ่านระบบบำบัดดังกล่าวมีลักษณะใสและไม่มีสีดังแสดงในรูปที่ ก-4 (ภาคผนวก ก) โดยมีความเข้มข้นทีโอซีในน้ำออกไม่เกิน 5 มก./ล. และมีค่าพีเอชเท่ากับ 5 ซึ่งในการนำไปใช้จริงควรมีการปรับพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบให้มีค่าเท่ากับ 7 ก่อนที่จะทำการระบายน้ำทิ้งและในส่วนของตะกอนที่ได้จากกระบวนการ โคแอกกูเลชันและถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพจากกระบวนการดูดซับสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักได้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University =
All rights reserved