

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ ศึกษาระยะเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสีย้อม ในการทดลองแบบแบตช์ ศึกษาสมการไอโซเทอมของการดูดติดผิวในการทดสอบแบบแบตช์ เพื่อหาชนิดถ่านกัมมันต์ที่ให้ผลดี ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม และอายุการใช้งานถ่านกัมมันต์ชนิดที่ให้ผลดีโดยการทดสอบแบบต่อเนื่อง

4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์

การศึกษานี้ได้พิจารณาเลือกถ่านกัมมันต์เกรดการค้าเตรียมจากวัสดุ 3 ชนิด คือ กะลามะพร้าว 2 ตัวอย่าง ที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน ไม้ยูคาลิปตัส และแอนทราไซต์ อย่างละ 1 ตัวอย่าง ที่เตรียมจากการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพดังตารางที่ 4.1 มาทดลองกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมสีย้อมรีแอกทีฟแดง C.I. Reactive 180 ที่มีมวลโมเลกุล 801 และสีย้อมรีแอกทีฟน้ำเงิน Remazol Black B ที่มีมวลโมเลกุล 870 ความเข้มข้นของสีในน้ำเสียเตรียมให้มีความเข้มข้นคงที่ 50 มก./ล. ตลอดจนการทดลอง ซึ่งสีรีแอกทีฟแดงจะให้ค่าสี 92 เอสยู และ 1310 เอดีเอ็มไอ สีรีแอกทีฟน้ำเงิน จะให้ค่าสี 177 เอสยู และ 2244 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ และพีเอชของสารละลายสีรีแอกทีฟแดงและน้ำเงินเท่ากับ 7.7 และ 7.8 ตามลำดับ

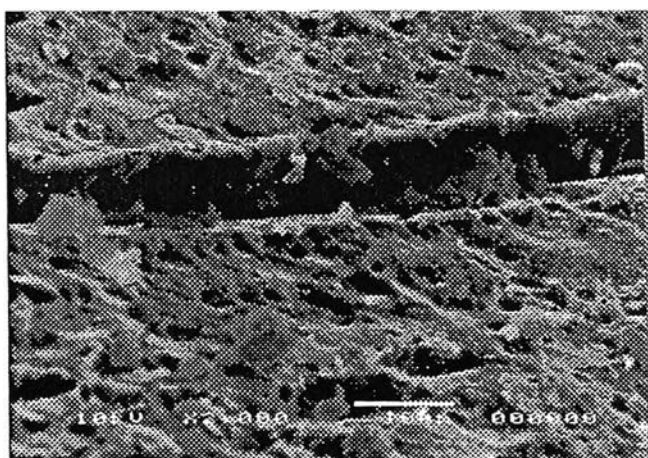
พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์และกะลามะพร้าว 1 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 492 และ 518 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 และไม้ยูคาลิปตัสมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 1001 และ 1076 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ โดยทั่วไปพื้นที่ผิวเป็นปัจจัยแรกในการเลือกถ่านกัมมันต์มาใช้งาน เพราะการมีพื้นที่ผิวมากจะมีบริเวณสำหรับดูดติดมากหรือมีจำนวนรูพรุนมาก จึงมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวที่ดี (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2539) กระบวนการผลิตจะเป็นตัวกำหนดจำนวนรูพรุน เมื่อวัสดุถูกเผาในที่ไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง ผิวของคาร์บอนจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ และเกิดรูพรุนขึ้นมากมายเนื่องจากอะตอมของไฮโดรเจนออกซิเจน และไนโตรเจน จะแตกตัวออกมาในรูปก๊าซ และกระบวนการกระตุ้นจะไล่สารที่ปิดรูพรุน เช่น สารทาร์ ออกไป ช่วยให้มีจำนวนรูพรุนมากขึ้น (นิชชรี นิลนนท์, 2540)

ขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะขึ้นกับวัสดุที่ใช้เป็นหลัก ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแอนทราไซต์และไม้ยูคาลิปตัสจะมีขนาดรูพรุนขนาดกลาง (20-500 นาโนเมตร) และขนาดใหญ่ (> 500 นา

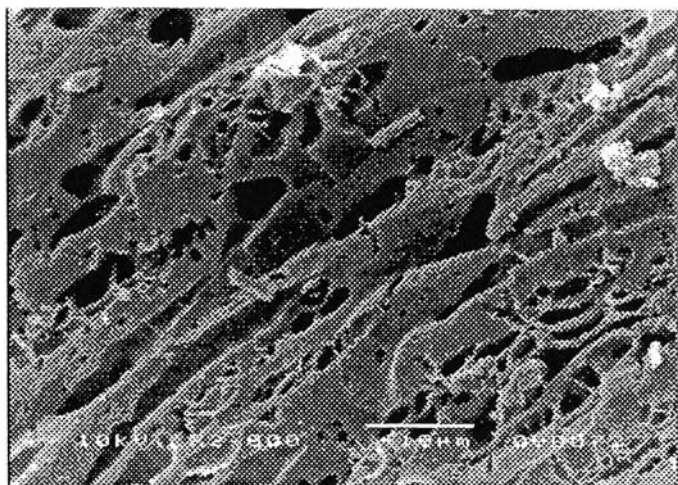
ตารางที่ 4.1 สมบัติถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง (ธราพงษ์ วิทิตตานต์, 2546)

ชนิดถ่านกัมมันต์ / พารามิเตอร์	แอนทราไซต์	กะลา มะพร้าว 1	กะลา มะพร้าว 2	ไม้ยูคาลิปตัส
ปริมาณเถ้า (%)	2.4	3.0	9.5	6.4
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.6	0.6	0.5	0.2
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัม/กรัม)	110	139	179	242
ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)	508	559	1100	1233
พื้นที่ผิวแบบบีทีที (ตารางเมตร/กรัม)	492	518	1001	1076

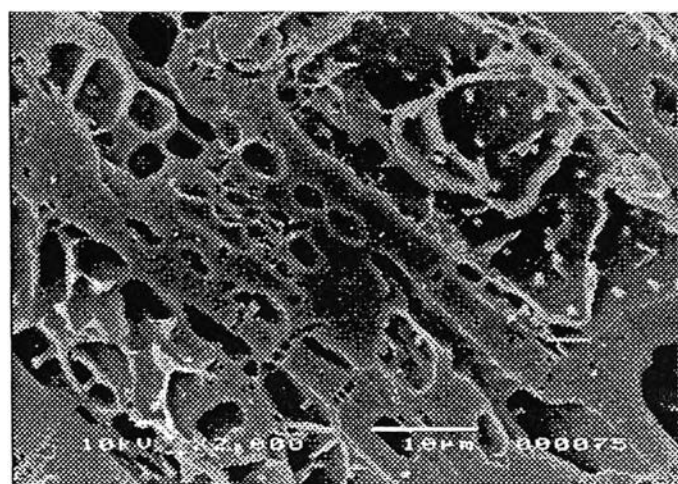
โนเมตร)มาก ส่วนถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะมีรูพรุนขนาดเล็ก (0 - 20 นาโนเมตร) จำนวนมาก (Hu., Srinivasan, and Ni., 2001) ขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดจะต้องมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ จึงจะสามารถเข้าไปถูกดูดติดได้ ดังนั้นรูพรุนถ่านกัมมันต์ต้องใหญ่กว่าสี่ร้อยมจึงจะดูดติดผิวได้ดี ลักษณะพื้นผิวถ่านกัมมันต์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดจากการตรวจสอบด้วย Scanning Electron Microscope(SEM) ที่กำลังขยายต่ำ จะแสดงลักษณะรูพรุนใหญ่ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 – 4.4



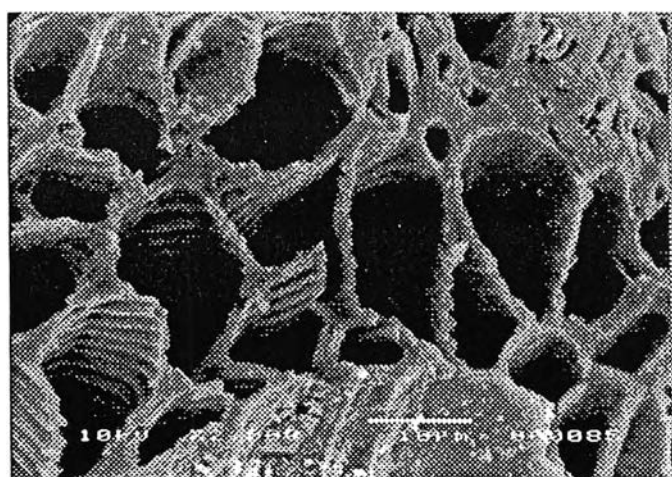
รูปที่ 4.1 แสดงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์



รูปที่ 4.2 แสดงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1



รูปที่ 4.3 แสดงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2



รูปที่ 4.4 แสดงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูและไอโอดีนจะเป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มในการดูดซับสารถูกดูดซับที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็กตามลำดับ (Hu., Srinivasan., and Ni. , 2001) ซึ่งจากข้อมูลสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสมีค่าการดูดซับทั้งเมทิลีนบลูและไอโอดีนมากที่สุด รองลงมาคือกะลามะพร้าว 2 กะลามะพร้าว 1 และแอนทราไซต์ตามลำดับ

ผลของการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ดังภาคผนวก ฉ รูปที่ ฉ.3-ฉ.6 พบว่าไม่สามารถให้พีคที่ชัดเจนพอที่จะบ่งบอกหมู่ฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ได้ เพราะถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีหมู่ออกซิเจนน้อยเกินไปจึงไม่สามารถตรวจสอบด้วย FTIR และทำให้ไม่สามารถอธิบายการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) จากองค์ประกอบทางเคมีด้วย FTIR ได้ (วิจิตร จินดาไพโรจน์, 2543)

จากสมบัติทางกายภาพข้างต้นมีแนวโน้มที่ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส จะมีประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและรูพรุนขนาดกลางมาก อย่างไรก็ตามการดูดซับผิวด้วยถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการซับซ้อน อีกทั้งเป็นลักษณะเฉพาะของถ่านกับสารถูกดูดซับแต่ละชนิด ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบแบบแบดซ์และแบบต่อเนื่องอย่างละเอียดต่อไป

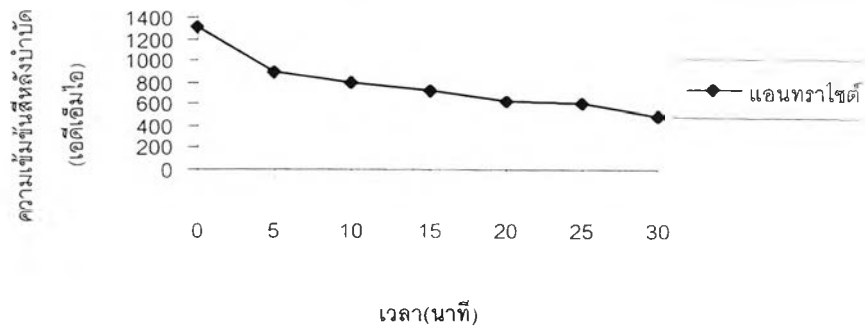
4.2 เวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการดูดซับผิว สำหรับการทดลองแบบแบดซ์

4.2.1 การทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟแดง

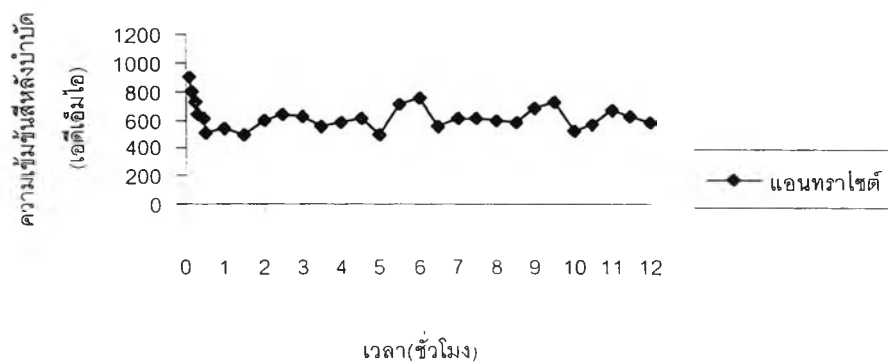
การทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟแดง ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มก./ล. (ความเข้มข้นสีเท่ากับ 1174-1500 เอดีเอ็มไอ) ปริมาตร 100 มล. และเติมผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ปริมาณ 1 กรัม เขย่าแล้วเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นสีที่เหลือในหน่วยเอดีเอ็มไอ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1.1 ผลทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 (ก) และ 4.5 (ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10,15 และ 20 นาที ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 900, 802, 721 และ 636 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 10-15 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 611 เอดีเอ็มไอ



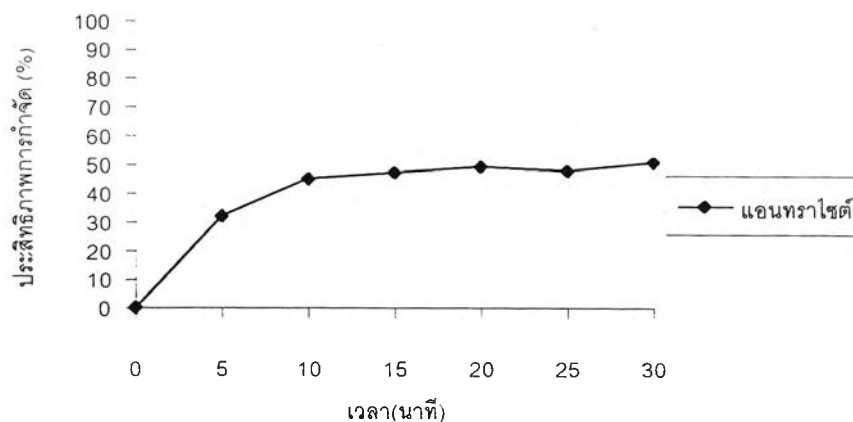
(ก)



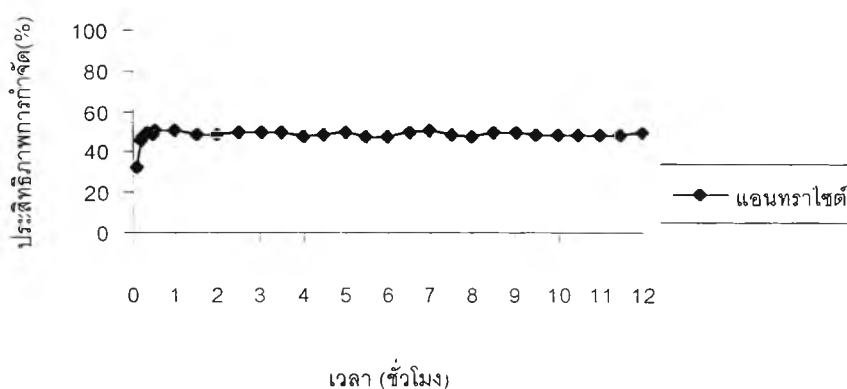
(ข)

รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟแดงหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดงด้วยถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์กับเวลาอิมมัตว ดังรูปที่ 4.6 (ก) และ 4.6 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่าน 5, 10, 15 และ 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 32, 40, 47 และ 49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 49 เปอร์เซ็นต์



(ก)

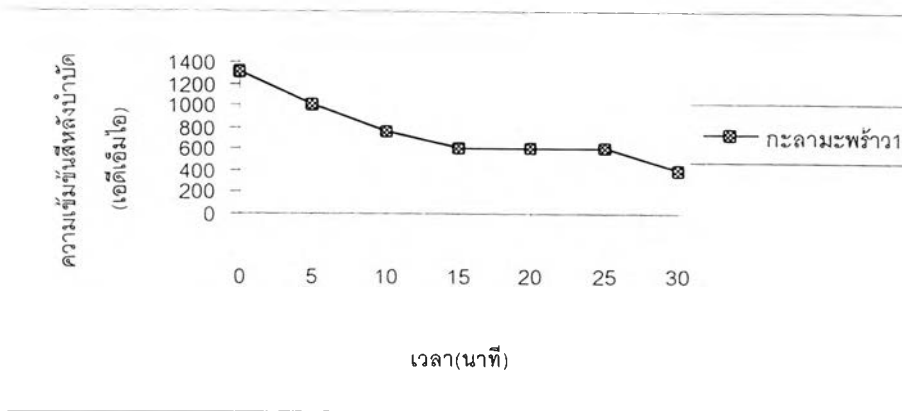


(ข)

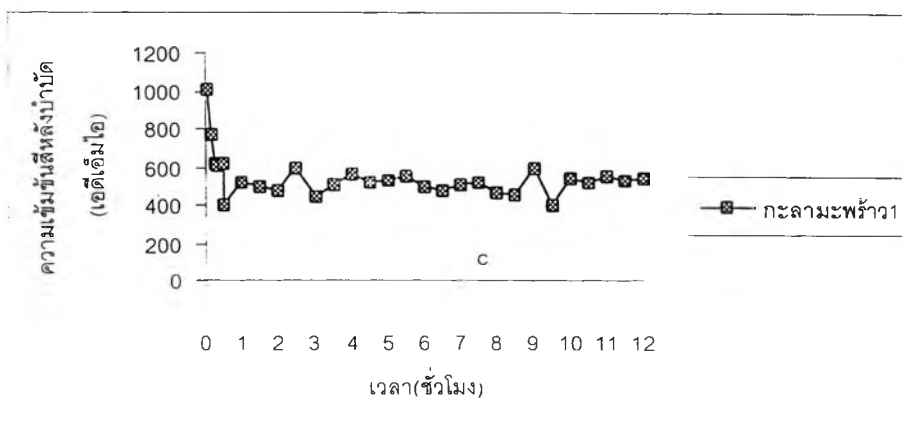
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดงด้วยถ่านกัมมันต์จากแอนโนนาไซต์

4.2.1.2 ผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 (ก) และ 4.7 (ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10,15 และ 20 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 1005, 767, 612 และ 604 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 10-15 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 571 เอดีเอ็มไอ



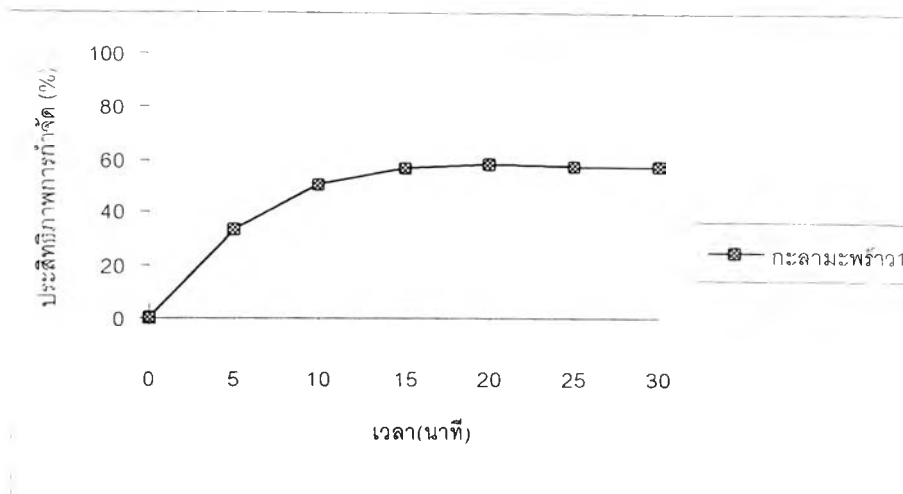
(ก)



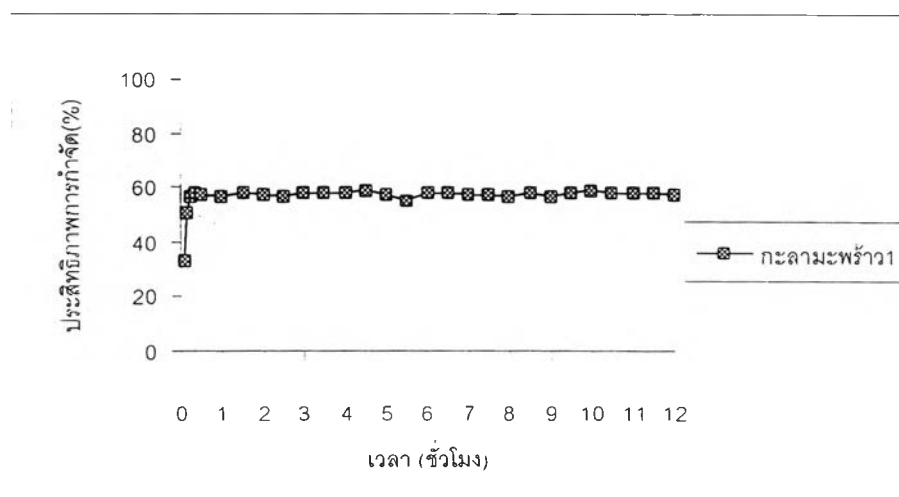
(ข)

รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟแดงหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดงด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1 กับเวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.6 (ก) และ 4.6 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่าน 5,10,15 และ 20 นาทีประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 33, 51, 56 และ 57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 58 เปอร์เซ็นต์



(ก)

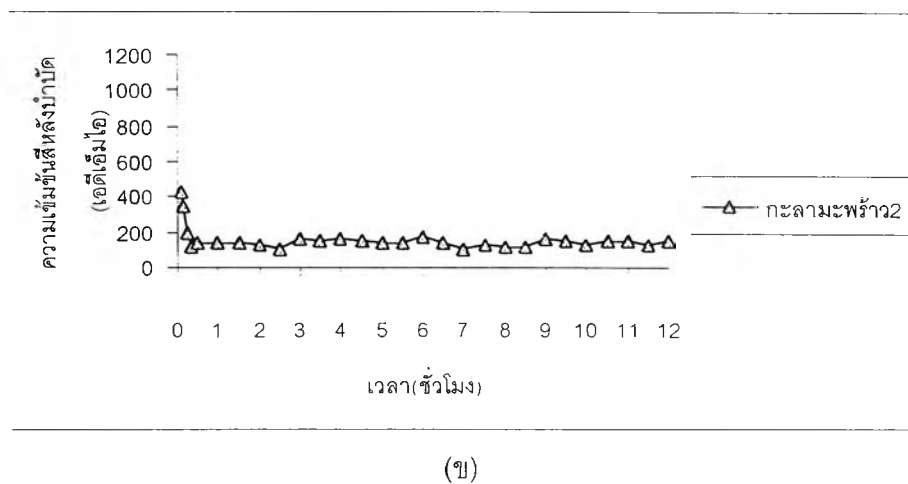
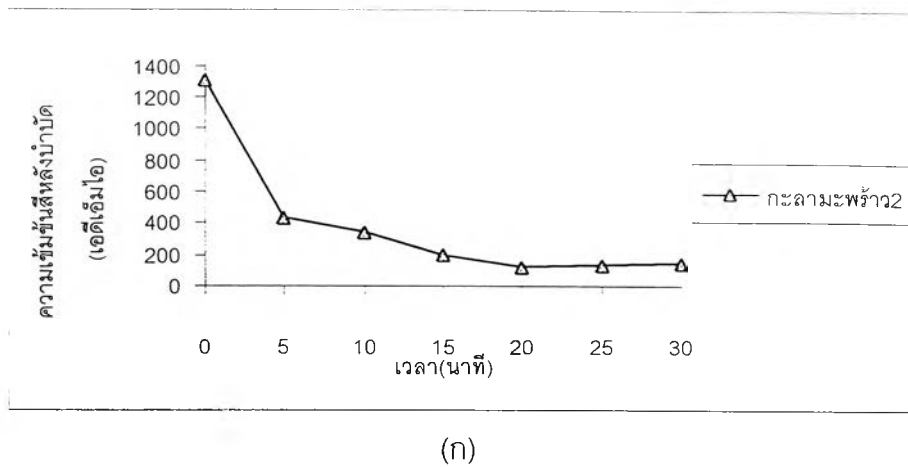


(ข)

รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1

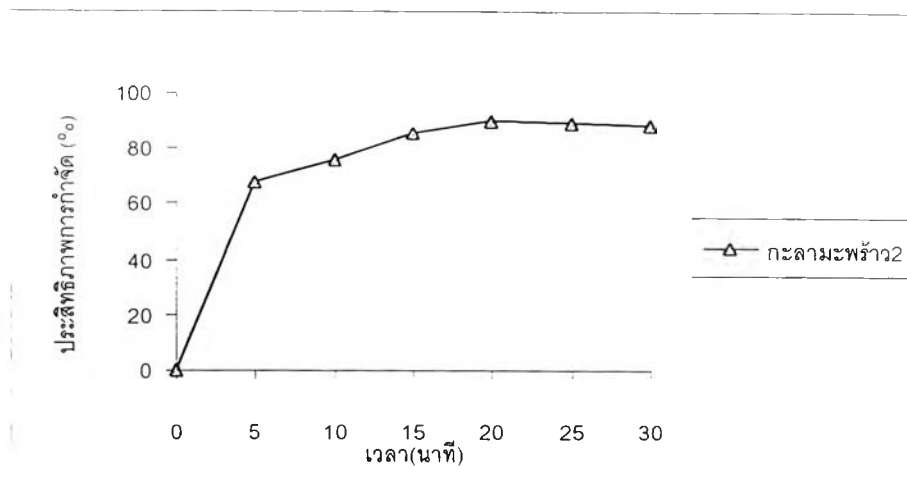
4.2.1.3 ผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 (ก) และ 4.9 (ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10,15 และ 20 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 427, 344, 197 และ 118 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 10-15 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 134 เอดีเอ็มไอ

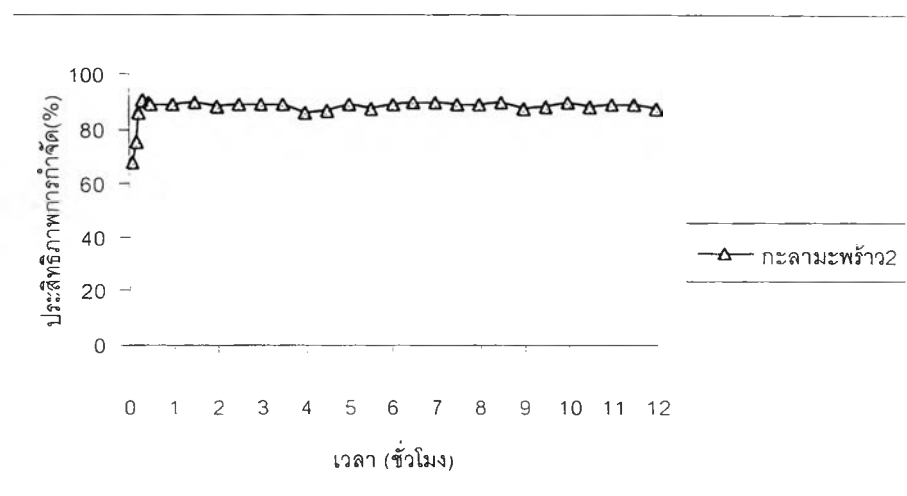


รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟแดงหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดงด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 กับเวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.10 (ก) และ 4.10 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่าน 5,10,15 และ 20 นาทีประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 68, 76, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สืบเนื่องจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 89 เปอร์เซ็นต์



(ก)



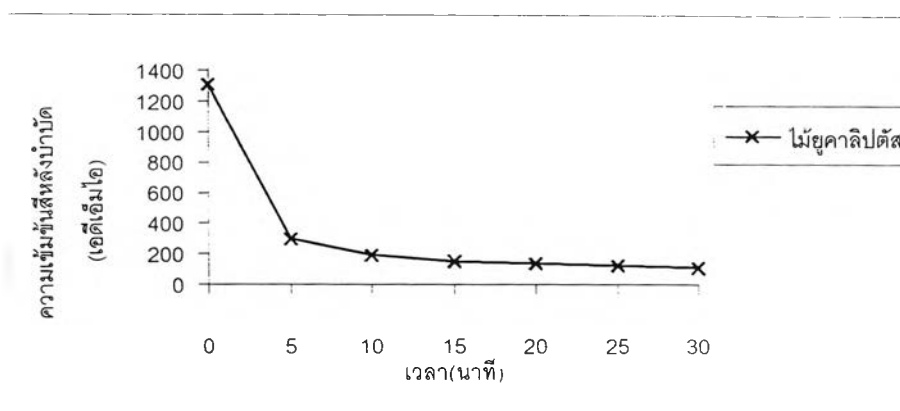
(ข)

รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

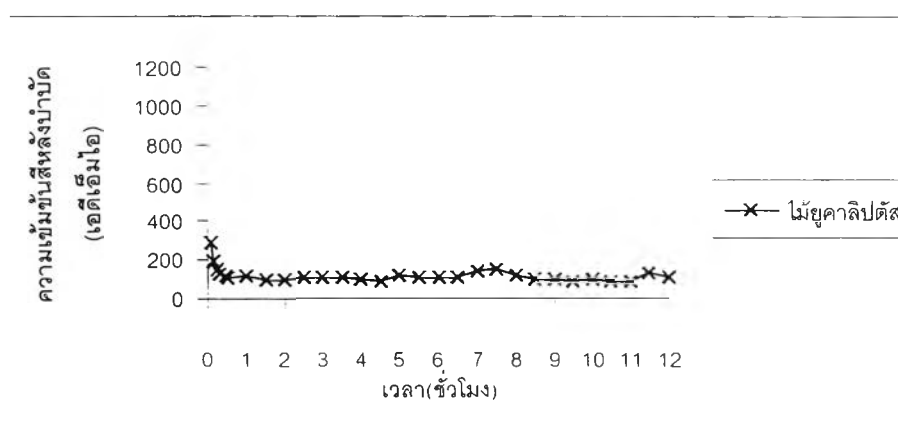
4.2.1.4 ผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11 (ก) และ 4.11(ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10,15 และ 20 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 291, 187, 154 และ 118 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง

10-15 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีที่มีอัตราการลดลงมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 124 เอดีเอ็มไอ



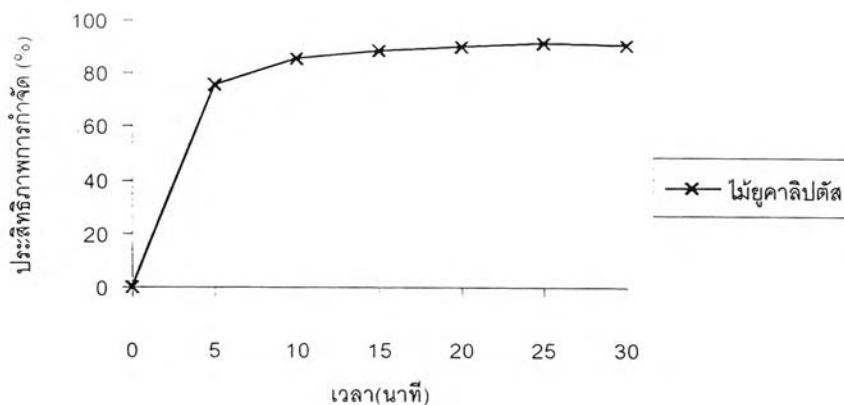
(ก)



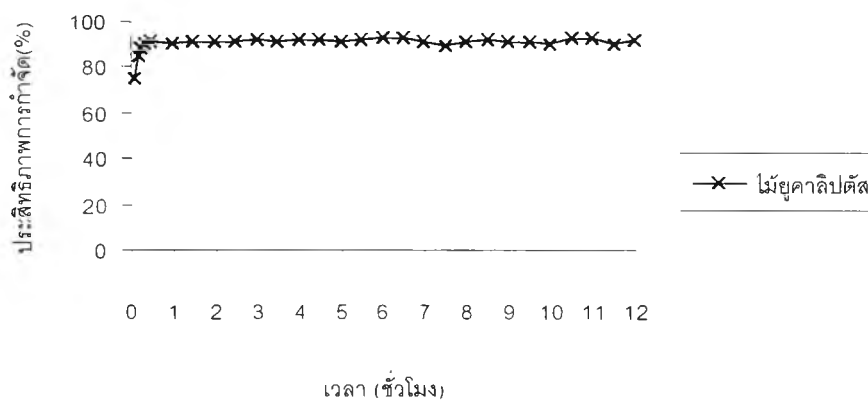
(ข)

รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟแดงหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดงด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส กับเวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.12 (ก) และ 4.12 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5, 10, 15 และ 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 75, 85, 90 และ 91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 15-20 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย 90 เปอร์เซ็นต์



(ก)



(ข)

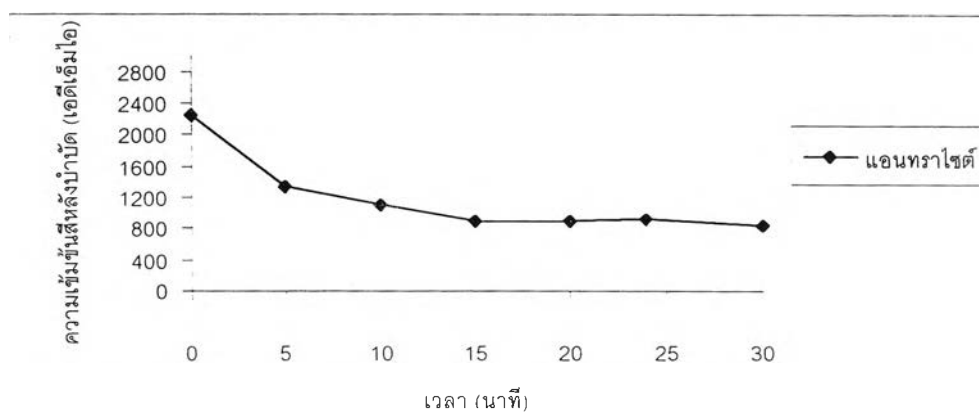
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

4.2.2 การทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน

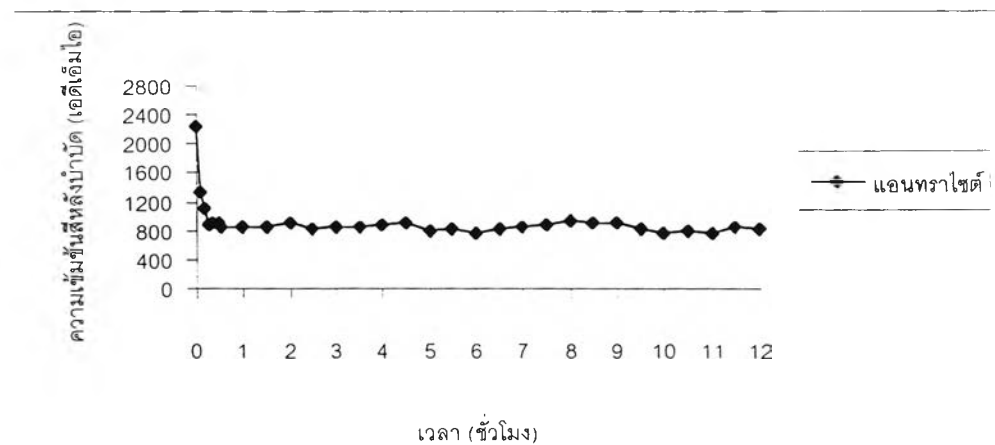
การทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มก./ล. (ความเข้มข้นสีเท่ากับ 1730-2310 เอดีเอ็มไอ) ปริมาตร 100 มล. และเติมผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ปริมาณ 1 กรัม เขย่าแล้วเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นสีที่เหลือในหน่วยเอดีเอ็มไอ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.2.1 ผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 (ก) และ 4.13(ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10 และ 15 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 1327, 1263 และ 889 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สืบเนื่องจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 856 เอดีเอ็มไอ



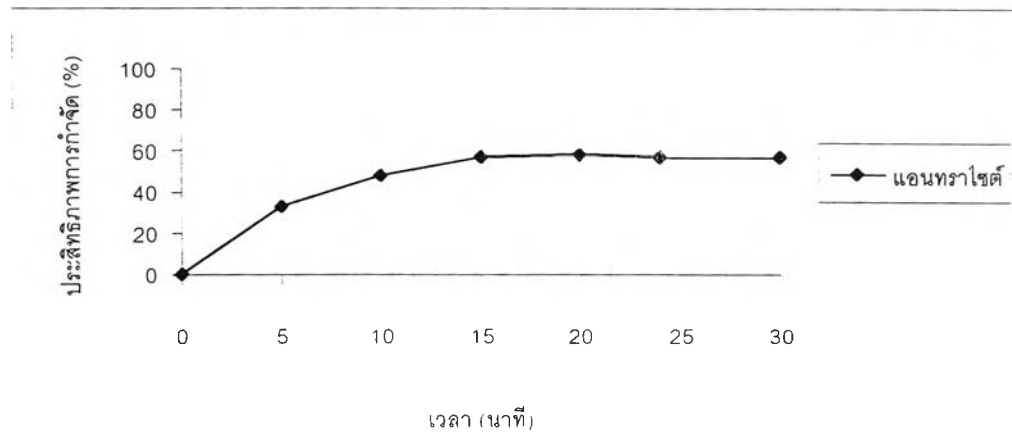
(ก)



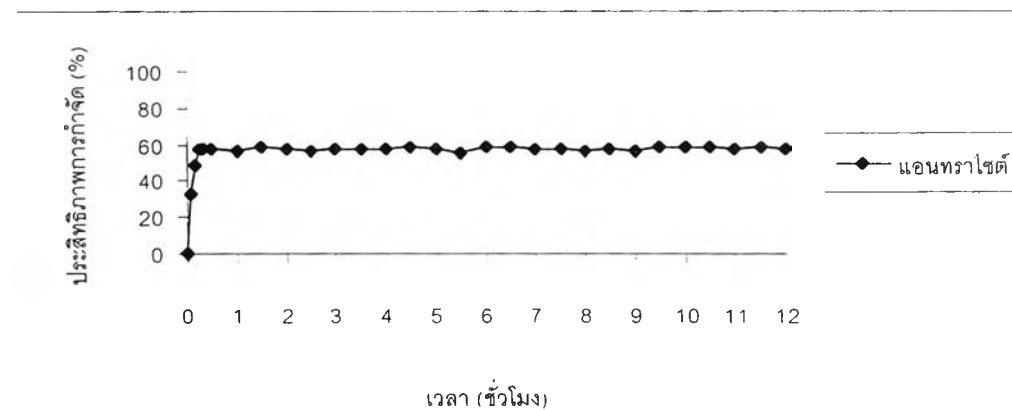
(ข)

รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟน้ำเงินหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินด้วยถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์ กับเวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.14 (ก) และ 4.14 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5,10 และ 15 นาทีแรก ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงเหลือ 32, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด ดังรูปที่ แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 57 เปอร์เซ็นต์



(ก)

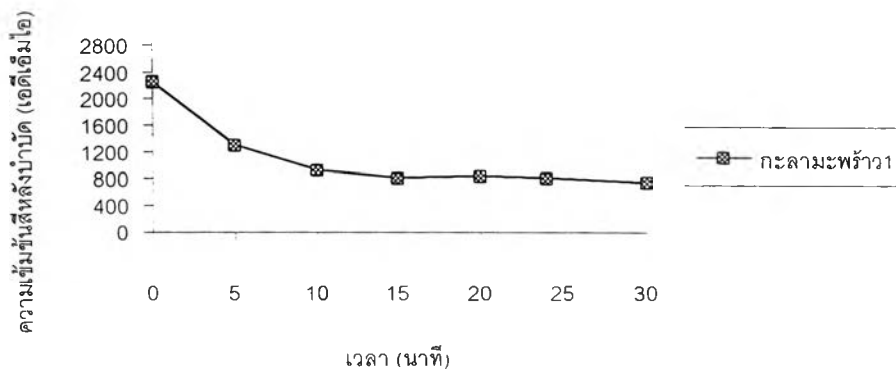


(ข)

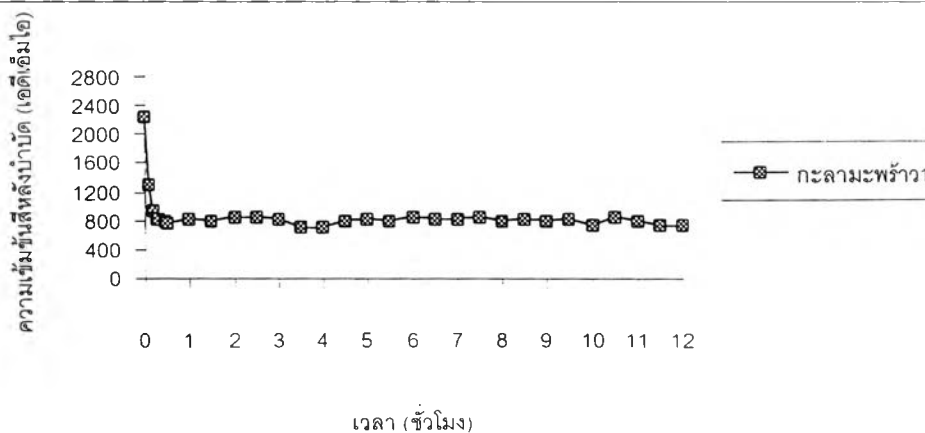
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน ด้วยถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

4.2.2.2 ผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงินกับถ่านกัมมันต์จาก กะลามะพร้าว 1

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15 (ก) และ 4.15(ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10 และ 15 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 1302, 1043 และ 812 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 798 เอดีเอ็มไอ



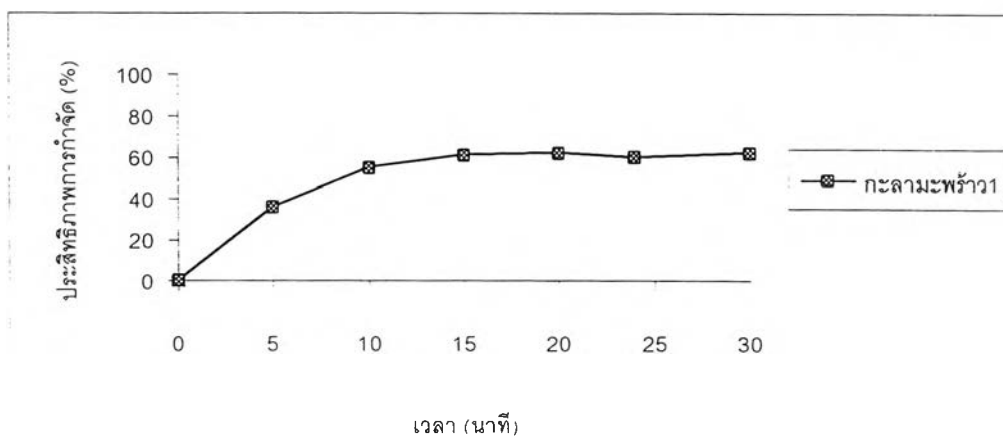
(ก)



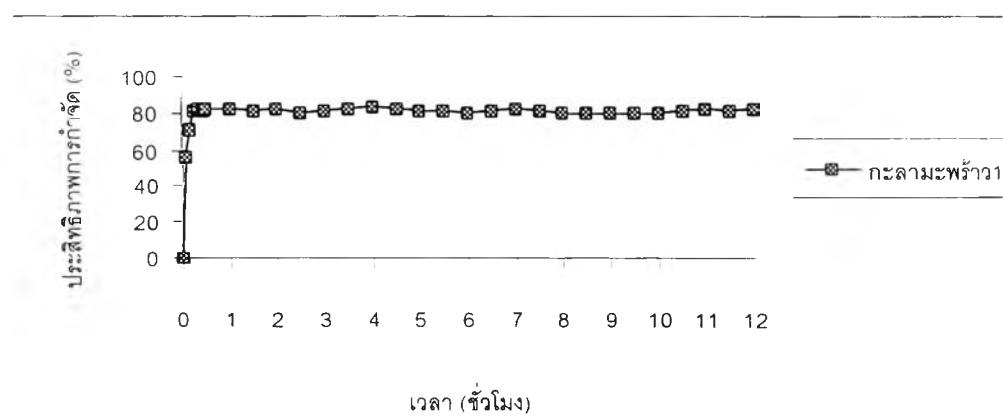
(ข)

รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟน้ำเงินหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1 กับ เวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.16 (ก) และ 4.16 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5, 10 และ 15 นาทีแรก ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงเหลือ 31, 50 และ 61 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด ดังรูปที่ แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคง ที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 61 เปอร์เซ็นต์



(ก)

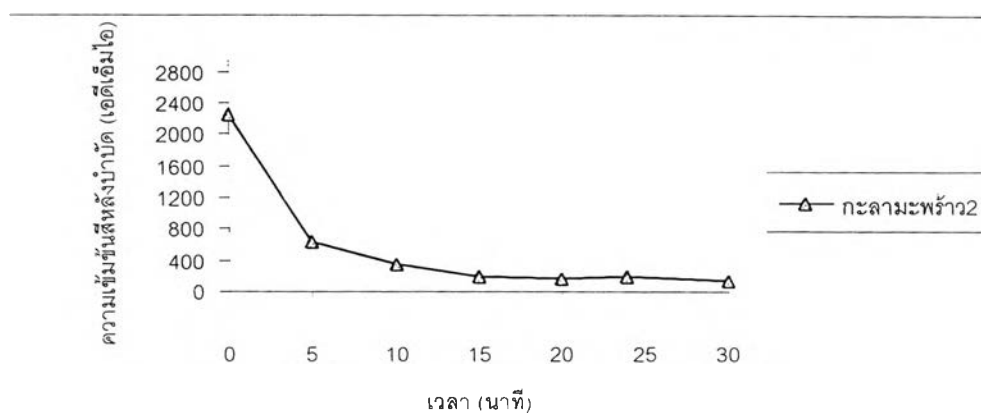


(ข)

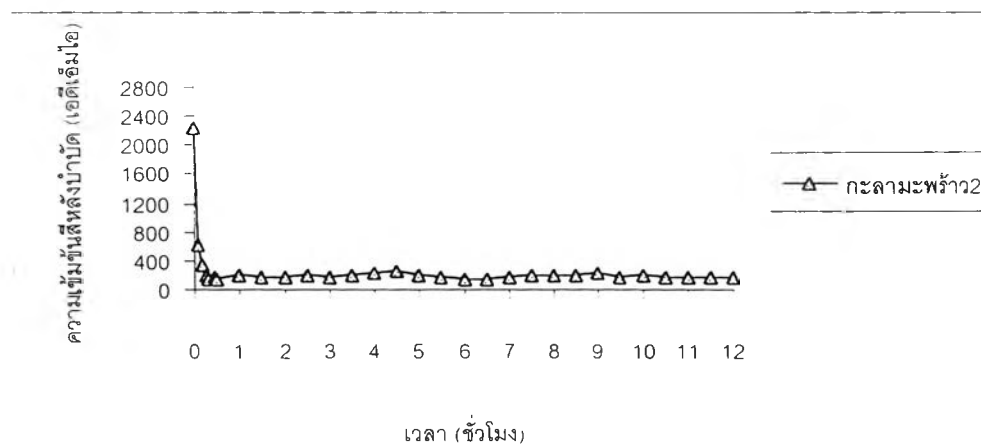
รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1

4.2.2.3 ผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จาก กะลามะพร้าว 2

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.17 (ก) และ 4.17 (ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5,10 และ 15 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 621, 328 และ 183 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 182 เอดีเอ็มไอ



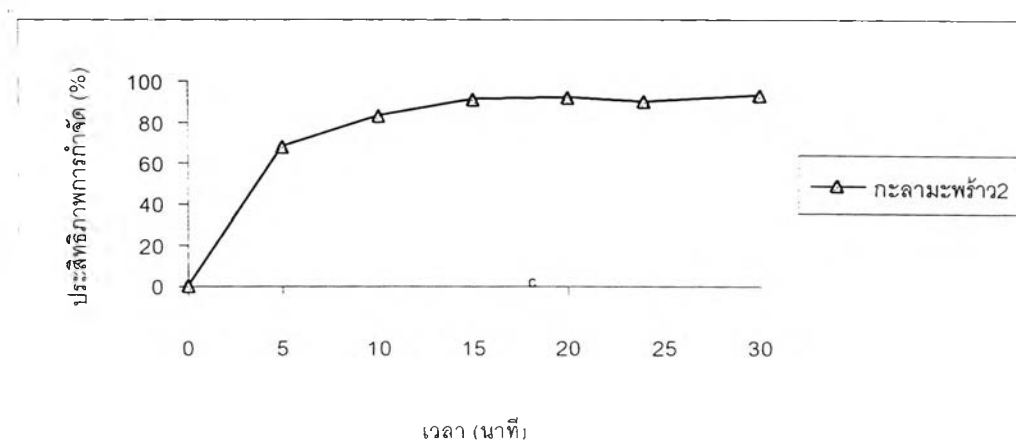
(ก)



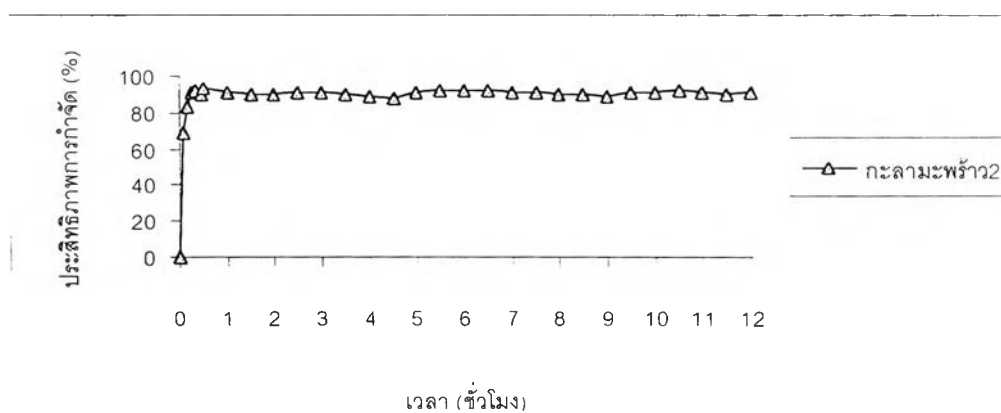
(ข)

รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟน้ำเงินหลังการดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 กับ เวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.18 (ก) และ 4.18 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5, 10 และ 15 นาทีแรก ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงเหลือ 69, 83 และ 91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สืบเนื่องจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด ดังรูปที่ แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 91 เปอร์เซ็นต์



(ก)

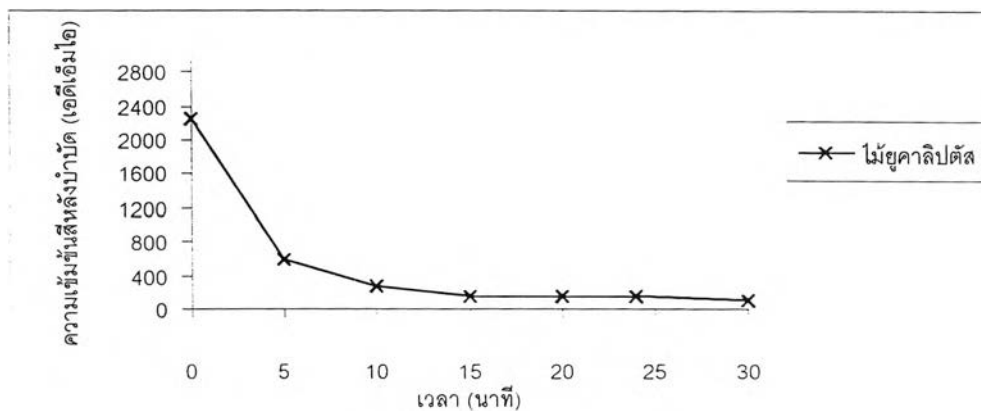


(ข)

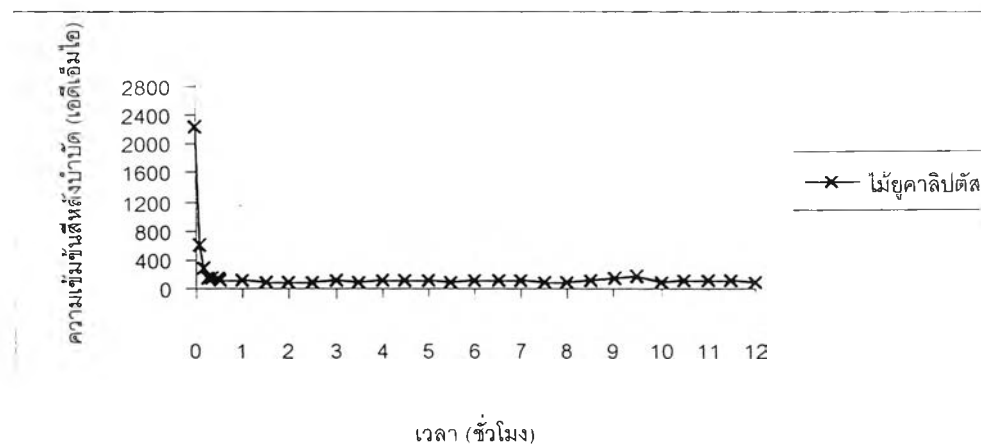
รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

4.2.2.4 การทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.19 (ก) และ 4.19 (ข) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5, 10 และ 15 นาทีแรก ความเข้มข้นสีจะลดลงเหลือ 583, 275 และ 146 เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที จนถึง 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ย 118 เอดีเอ็มไอ



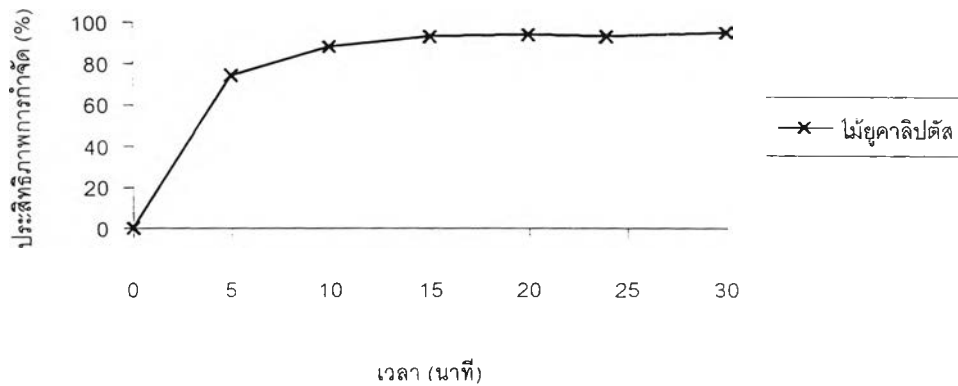
(ก)



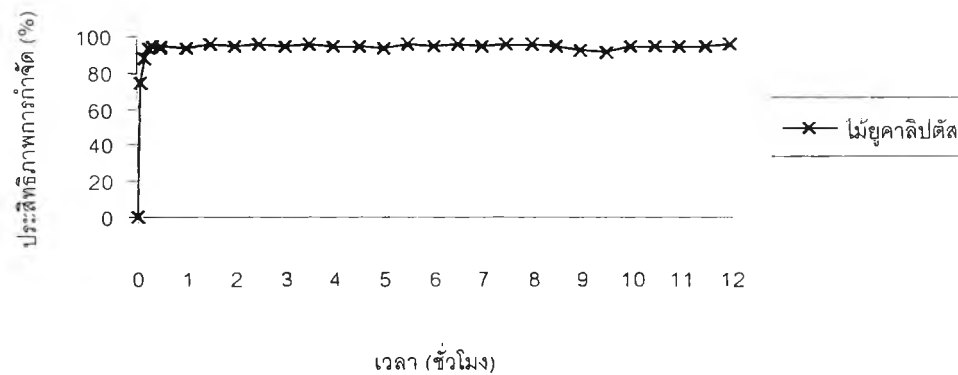
(ข)

รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟน้ำเงินหลังการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ฟ่งน้ำเงินด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส กับ เวลาอิมตัว ดังรูปที่ 4.20 (ก) และ 4.20 (ข) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5,10 และ 15 นาทีแรก ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงเหลือ 74, 88 และ 93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่จากช่วง 10-15 นาที มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันน้อยที่สุด รองลงมาคือช่วง 5-10 นาที และ ช่วง 0-5 นาทีมีอัตราการลดลงน้อยที่สุด ดังรูปที่ แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ความเข้มข้นสีเริ่มคง ที่จนถึง 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 94 เปอร์เซ็นต์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ฟ่งน้ำเงิน ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

4.2.3 สรุปผลการทดสอบเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของการดูดติดผิว

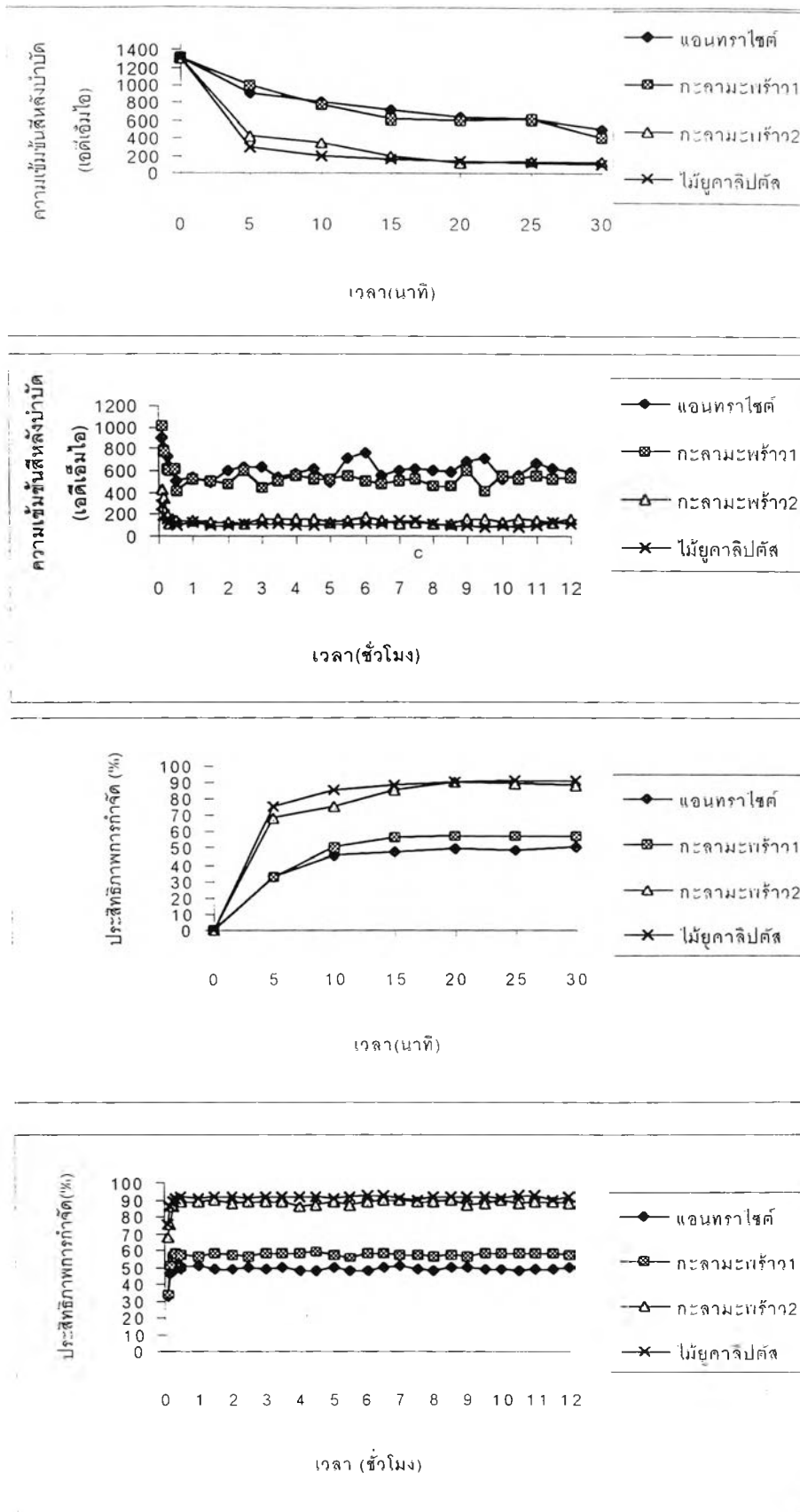
สรุปผลการหาเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของสีรีแอกทีฟแดง ดังรูปที่ 4.21 พิจารณาที่ช่วงเวลาทดสอบพบว่า ถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซด์มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 48% ที่เวลา 20 นาที ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 58% ที่เวลา 20 นาที ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 89 % ที่เวลา 20 นาที และถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 90 % ที่เวลา 20 นาที

สรุปผลการทดสอบหาเวลาอิ่มตัวของสีรีแอกทีฟน้ำเงินแสดงในรูปที่ 4.22 พิจารณาที่ช่วงเวลาทดสอบพบว่าถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซด์มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 57 % ที่เวลา 15 นาที ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 61 % ที่เวลา 15 นาที ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 91 % ที่เวลา 15 นาที และถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส มีประสิทธิภาพการกำจัดสีคงที่ 94 % ที่เวลา 15 นาที ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินจะสูงกว่าสีแดงทุกชนิดของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีขนาดและมวลโมเลกุลสูงกว่าทำให้ความสามารถในการละลายน้ำน้อยกว่าสีแดง

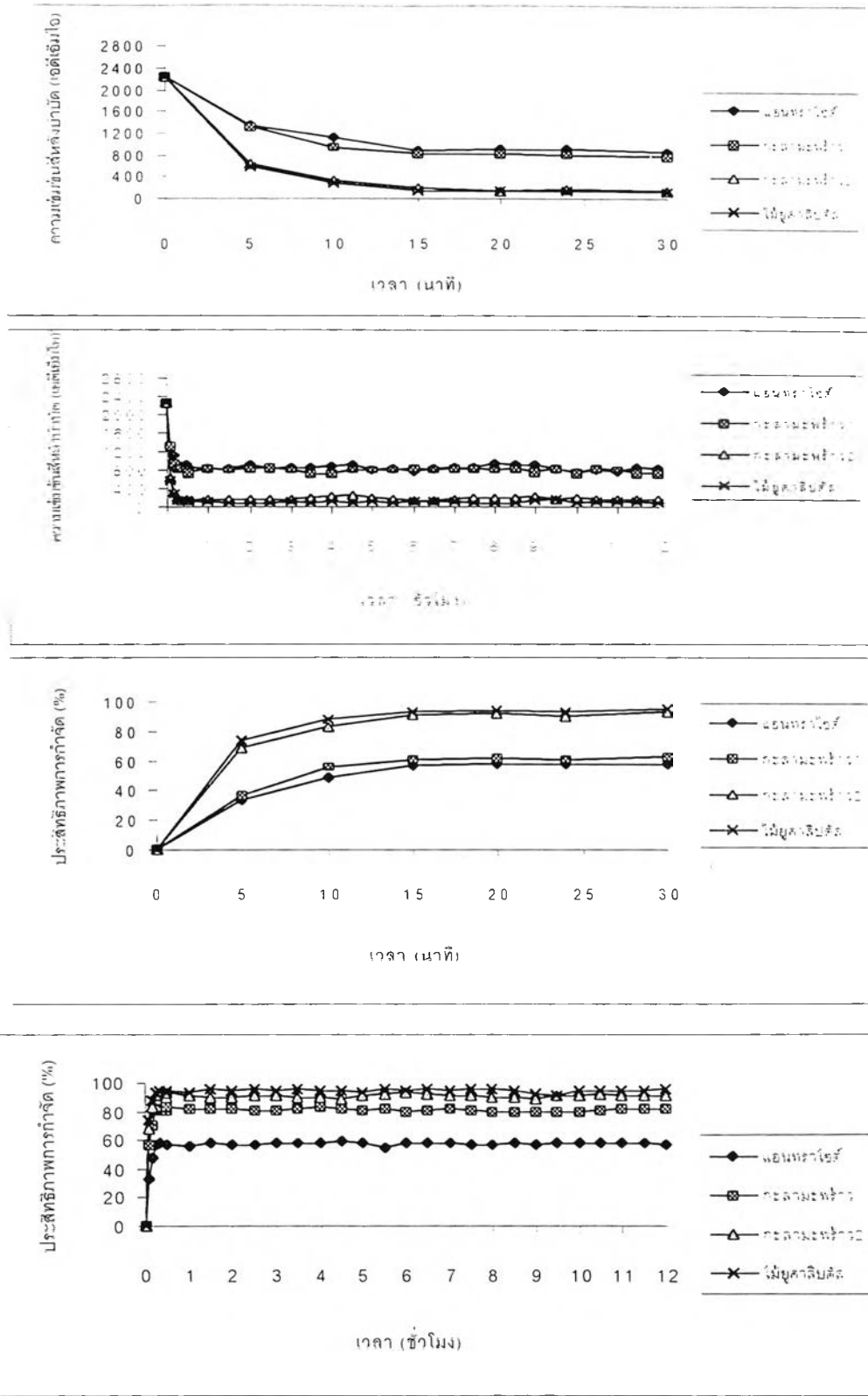
ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมากที่สุด รองลงมาคือ กะลามะพร้าว 2 กะลามะพร้าว 1 และแอนทราไซด์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินจากสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ในหัวข้อ 4.1 กล่าวคือพื้นที่ผิวมากจะดูดติดผิวได้ดี ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและกะลามะพร้าว 2 มีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกันแต่ไม้ยูคาลิปตัสมีขนาดรูพรุนที่ใกล้เคียงกับสีมากกว่า จึงมีมีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดีกว่า

เวลาอิ่มตัวของการดูดติดสีรีแอกทีฟแดงและน้ำเงินด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 20 นาทีและ 15 นาที ตามลำดับ แล้วเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดสียังคงที่ ไม่พบการหลุดกลับของสีที่ดูดติด อัตราการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสารดูดติดผิว (Cheremisinoff., and Ellerbusch.,1978) ดังนั้นเวลาอิ่มตัวของสีแต่ละชนิดจึงอาจเท่ากันหรือไม่ก็ได้แม้ว่าจะเป็นสีประเภทเดียวกันแต่โทนสีต่างกัน เพราะขนาดโมเลกุลของสีแตกต่างกันไปทั้งก่อนอยู่ในน้ำและขณะอยู่ในน้ำ ดังนั้นเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลจะมีค่าแตกต่างกันเป็นลักษณะเฉพาะระหว่างชนิดถ่านกัมมันต์กับสีย้อมแต่ละชนิด

จากการทดสอบหาเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมพบว่า พีเอชของสารละลายสีรีแอกทีฟแดงและน้ำเงิน ก่อนและหลังการดูดติดผิวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก กล่าวคืออยู่ในช่วง 7.7 ± 0.3 สำหรับสีรีแอกทีฟแดง และ 7.8 ± 0.2 สำหรับสีรีแอกทีฟน้ำเงิน ดังนั้นในการวัดค่าสีด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์หลังการดูดติดผิวจึงไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชให้เท่ากับก่อนการดูดติดผิว ทั้งนี้สเปกโทรโฟโต



รูปที่ 4.21 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวสีรีแอกทีฟแดง



รูปที่ 4.22 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับผิวสรีรเอกที่ฟันทันเงิน

มิเตอร์จะให้ค่าแอบชอบแบนท์ต่างกัน ถ้าในกรณีที่มีความเข้มข้นสารละลายเท่ากันแต่พีเอชต่างกัน (อภิชาติ หิรัญจิตต์, 2539)

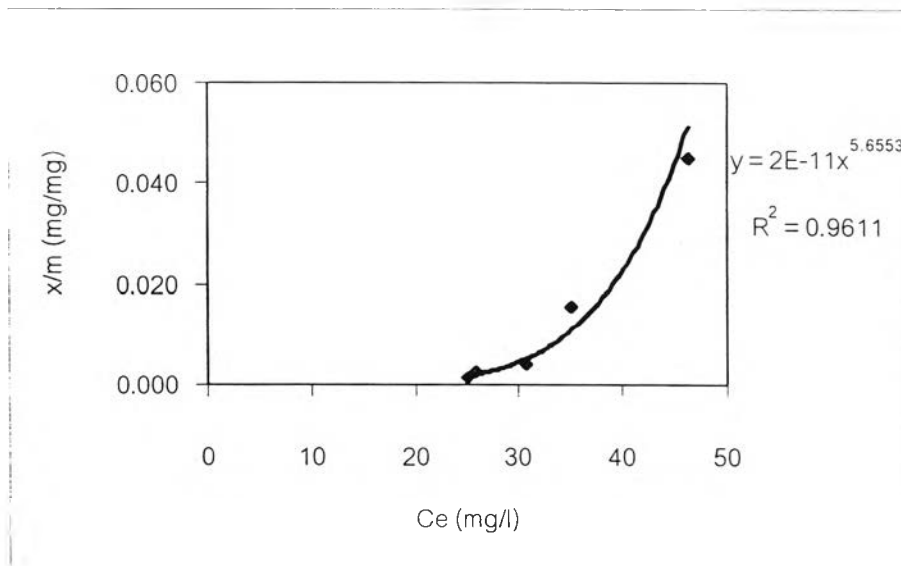
4.3 การทดสอบแบบแบดซ์เพื่อหาถ่านกัมมันต์ที่ให้ผลดี

การทดลองนี้จะทดสอบไอโซเทอม โดยการแปรค่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ 5 ค่า คือ 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม มาทดลองดูดติดผิวกับน้ำเสียความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล. คงที่ จากการทบทวนเอกสารของ วจน์ศิริ ประยูรพรหม, 2539 พบว่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์นั้นไม่ปรากฏเด่นชัด ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าพีเอชใดที่ให้ผลดี แม้ว่าพีเอชที่เกิดกับสารดูดติดจะมีผลต่อขีดความสามารถการดูดติดก็ตาม แต่อาจถูกเพิ่มหรือหักล้างขีดความสามารถการดูดติดได้จากผลของพีเอชที่เกิดกับสารถูกดูดติด นอกจากนั้นการปรับพีเอชทำให้เกิดการจับตัวและการตกตะกอนของสีย้อมบางส่วน ทำให้ผลการกำจัดสีเกิดขึ้นจากกลไกอื่นด้วย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงพิจารณาภาวะที่พีเอชปกติเมื่อสีย้อมละลายน้ำคือ พีเอช 7.7 และ 7.8 สำหรับสีรีแอกทีฟแดงและน้ำเงิน ตามลำดับ

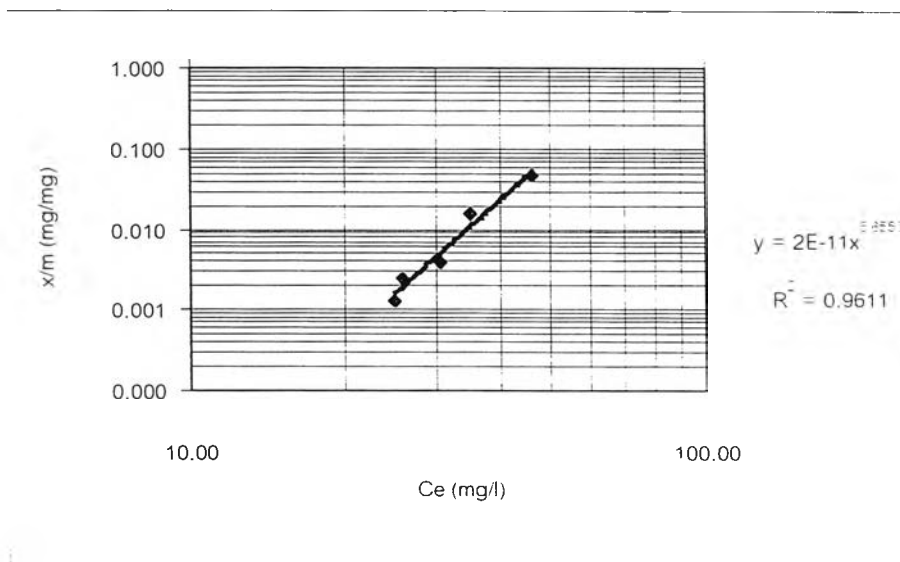
4.3.1 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง

4.3.1.1 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์พบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับฟรอนด์ลิตซ์ไอโซเทอมดังรูปที่ 4.23 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 2 \times 10^{-11} C_e^{5.66}$, $R^2 = 0.96$



(ก) มาตรฐานปกติ

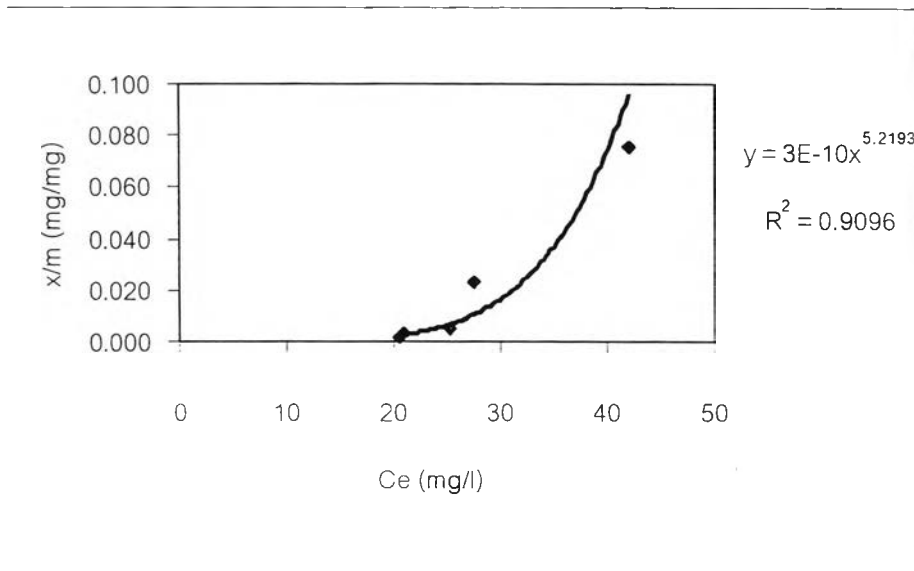


(ข) มาตรฐานลอการิทึม

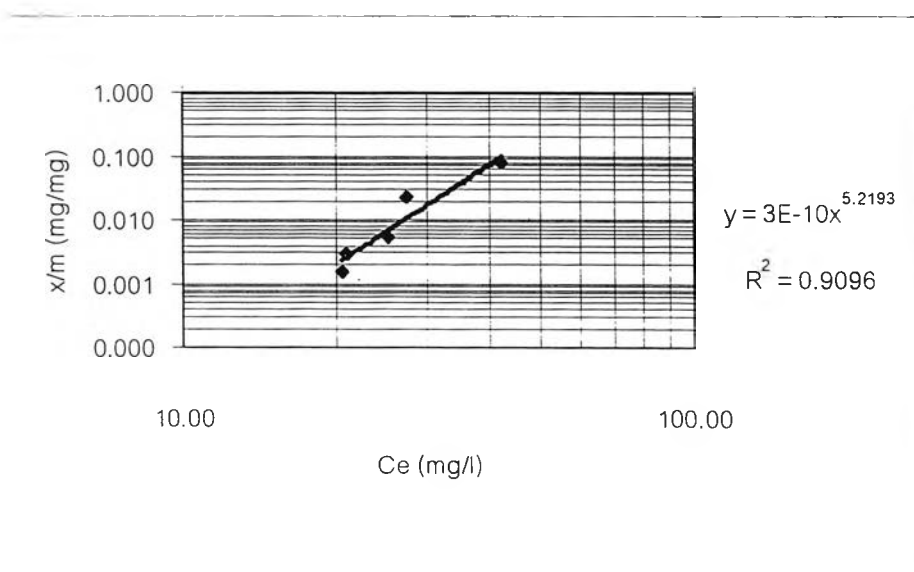
รูปที่ 4.23 ฟรอนตลิชไอโซเทอมของสรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซด์

4.3.1.2 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวพบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับฟรอนดลิสไอโซเทอมดังรูปที่ 4.24 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 3 \times 10^{-10} C_e^{5.22}$, $R^2 = 0.91$



(ก) มาตรฐานปกติ

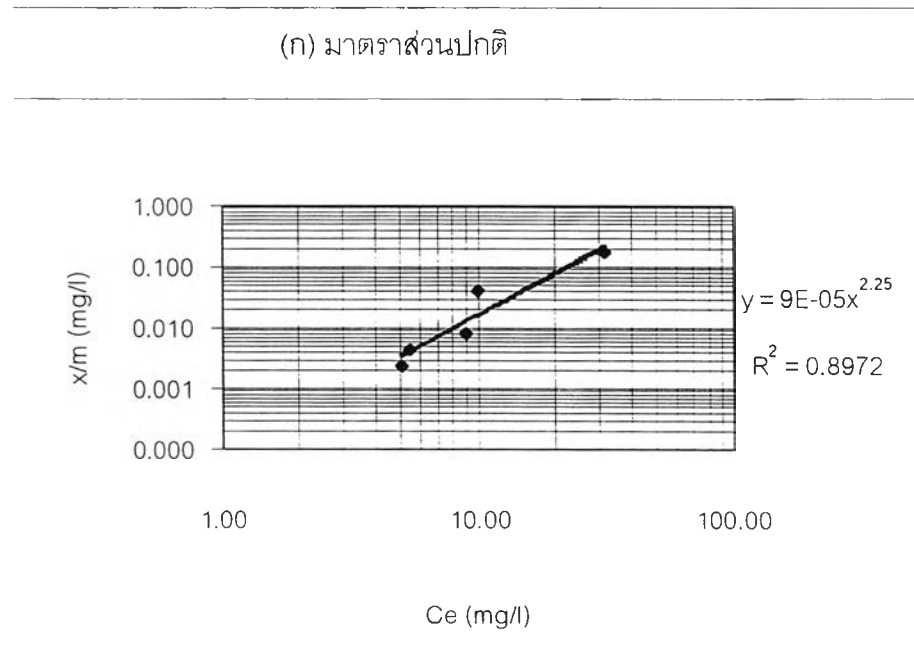
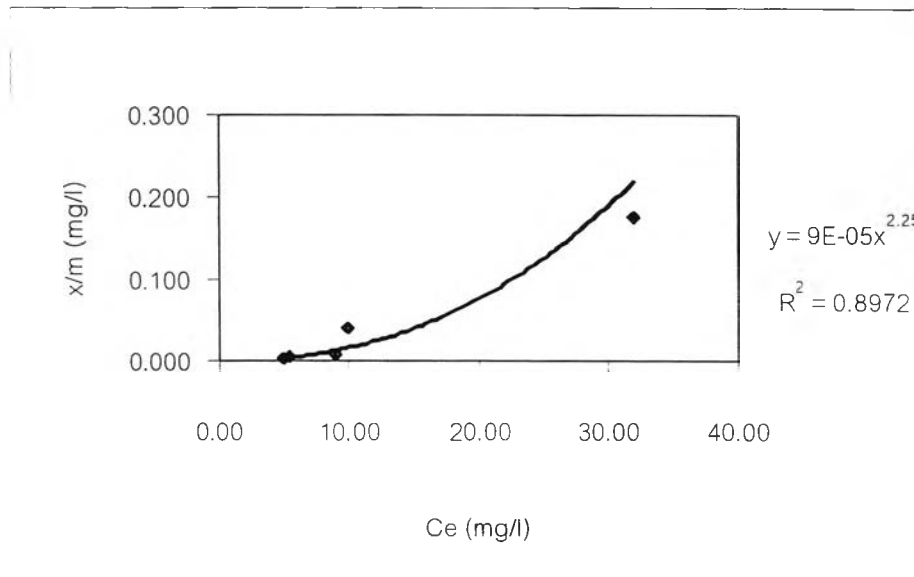


(ข) มาตรฐานลอการิทึม

รูปที่ 4.24 ฟรอนดลิสไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

4.3.1.3 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสรีรเอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

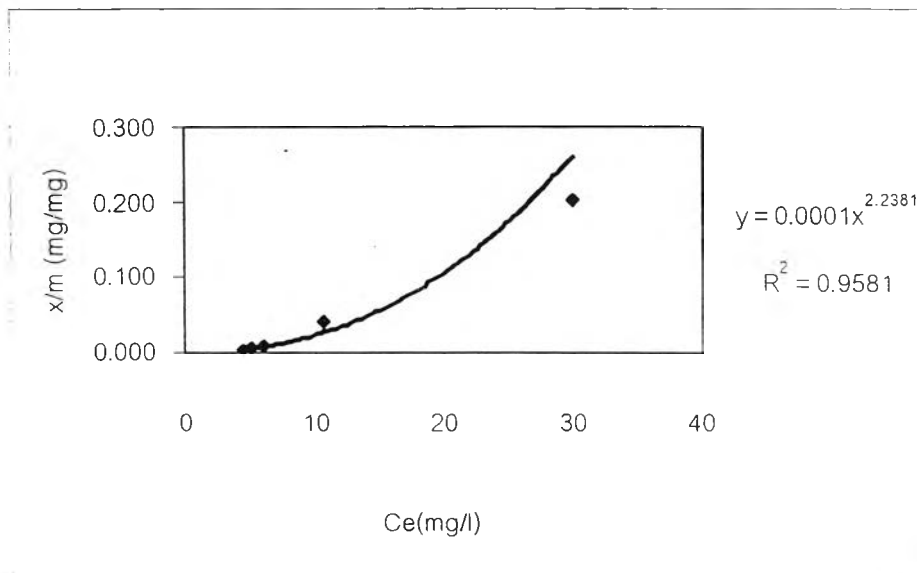
จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสรีรเอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 พบว่ามีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับฟรอนตลิชไอโซเทอมดังรูปที่ 4.25 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 9 \times 10^{-5} C_e^{2.25}$, $R^2 = 0.90$



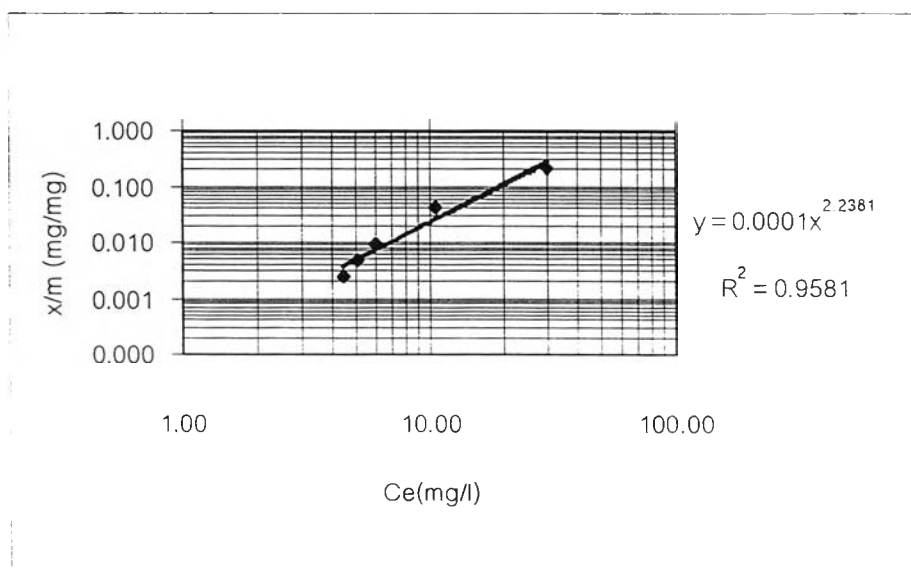
รูปที่ 4.25 ฟรอนตลิชไอโซเทอมของสรีรเอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

4.3.1.4 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสพบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับฟรอนตลิกไอโซเทอมดังรูปที่ 4.26 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณสีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงใน มาตรฐานลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 1 \times 10^{-4} C_e^{2.24}$, $R^2 = 0.96$



(ก) มาตรฐานปกติ



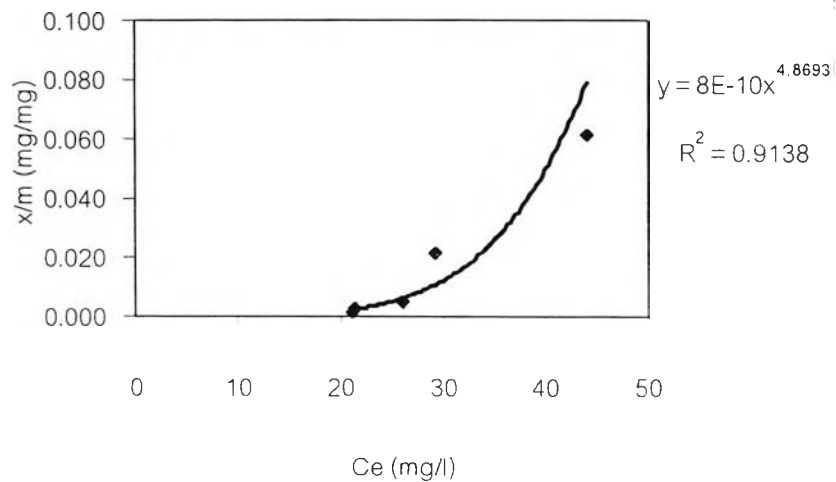
(ข) มาตรฐานลอการิทึม

รูปที่ 4.26 ฟรอนตลิกไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

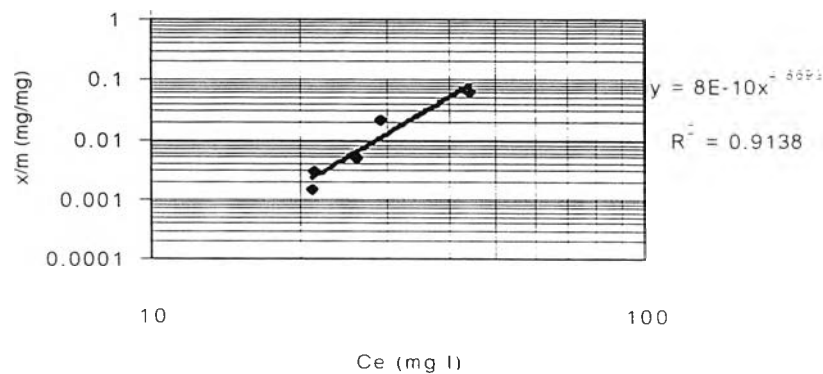
4.3.2 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน

4.3.2.1 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟแดง กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์พบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับฟรอนตลิชไอโซเทอมดังรูปที่ 4.27 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 8 \times 10^{-10} C_e^{4.87}$, $R^2 = 0.91$



(ก) มาตรฐานปกติ

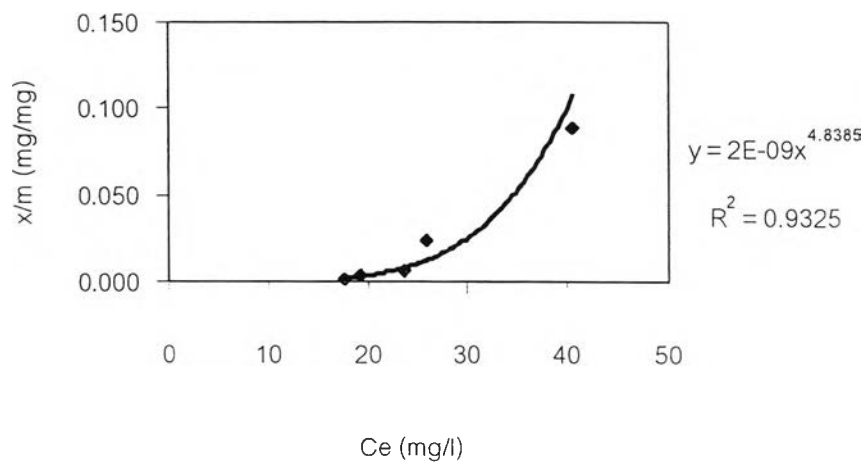


(ข) มาตรฐานลอการิทึม

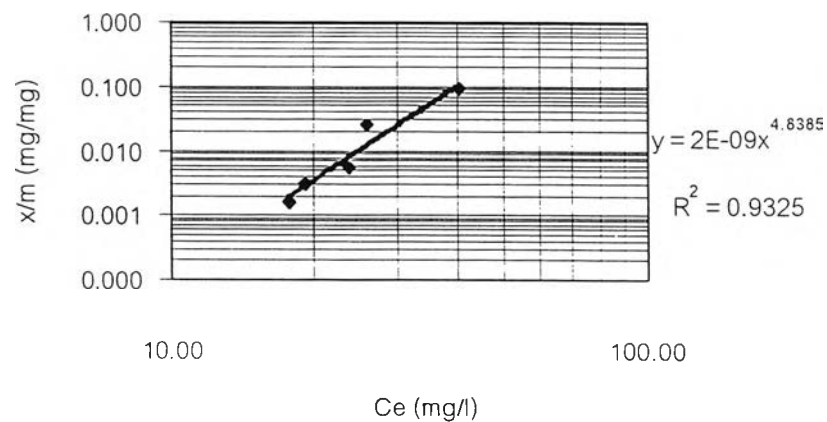
รูปที่ 4.27 ฟรอนตลิชไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์

4.3.2.2 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสรีแอกทีฟน้ำเงินกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับพหุนามดีกรี 4.28 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณสรีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 2 \times 10^{-9} C_e^{4.84}$, $R^2 = 0.93$



(ก) มาตราส่วนปกติ

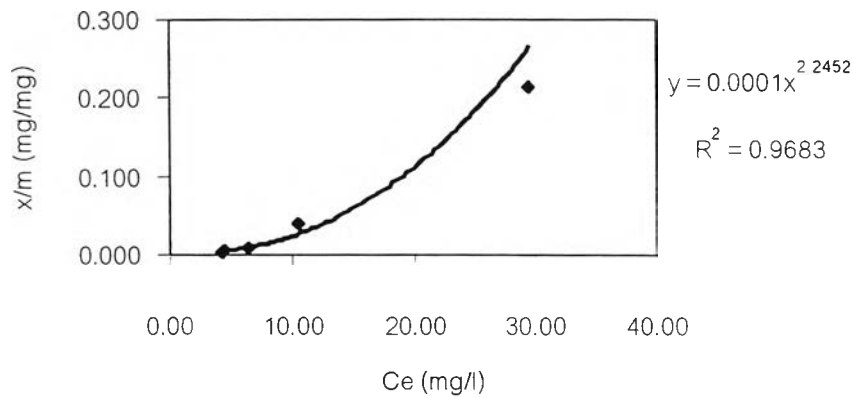


(ข) มาตราส่วนลอการิทึม

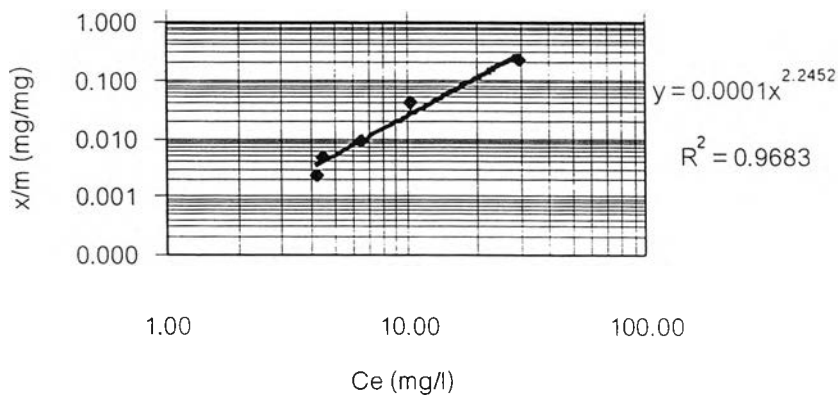
รูปที่ 4.28 พหุนามดีกรี 4.28 ของสรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1

4.3.2.3 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงินกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 พบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับฟรอนตลิชไอโซเทอมดังรูปที่ 4.29 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 1 \times 10^{-4} C_e^{2.25}$, $R^2 = 0.97$



(ก) มาตรฐานปกติ

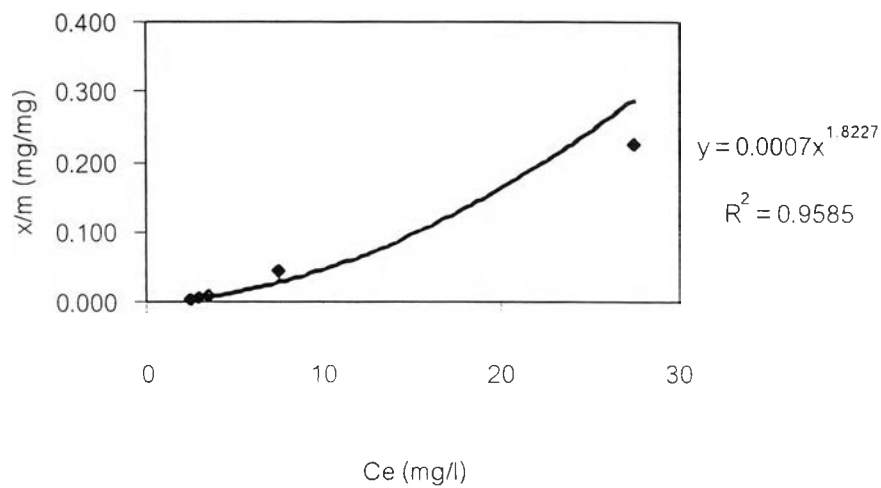


(ข) มาตรฐานลอการิทึม

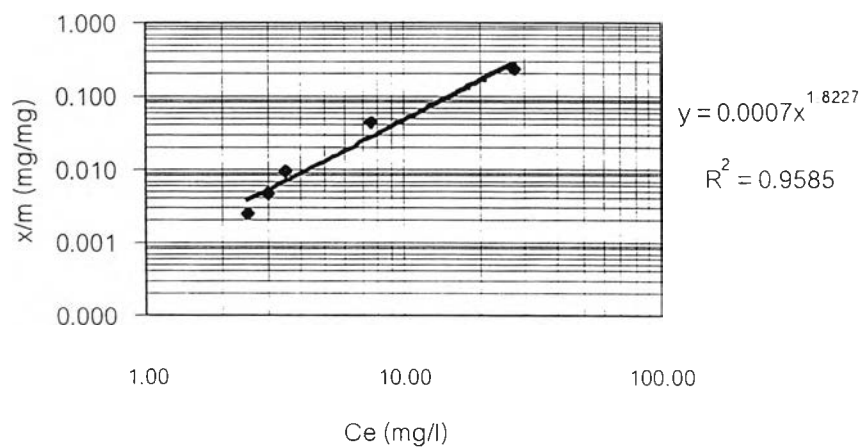
รูปที่ 4.29 ฟรอนตลิชไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2

4.3.2.4 ผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

จากผลการทดสอบไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสพบว่า มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับพหุนามไอโซเทอมดังรูปที่ 4.30 (ก) และ (ข) โดยที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (x/m) มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในมาตราส่วนลอการิทึมกับความเข้มข้นสีหลังการถูกดูดติดผิว (C_e) ดังสมการ $x/m = 7 \times 10^{-4} C_e^{1.82}$, $R^2 = 0.96$



(ก) มาตรฐานปกติ



(ข) มาตรฐานลอการิทึม

รูปที่ 4.30 พหุนามไอโซเทอมของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน กับถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

4.3.3 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอม

จากผลการทดลองการทดสอบไอโซเทอมข้างต้น พบว่าการดูดติดผิวบนคาร์บอนที่เกิดขึ้นสามารถหาความสัมพันธ์ตามฟรอนดลิชไอโซเทอมได้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7-4.14 และความจุของการดูดติดผิวดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 สมการฟรอนดลิชไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดสี

สีรีแอกทีฟ / ถ่านกัมมันต์	สีรีแอกทีฟแดง		สีรีแอกทีฟน้ำเงิน	
	สมการ	R ²	สมการ	R ²
แอนทราไซต์	$x/m = 2 \times 10^{-11} Ce^{5.66}$	0.96	$x/m = 8 \times 10^{-10} Ce^{4.87}$	0.91
กะลามะพร้าว 1	$x/m = 3 \times 10^{-10} Ce^{5.22}$	0.91	$x/m = 2 \times 10^{-9} Ce^{4.84}$	0.93
กะลามะพร้าว 2	$x/m = 9 \times 10^{-5} Ce^{2.25}$	0.90	$x/m = 1 \times 10^{-4} Ce^{2.25}$	0.97
ไม้ยูคาลิปตัส	$x/m = 1 \times 10^{-4} Ce^{2.24}$	0.96	$x/m = 7 \times 10^{-4} Ce^{1.82}$	0.96

สมการฟรอนดลิชไอโซเทอม $x/m = K_r Ce^{1/n}$

x/m = ความจุการดูดติดผิว (มก./มก.)

Ce = ความเข้มข้นสีย้อมที่สภาวะสมดุล (มก./ล.)

ตารางที่ 4.3 ความจุการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดสี ที่ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น (Co) 50 มก./ล. คงที่

ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (มก.)	ความจุการดูดติดผิวของสีรีแอกทีฟแดง (มก./มก.)					ความจุการดูดติดผิวของสีรีแอกทีฟน้ำเงิน (มก./มก.)				
	10	100	500	1000	2000	10	100	500	1000	2000
แอนทราไซต์	0.045	0.015	0.004	0.002	0.001	0.061	0.021	0.005	0.003	0.001
กะลามะพร้าว 1	0.075	0.023	0.005	0.003	0.002	0.089	0.024	0.005	0.003	0.002
กะลามะพร้าว 2	0.175	0.041	0.008	0.004	0.002	0.214	0.040	0.009	0.005	0.002
ไม้ยูคาลิปตัส	0.201	0.042	0.009	0.005	0.002	0.225	0.043	0.009	0.005	0.002

เมื่อพิจารณาค่าความจุของการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด พบว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสให้ค่าความจุของการดูดติดผิวทั้งสี่รีแอกทีฟแดงและน้ำเงินสูงที่สุด รองลงมาคือกะลามะพร้าว 2 กะลามะพร้าว 1 และแอนทราไทต์ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินสมบัติทางกายภาพที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุด และมีรูพรุนขนาดกลางที่ใกล้เคียงกับขนาดโมเลกุลที่ใช้ในการทดลองมากที่สุด จึงเกิดแรงวันเดอร์วาลส์ดึงดูดโมเลกุลสีจากทุกทิศทาง ทำให้ดูดติดผิวได้ดี (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978) ดังนั้นจึงเลือกถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส นำไปใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องต่อไป

ความจุการดูดติดผิวสี่รีแอกทีฟน้ำเงินจะสูงกว่าสีแดงทุกชนิดของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีขนาดและมวลโมเลกุลสูงกว่าทำให้ความสามารถในการละลายน้ำน้อยกว่าสีแดง แรงดูดติดผิวจากถ่านกัมมันต์จึงเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำและสีน้ำเงิน ได้มากกว่าสีแดง

ส่วนผลการตรวจสอบการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์ด้วย FTIR ดังแสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข.6 - ข.14 โดยเก็บตัวอย่างถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดที่ดูดติดสี ณ สภาวะสมดุล จากกระดาศกรองนำไปอบแห้ง พบว่าไม่สามารถพบพีคของสารที่ติดค้างอยู่ในรูพรุนของถ่านได้ เนื่องจากปริมาณสีที่ถูกดูดติดมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับผลกระทบที่เกิดจากสีดำของคาร์บอนในถ่าน ที่บังแสงจนไม่สามารถตรวจสอบการดูดติดสีด้วยถ่านกัมมันต์จากวิธี FTIR ได้ และทำให้ในการทดลองนี้ไม่สามารถอธิบายการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) ได้

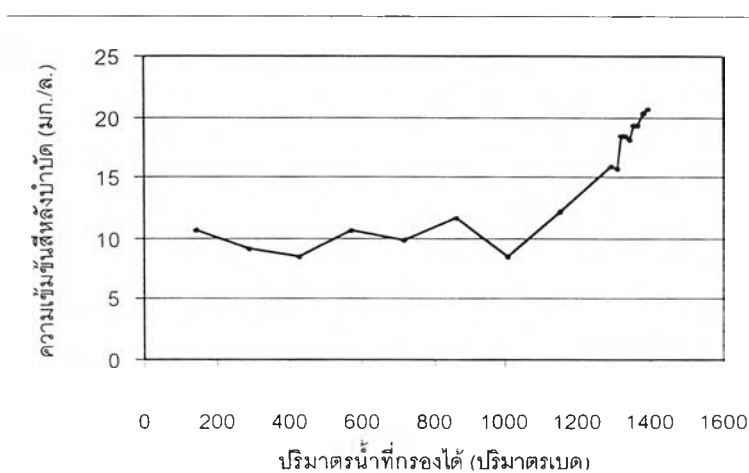
4.4 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง จะทำการร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 12 แล้วค้ำบนตะแกรงเบอร์ 20 จะได้ขนาดอนุภาค 0.42 - 1.68 มิลลิเมตร ขนาดสัมฤทธิ์ (Effective Size) เท่ากับ 0.405 และสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) เท่ากับ 1.95 ซึ่งผลการกระจายขนาดแสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 และรูปที่ ก.1

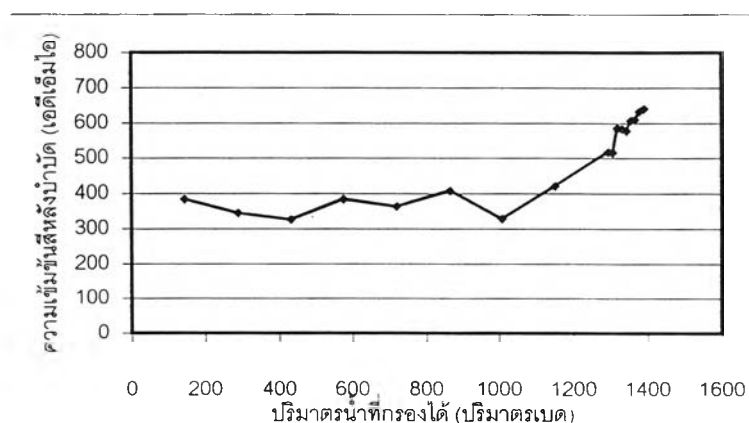
การทดสอบแบบต่อเนื่องจะใช้ถังดูดติดผิวแบบถังป้อนน้ำเสียแบบไหลลง (Down Flow) ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ 0.3 เมตร โดยแปรผันเวลาสัมผัสถึงเปล่า (Empty Bed Contact Time) 3 ค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง คือ 5 นาที สำหรับการผลิตน้ำประปา 10 นาที สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูง และ 15 นาที สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ (มันสิน ตันทูลเวศม์, 2539) และกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่เกิน 500 เอดีเอ็มไอเป็นเกณฑ์ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องแสดงโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัด (หน่วยเอดีเอ็มไอ) และปริมาตรน้ำที่กรองได้ (หน่วยปริมาตรเบด)

4.4.1 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

จากผลการใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟแดงที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 5 นาที หรือคิดเป็นอัตราการไหลน้ำเสียเท่ากับ 1.76 ลิตร / ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.31 พบว่า เมื่อเริ่มต้นกรองน้ำ จนถึงจุดเบรคทอร์จที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 1296 ปริมาตรเบต หรือเท่ากับ 190.85 ลิตร ได้ค่าประสิทธิภาพกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 68.38 เปอร์เซ็นต์ และได้ความเข้มข้นสีหลังการบำบัดก่อนการเบรคทอร์จอยู่ระหว่าง 326-421 เอดีเอ็มไอ หลังผ่านการกรองที่ 1296 ปริมาตรเบต อัตราการเพิ่มขึ้นของสียอมที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้นมาก สังเกตจากเส้นกราฟที่มีความชันมากขึ้น ดังนั้นระดับการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ที่ 1296 ปริมาตรเบต



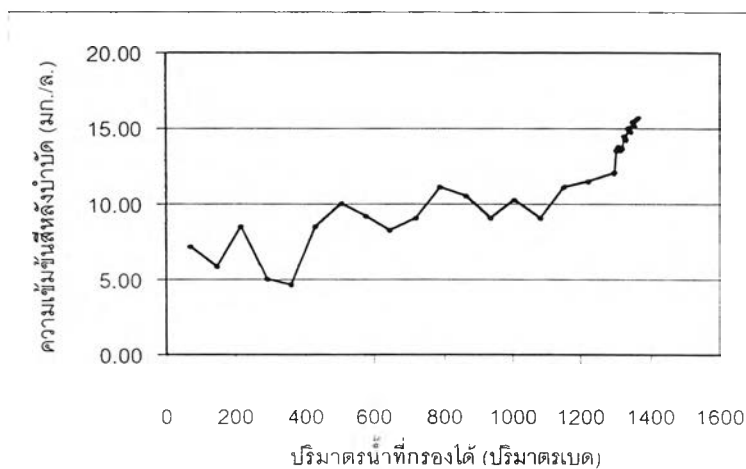
(ก)



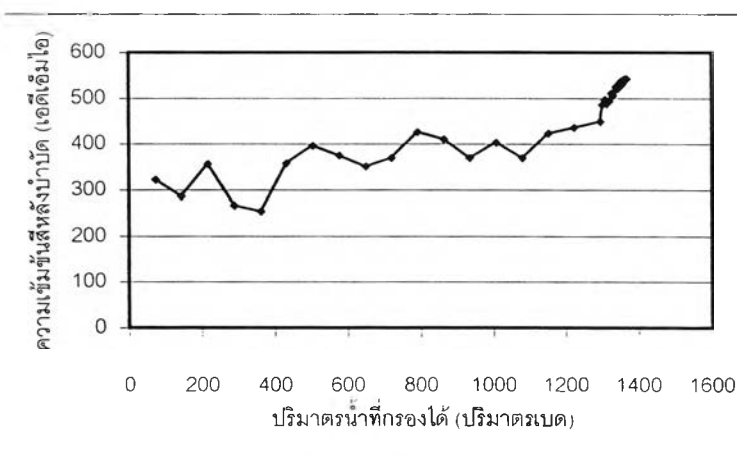
(ข)

รูปที่ 4.31 การทดสอบแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ในการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง (ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล., 1310 เอดีเอ็มไอ) เวลาสัมผัสถึงเปล่า 5 นาที

จากผลการใช้ถ่านกัมมันต์จากยุคาลิปตส์กำจัดสีรีแอกทีฟแดงที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 10 นาที หรือคิดเป็นอัตราการไหลน้ำเสียเท่ากับ 0.88 ลิตร / ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.32 พบว่า เมื่อเริ่มต้นกรองน้ำจนถึงจุดเบรคทอร์จที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 1326 ปริมาตรเบด หรือเท่ากับ 194.92 ลิตร ได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 70.92 เปอร์เซ็นต์ และได้ความเข้มข้นสีหลังการบำบัดก่อนการเบรคทอร์จอยู่ระหว่าง 296-492 เอดีเอ็มไอ หลังผ่านการกรองที่ 1326 ปริมาตรเบด อัตราการเพิ่มขึ้นของสียอมที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้นมาก สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันมากขึ้น ดังนั้นระดับการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ที่ 1326 ปริมาตรเบด



(ก)



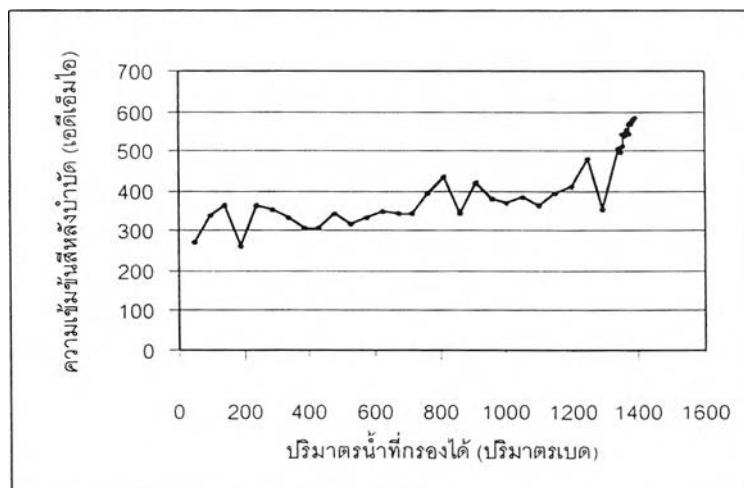
(ข)

รูปที่ 4.32 การทดสอบแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตส์ ในการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง (ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล., 1310 เอดีเอ็มไอ) เวลาสัมผัสถึงเปล่า 10 นาที

จากผลการใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟแดงที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที หรือคิดเป็นอัตราการไหลน้ำเสียเท่ากับ 0.59 ลิตร / ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.33 พบว่า เมื่อเริ่มต้นกรองน้ำจนถึงจุดเบรคทอร์จที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 1344 ปริมาตรเบด หรือเท่ากับ 197.57 ลิตร ได้ค่าประสิทธิภาพกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 72.11 เปอร์เซ็นต์ และได้ความเข้มข้นสีหลังการบำบัดก่อนการเบรคทอร์จอยู่ระหว่าง 262-498 เอดีเอ็มไอ หลังผ่านการกรองที่ 1344 ปริมาตรเบด อัตราการเพิ่มขึ้นของสีย้อมที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้นมาก สืบเนื่องจากเส้นกราฟมีความชันมากขึ้น ดังนั้นระดับการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ที่ 1344 ปริมาตรเบด



(ก)

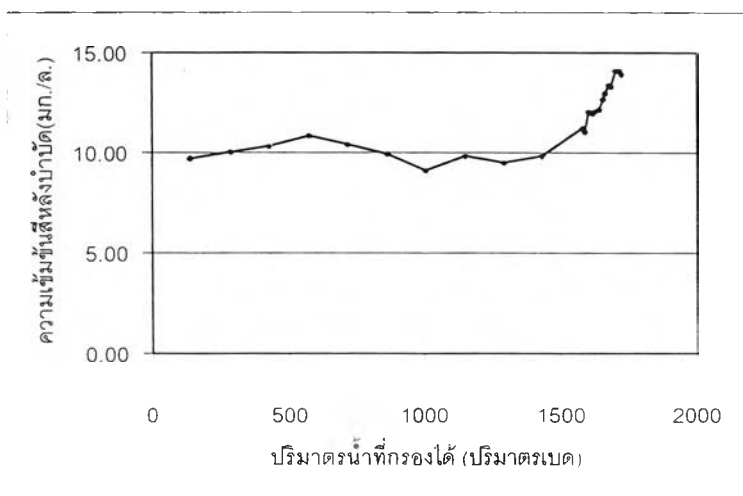


(ข)

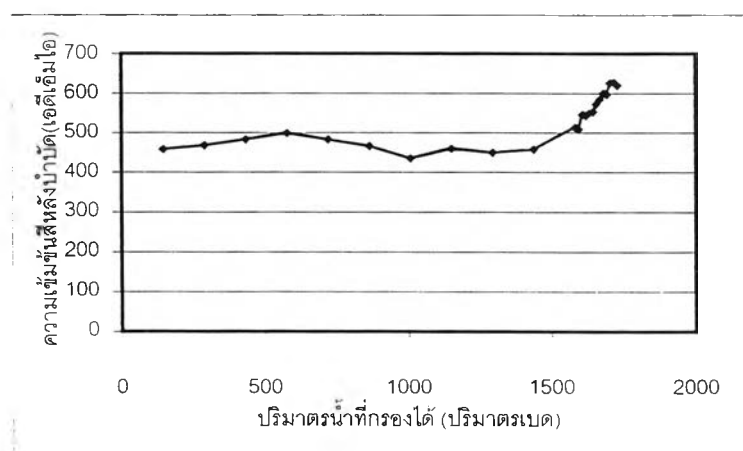
รูปที่ 4.33 การทดสอบแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ในการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง (ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล., 1310 เอดีเอ็มไอ) เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที

4.4.2 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส

จากผลการใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 5 นาที หรือคิดเป็นอัตราการไหลน้ำเสียเท่ากับ 1.76 ลิตร / ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.34 พบว่า เมื่อเริ่มต้นกรองน้ำจนถึงจุดเบรคทอร์จที่มีปริมาตรการกรองเท่ากับ 1584 ปริมาตรเบด หรือเท่ากับ 232.85 ลิตร ได้ค่าประสิทธิผลการกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 77.13 เปอร์เซ็นต์ และได้ความเข้มข้นสีหลังการบำบัดก่อนการเบรคทอร์จอยู่ระหว่าง 433-458 เอดีเอ็มไอ หลังผ่านการกรองที่ 1584 ปริมาตรเบด อัตราการเพิ่มขึ้นของสียอมที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้นมาก สังเกตจากเส้นกราฟมีความชันมากขึ้น ดังนั้นระดับการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ที่ 1584 ปริมาตรเบด



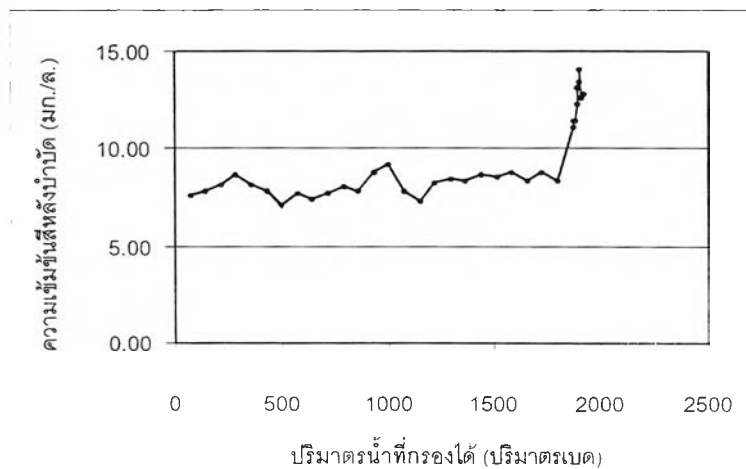
(ก)



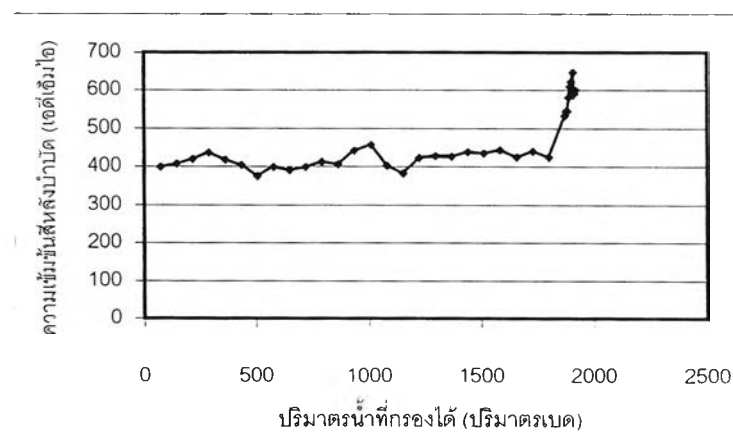
(ข)

รูปที่ 4.34 การทดสอบแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ในการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน (ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล., 2244 เอดีเอ็มไอ) เวลาสัมผัสถึงเปล่า 5 นาที

จากผลการใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 10 นาที หรือคิดเป็นอัตราการไหลน้ำเสียเท่ากับ 0.88 ลิตร /ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.35 พบว่า เมื่อเริ่มต้นกรองน้ำจนถึงจุดเบรคทอร์จที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 1782 ปริมาตรเบต หรือเท่ากับ 261.95 ลิตร ได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 79.94 เปอร์เซ็นต์ และได้ความเข้มข้นสีหลังการบำบัดก่อนการเบรคทอร์จอยู่ระหว่าง 373-424 เอดีเอ็มไอ หลังผ่านการกรองที่ 1782 ปริมาตรเบต อัตราการเพิ่มขึ้นของสียอมที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้นมาก สืบเนื่องจากเส้นกราฟมีความชันมากขึ้น ดังนั้นระดับการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ที่ 1782 ปริมาตรเบต



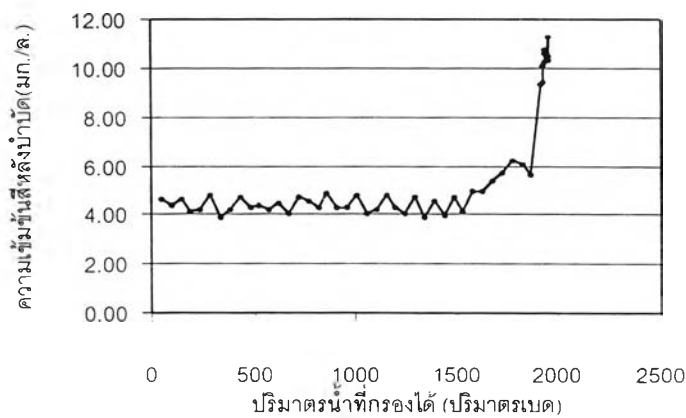
(ก)



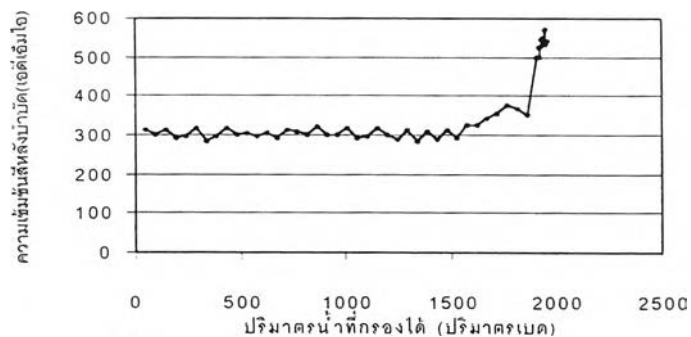
(ข)

รูปที่ 4.35 การทดสอบแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ในการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน (ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล., 2244 เอดีเอ็มไอ) เวลาสัมผัสถึงเปล่า 10 นาที

จากผลการใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที หรือคิดเป็นอัตราการไหลน้ำเสียเท่ากับ 0.59 ลิตร /ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.36 พบว่า เมื่อเริ่มต้นกรองน้ำจนถึงจุดเบรคทอร์จที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 1928 ปริมาตรเบด หรือเท่ากับ 283.42 ลิตร ได้ค่าประสิทธิผลการกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 86 เปอร์เซ็นต์ และได้ความเข้มข้นสีหลังการบำบัดก่อนการเบรคทอร์จอยู่ระหว่าง 253-499 เอดีเอ็มไอ หลังผ่านการกรองที่ 1928 ปริมาตรเบด อัตราการเพิ่มขึ้นของสียอมที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้นมาก สืบเนื่องจากเส้นกราฟมีความชันมากขึ้น ดังนั้นระดับการปฏิบัติงานที่เหมาะสมอยู่ที่ 1928 ปริมาตรเบด



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.36 การทดสอบแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัส ในการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงิน (ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มก./ล., 2244 เอดีเอ็มไอ) เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที

4.4.3 สรุปผลการทดสอบแบบต่อเนื่องในการกำจัดสีย้อม ด้วยถ่านกัมมันต์จาก- ไม้ยูคาลิปตัส

สรุปผลการทดสอบแบบต่อเนื่องในการกำจัดสีย้อม ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส
แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดสอบแบบต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	สีรีแอกทีฟแดง			สีรีแอกทีฟน้ำเงิน		
	เวลาสัมผัสถึงเปล่า (นาที)			เวลาสัมผัสถึงเปล่า (นาที)		
	5	10	15	5	10	15
พีเอชก่อนการบำบัด	7.7-7.8	7.7-7.8	7.7-7.8	7.8-7.9	7.7-7.9	7.7-7.9
พีเอชหลังการบำบัด	7.7-7.9	7.7-8.0	7.7-7.9	7.8-8.0	7.7-8.0	7.8-8.0
ความเข้มข้นสีก่อนการบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	1103 - 1351	891 - 1438	1083 - 1635	1955 - 2127	1955 - 2248	1954 - 2290
ความเข้มข้นสีหลังการบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	326 - 421	296 - 492	262 - 498	433 - 458	373 - 424	253 - 499
ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%), ช่วง (ค่าเฉลี่ย)	67 - 69 (68.38)	68 - 71 (70.92)	71 - 73 (72.11)	76 - 78 (77.13)	78 - 83 (79.94)	84 - 88 (86.00)
ปริมาณน้ำที่กรองได้จนสีรั่วผ่าน (ปริมาตรเบด)	1296	1326	1344	1584	1782	1928

จากผลการทดสอบแบบต่อเนื่องพบว่า เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟแดงที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที ให้ปริมาณน้ำที่กรองได้จนถึงจุดเบรคทอร์จมากที่สุด รองลงมาคือ 10 นาที และ 5 นาทีตามลำดับ แสดงว่าภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีรีแอกทีฟแดงอยู่ที่ 1344 ปริมาตรเบดที่ 15 นาที หรืออัตราการไหลเท่ากับ 0.59 ลิตร/ชั่วโมง และอัตราการระบรทุกทางน้ำเท่ากับ 1.2 ม³/ม².ซม.

เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากยูคาลิปตัสกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที ให้ปริมาณน้ำที่กรองได้จนถึงจุดเบรคทอร์จมากที่สุด รองลงมาคือ 10 นาที และ 5 นาทีตามลำดับ แสดงว่าภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีรีแอกทีฟน้ำเงินอยู่ที่ 1928 ปริมาตรเบดที่ 15 นาที หรืออัตราการไหลเท่ากับ 0.59 ลิตร/ชั่วโมง และอัตราการระบรทุกทางน้ำเท่ากับ 1.2 ม³/ม².ซม. ซึ่งสีน้ำ

เงินให้ค่าความจุการดูดติดผิวของไม้ยูคาลิปตัสมากกว่าสีแดงทำให้สามารถรองน้ำได้มากกว่า และได้ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดีกว่าสีแดงทุกเวลาสัมผัสถึงเปล่า

4.5 การนำไปใช้งานจริง

จากผลการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีรีแอกทีฟแดง และน้ำเงิน ในการบำบัดน้ำเสียต่อเนื่องจากการบำบัดทางชีวภาพได้ โดยการออกแบบใช้เวลาสัมผัสถึงเปล่า 15 นาที (อัตราการระบรทุกทางน้ำเท่ากับ $1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{ชม.}$) จะทำให้ได้ปริมาณน้ำที่กรองและประสิทธิภาพสูงที่สุด และถ่านกัมมันต์ที่ใช้ควรมีปริมาณรูพรุนขนาดกลางจำนวนมากจึงจะเหมาะสมกับการกำจัดสีรีแอกทีฟ แต่ทั้งนี้ น้ำเสียจริงแต่ละโรงงานมีความหลากหลาย และประสิทธิภาพของหน่วยบำบัดชั้นต่างๆ แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องนำมาหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการทดสอบแบบแบดซ์และคอลัมน์ดังเช่นการทดลองนี้ก่อน จึงจะได้หน่วยบำบัดสีย้อมที่เหมาะสมกับน้ำเสียนั้นๆ