

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบกระบวนการย่อยสลายสี

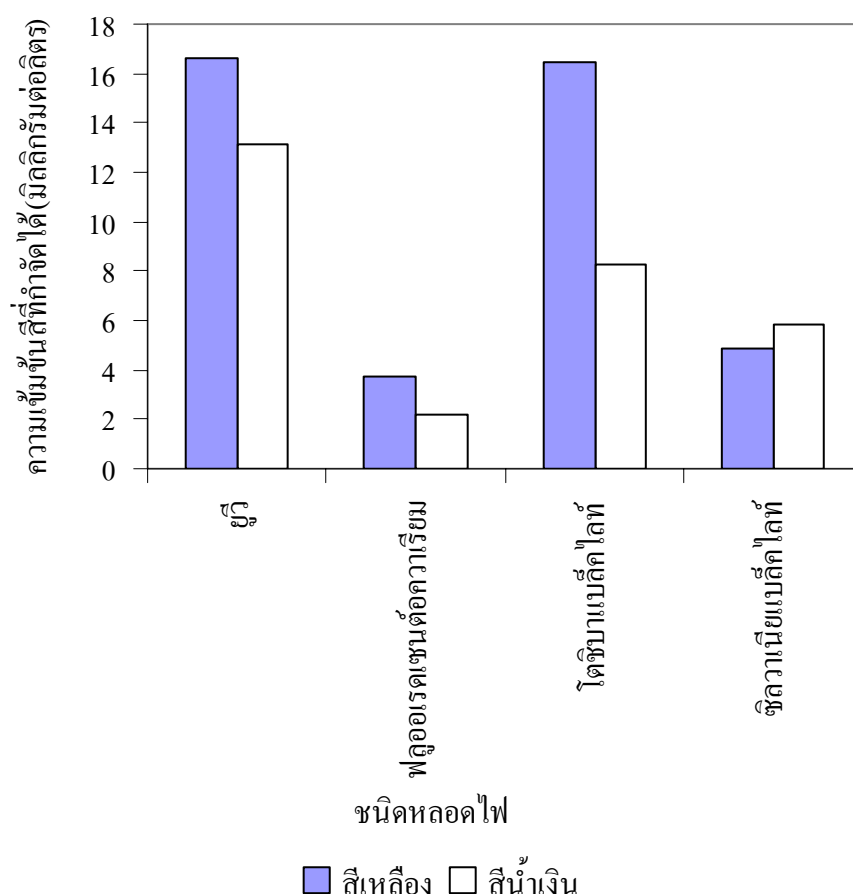
1.1 ผลของชนิดหลอดไฟต่อการย่อยสลายสีข้อม

จากภาพที่ 12 แสดงผลของชนิดหลอดไฟต่อความสามารถในการย่อยสลายสีข้อมสีเหลือง และสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 3 เมื่อมีการเติมอากาศ ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) 0.08 กรัมต่อลิตร และใช้หลอดไฟต่างชนิดกันฉายแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของสีข้อมสีเหลืองที่กำจัดได้หลังจากฉายแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อทดสอบกับหลอดไฟยูวีและหลอดไฟโตชิบาแบล็คไลท์ มีค่าเป็น 16.66 และ 16.43 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีที่ 59.67 และ 61.72 ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาทดสอบกับหลอดไฟซิลวาเนียแบล็คไลท์ และ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ดอกควาเรียนความเข้มข้นสีเหลืองที่กำจัดได้มีค่าเป็น 4.9 และ 3.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีที่ 20.38 และ 14.9 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก ช่วงของความยาวคลื่นของหลอดไฟแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ทำให้มีความสามารถในการกำจัดสีมีค่าแตกต่างกัน กล่าวคือ หลอดไฟโตชิบาแบล็คไลท์มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 300 ถึง 400 นาโนเมตร โดยมีความเข้มแสงสูงสุดที่ 350 นาโนเมตร (ภาพผนวกที่ ก4) ซึ่งแตกต่างกับหลอดไฟยูวีที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 100 ถึง 300 นาโนเมตร โดยมีความเข้มแสงสูงสุดที่ 270 นาโนเมตร (ภาพผนวกที่ ก5) หลอดไฟซิลวาเนียแบล็คไลท์ มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 300 ถึง 400 นาโนเมตร (ภาพผนวกที่ ก6) โดยที่ความเข้มแสงสูงสุดที่ 350 นาโนเมตร (ภาพผนวกที่ ก6) และ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ดอกควาเรียนมีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 300 ถึง 700 นาโนเมตร โดยมีความเข้มข้นสูงสุดที่ 450 นาโนเมตร (ภาพผนวกที่ ก7)

ส่วนการทดสอบการย่อยสลายสีน้ำเงิน กับหลอดไฟชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 3 เมื่อมีการเติมอากาศ และ เติมตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) พบว่า ความเข้มข้นสีข้อมสีน้ำเงินที่กำจัดได้หลังจากฉายแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่ทดสอบกับหลอดไฟยูวีและหลอดไฟโตชิบาแบล็คไลท์ มีค่าเป็น 13.1 และ 8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีที่ 38 และ 28 ตามลำดับ แต่ในหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ดอกควาเรียนและหลอดไฟซิลวาเนียแบล็คไลท์ความเข้มข้นสีข้อมสีน้ำเงินที่กำจัดได้ คือ 5.8 และ 2.2

มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การย่อยสีที่ 17.97 และ 7.64 ตามลำดับ ซึ่งให้เหตุผลเช่นเดียวกับการย่อยสลายสีเหลือง

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดของสีเหลืองกับสีน้ำเงิน พบว่าความเข้มข้นสีน้ำเงินกำจัดได้น้อยกว่าสีเหลืองในทุกชนิดของหลอดไฟ เนื่องจากโครงสร้างของสีเหลือง เป็นโมโนเอโซ การที่หมู่ไฮดรอกซิลเรดิคอล จะเข้าไปทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสีน้ำเงินที่มีโครงสร้างเป็นแอนทราควินโนนซึ่งเกาะกันอย่างเป็นระเบียบมากกว่าสีเหลือง ทำให้สีเหลืองจึงถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าสีน้ำเงิน ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับลัดดา (2546) ทดสอบการกำจัดสีรีแอกทีฟเยลโล่ 17 และสีรีแอกทีฟบลู 19 ด้วยกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงโดยใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์



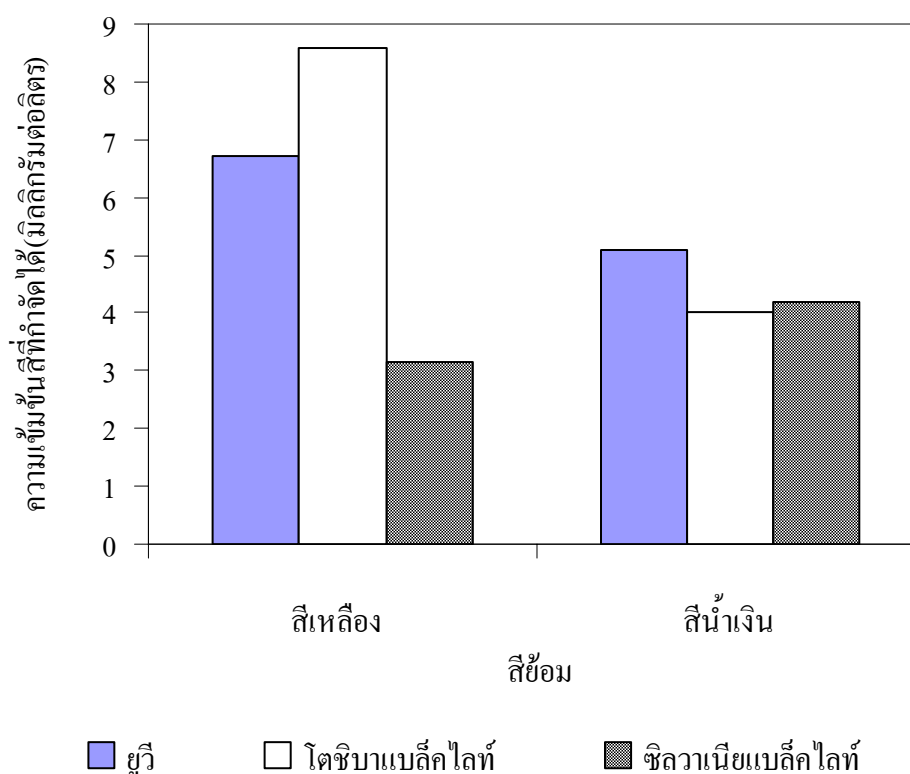
ภาพที่ 12 ผลของชนิดหลอดไฟต่อความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมสีเหลืองและสีน้ำเงิน ที่พี

เอช 3 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

1.2 ผลของเติมอากาศต่อการย่อยสลายสีย้อม

ภาพที่ 13 แสดงผลให้อากาศต่อการย่อยสลายสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยใช้หลอดไฟยูวี หลอดไฟโตชิบาแบบลึคไลท์ และหลอดไฟซิลวาเนียแบบลึคไลท์ เป็นแหล่งกำเนิดแสง ที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 3 และมีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการกำจัดสีเหลืองจะลดลงตามชนิดแหล่งกำเนิดแสงเป็นไปตามลำดับดังนี้ คือ หลอดไฟโตชิบาแบบลึคไลท์ > หลอดไฟยูวี > หลอดไฟซิลวาเนียแบบลึคไลท์ ซึ่งแสดงเป็นความเข้มข้นสีที่กำจัดได้คือ 8.57 6.71 และ 3.14 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ส่วนการย่อยสลายสีน้ำเงินก็จะให้ผลการย่อยสลายสีของหลอดไฟตามลำดับดังนี้คือ หลอดไฟยูวี > หลอดไฟซิลวาเนียแบบลึคไลท์ > หลอดไฟโตชิบาแบบลึคไลท์ ซึ่งแสดงเป็นความเข้มข้นสีที่กำจัดได้คือ 5.1 4.2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะพบว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีของสีเหลืองและสีน้ำเงิน แตกต่างกันประมาณ 1 เท่า แสดงให้เห็นว่าสีเหลืองจะย่อยสลายได้ง่ายกว่าสีน้ำเงินดังเหตุผลกล่าวไว้ในหัวข้อ 1.1

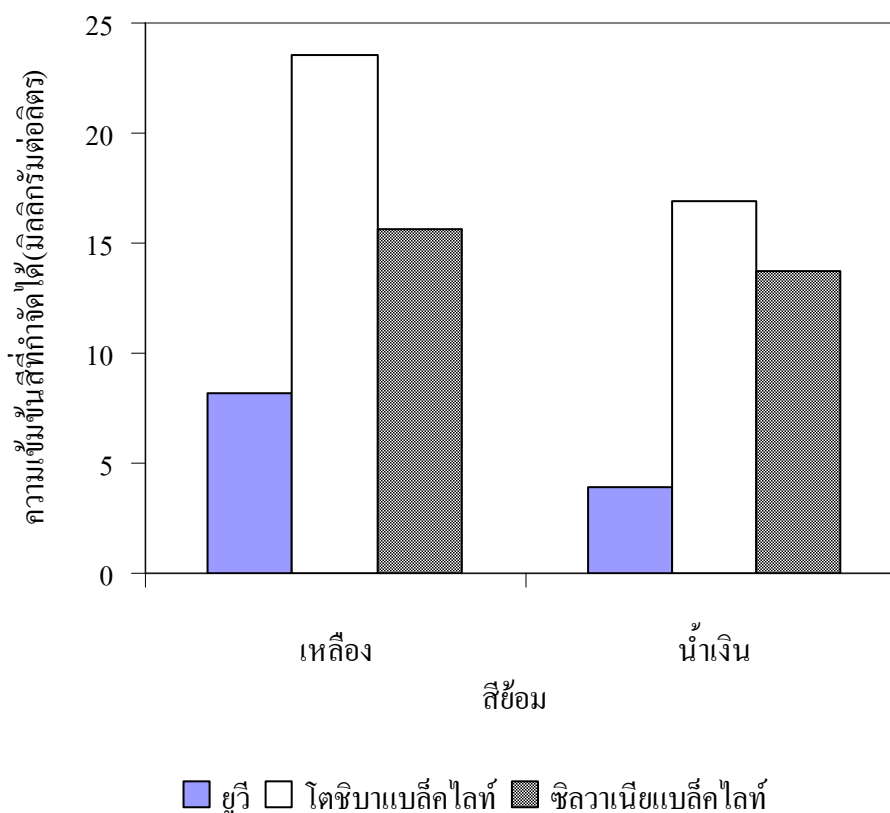


ภาพที่ 13 ผลการให้อากาศต่อการย่อยสลายสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยใช้หลอดไฟ 3 ชนิดเป็นแหล่งกำเนิดแสง

1.3 ผลการครอบไฟเร็กต่อการย่อยสลายสีข้อม

จากภาพที่ 14 แสดงผลชนิดหลอดไฟต่อการย่อยสลายสีเหลือง และสีน้ำเงิน เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) ฟ่นอากาศ และครอบไฟเร็กเมื่อทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการเลือกภาชนะสำหรับทำเครื่องปฏิกรณ์ เนื่องจากปกติภาชนะที่ข้อมให้แสงยูวีผ่านคือภาชนะที่ทำจากควอซ์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงทดลองปิดด้วยไฟเร็ก เพื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า 280 นาโนเมตรผ่านได้ จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการย่อยสลายสีเรียงตามลำดับดังนี้ คือ หลอดไฟโดชิบาแบล็คไลท์ > หลอดไฟซิลวาเนียแบล็คไลท์ > หลอดไฟยูวี สาเหตุที่หลอดไฟโดชิบาแบล็คไลท์และหลอดไฟซิลวาเนียแบล็คไลท์ ทำงานได้ดีกว่าหลอดยูวี เนื่องจากหลอดไฟทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นหลอดไฟแบล็คไลท์ที่มีช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งสามารถส่องผ่านไฟเร็กได้ (Hamamatsu, 2549)

ส่วนการทดสอบผลการย่อยสลายในสีน้ำเงิน โดยทดสอบด้วยวิธีการครอบไฟเร็ก และการเติมอากาศ และเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ผลเช่นเดียวกับสี เหลือง กล่าวคือ หลอดไฟโตชิบาแบล็คไลท์ > หลอดไฟซิลวาเนียแบล็คไลท์ > หลอดยูวี



ภาพที่ 14 ผลของชนิดหลอดไฟ ต่อการย่อยสลายสีเหลืองและสีน้ำเงินเมื่อมีการพ่นอากาศ และครอบไฟเร็ก เมื่อทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตอนที่ 2 การทดสอบหาสภาวะเหมาะสมในการย่อยสลายสีแบบไม่ต่อเนื่อง

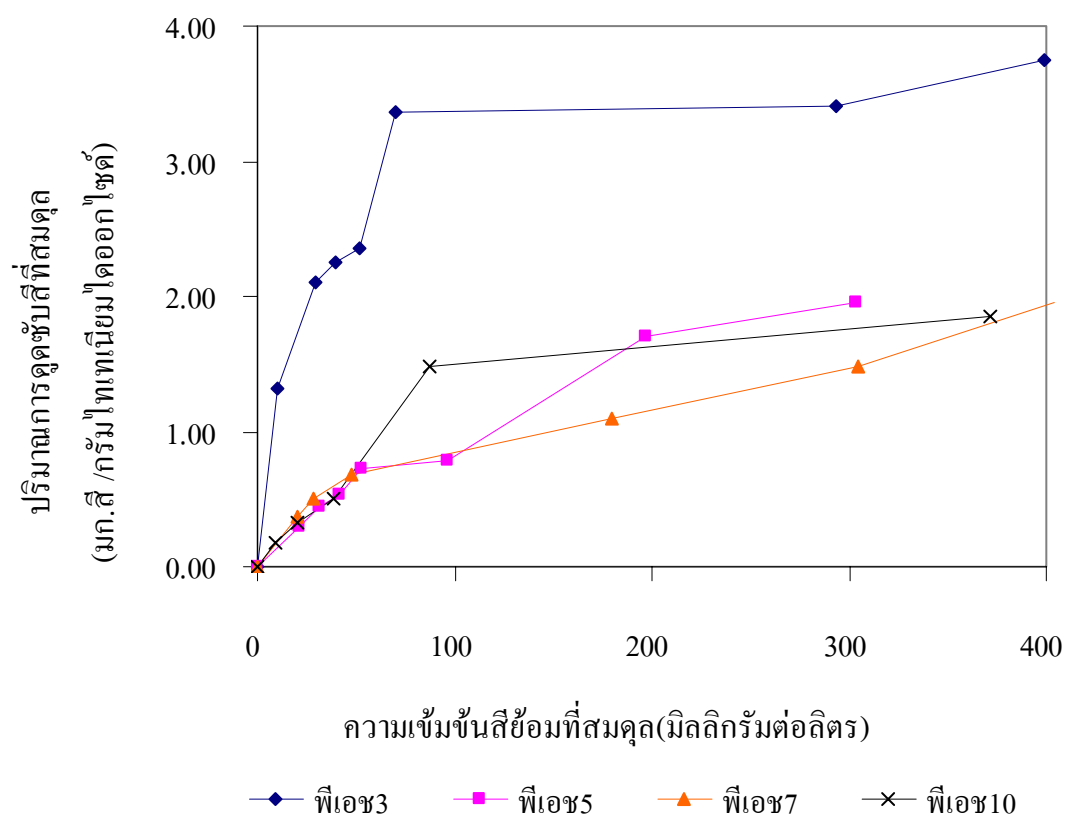
2.1 ผลการดูดซับสี

ผลการดูดซับสีชิบาร์คอนเรดที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) เป็นตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 15 จากภาพที่ 15 พบว่าชิบาร์คอนเรดสามารถดูดซับบนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) ได้ดีที่พีเอช 3 ซึ่งมีค่าความสามารถการดูดซับ 3.55 มิลลิกรัมของสีต่อกรัมของไทเทเนียมไดออกไซด์ ส่วนที่พีเอช 5 10 และ 7 มีค่าความ

สามารถการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 3.24 2.34 และ 1.88 มิลลิกรัมสีต่อกรัมของไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 2) ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับ Sakthivel *et al.* (2003) ในการทดสอบ การดูดซับสีแอซิคบราว 14 (Acid Brown 14) พบว่า พีเอชที่ให้ค่าความสามารถการดูดซับสีที่มากที่สุดเท่ากับ พีเอช 3 เช่นเดียวกัน เนื่องจากกลไกการดูดซับขึ้นอยู่กับประจุที่ผิวของอนุภาค โดยประจุที่ผิวของอนุภาคขึ้นกับพีเอชของสารละลาย คือเมื่อพีเอช ของสารละลายมีค่าน้อยกว่า 6.9 จะทำให้ประจุที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเป็นบวก ดังสมการที่ (37) และที่พีเอช มากกว่า 6.9 จะทำให้ประจุที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเป็นลบ ดังสมการที่ (38) ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์โดยทั่วไปมีจุดประจุศูนย์เท่ากับ 6.9

จากการทดลองเมื่อพีเอชของสารละลายเป็น 3 ประจุที่ผิวของอนุภาคเป็นบวก ขณะเดียวกันที่สีชิบาร์คอนเรดซึ่งมีโครงสร้างที่มีหมู่ซัลโฟเนตเป็นองค์ประกอบ ทำให้เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ประจุเป็นลบ ทำให้ความสามารถในการดูดซับที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดี แต่เมื่อ พีเอช 5 ความเข้มข้นของโปรตอนในสารละลายมีค่าต่ำกว่าที่พีเอช 3 ทำให้ความเป็นประจุที่ผิวของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าลดลง ทำให้สีย้อมดูดซับได้น้อยลง และเมื่อพีเอช เป็น 7 ประจุที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นลบ ทำให้ดูดซับสีได้น้อยลงเช่นเดียวกับที่พีเอช 10

ในการหาแบบจำลองการดูดซับใช้แบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ดังแสดงด้วยสมการที่ (5) และ (7) ตามลำดับ ในตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่ของการดูดซับตามแบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิช จากตารางที่ 2 พบว่า แบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์มีความเหมาะสมในการอธิบายการดูดซับมากกว่าแบบจำลองการดูดซับของฟรุนดลิช เนื่องจากให้ ค่า R^2 เข้าใกล้หนึ่ง ค่าคงที่ในการดูดซับของแลงเมียร์ (K_L) มีค่าเท่ากับ 0.201 0.015 0.023 และ 0.020 กรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 5 7 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลการดูดซับเช่นเดียวกับการดูดซับ สีไดเร็กเทิล 12 (Direct Yellow 12, Toor *et al.*, 2006) บนไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) ซึ่งพบว่าที่พีเอช 4.5 6.8 และ 8 มีค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ เท่ากับ 1.75 0.529 และ 0.1538 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าคงที่การดูดซับสีชิบาร์คอนเรดต่ำกว่า ค่าคงที่การดูดซับสีไดเร็กเทิล 12 เนื่องจาก ขนาดอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carlo Erba) มีขนาดอนุภาคประมาณ 400 ถึง 500 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) ซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 20 ถึง 30 นาโนเมตร



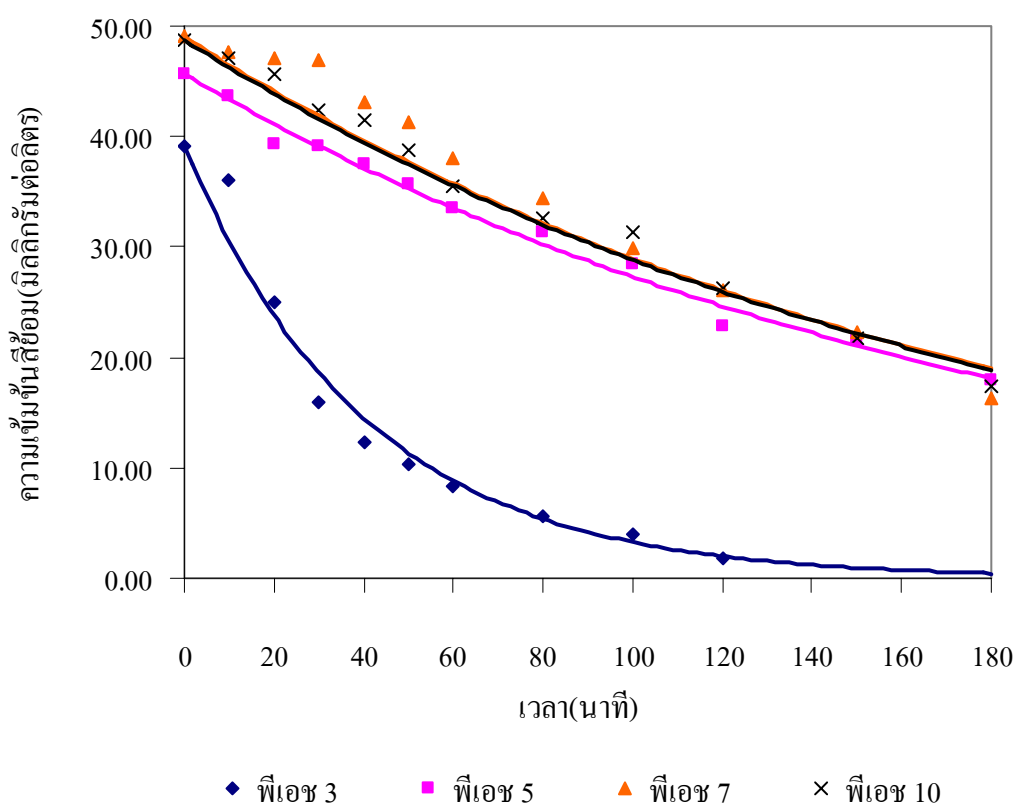
ภาพที่ 15 การดูดซับสีชิบาร์คอนเรดที่ฟิชเชสต่างๆ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) เป็นตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของการดูดซับตามแบบจำลองแลงเมียร์และฟรุนดลิช

ฟิชเชส	แบบจำลองแลงเมียร์			แบบจำลองฟรุนดลิช		
	Q (มก./กรัม)	K_a (กรัมต่อลิตร)	R^2	K_F	n	R^2
3	3.55	0.201	0.92	0.84	3.80	0.86
5	3.24	0.015	0.97	0.04	1.42	0.96
7	1.88	0.023	0.99	0.08	1.93	0.98
10	2.34	0.020	0.98	0.05	1.49	0.91

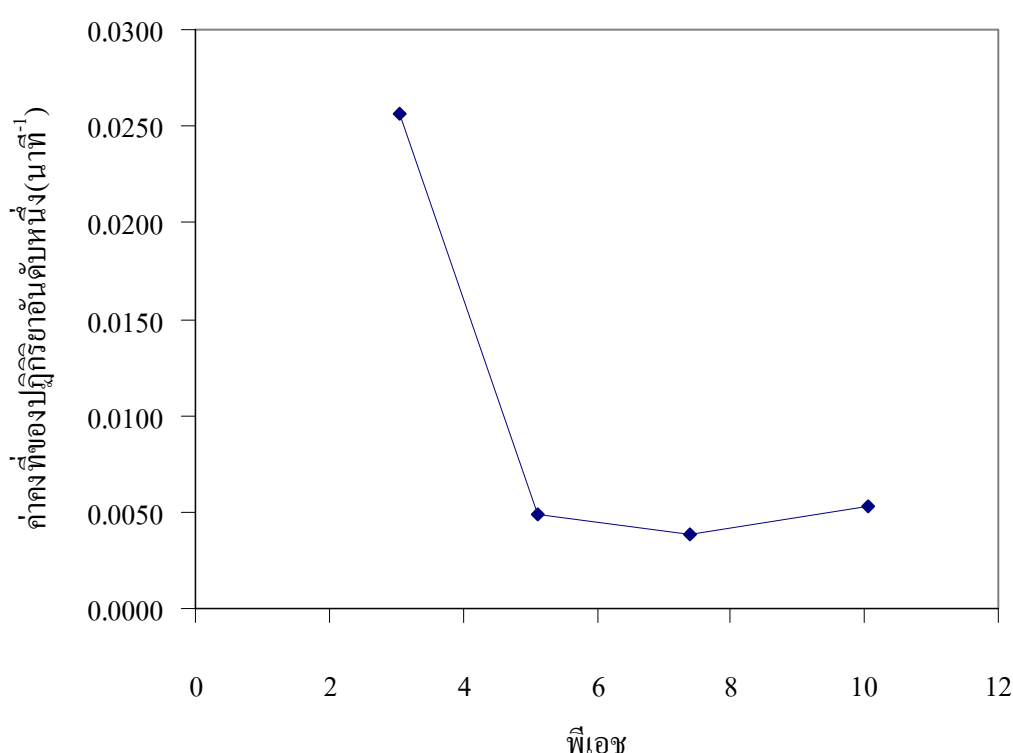
2.2 ผลการทดสอบพีเอชต่อการย่อยสลายสี

ภาพที่ 16 แสดงผลของพีเอชต่อการย่อยสลายสีชิบาร์คอนเรต เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นสีชิบาร์คอนเรต 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 16 พบว่า ที่พีเอช 3 การย่อยสลายสีเกิดได้ดีที่สุด แต่ที่พีเอช 5 7 และ 10 การย่อยสลายสีเกิดได้ช้ากว่า เนื่องจาก ที่พีเอช 3 อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดซับสีได้ดีกว่าที่พีเอชอื่น ดังแสดงในผลการทดลองหัวข้อ 2.1 จึงทำให้เกิดการย่อยสลายสีได้ดี ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Kusvuran *et al.* (2004) โดยทดสอบการย่อยสลายสีรีแอคทีฟเรด 120 (Reactive Red 120) และ ของ Nam *et al.* (2002) ซึ่งทดสอบการย่อยสลายสีเมทิลออเรนจ์โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งให้ผลการย่อยสลายสีที่พีเอช 3 ดีกว่าที่พีเอชอื่น เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมมีประจุลบทั้งคู่



ภาพที่ 16 ผลของพีเอชต่อการย่อยสลายสีชิบาร์คอนเรต

เมื่อนำผลการทดลองในภาพที่ 16 ไปหาค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นให้ผลการคำนวณดังภาพที่ 17 จากภาพที่ 17 พบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้น ที่พีเอช 3 มีค่าเท่ากับ 0.0256 ต่อนาที ส่วนพีเอช 5 7 และ 10 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นเป็น 0.049 0.0038 และ 0.0053 ต่อนาที ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนต่อไปจะปรับสภาวะลายให้พีเอชเท่ากับ 3 เพื่อให้การย่อยสลายสูงสุด

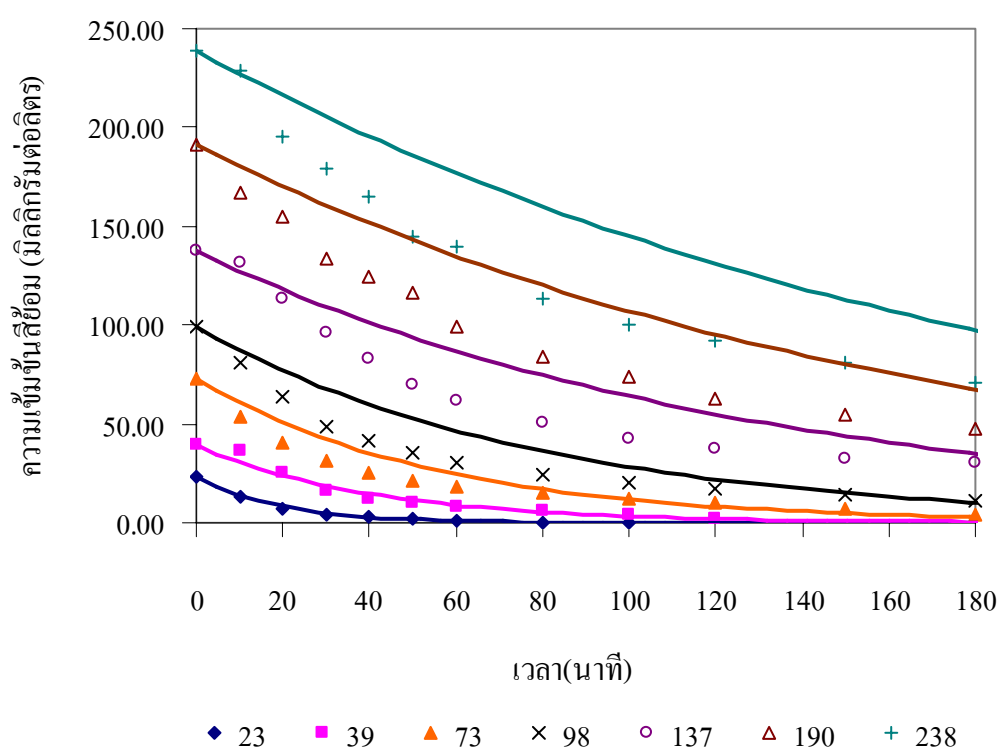


ภาพที่ 17 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้น ที่พีเอชต่างๆ

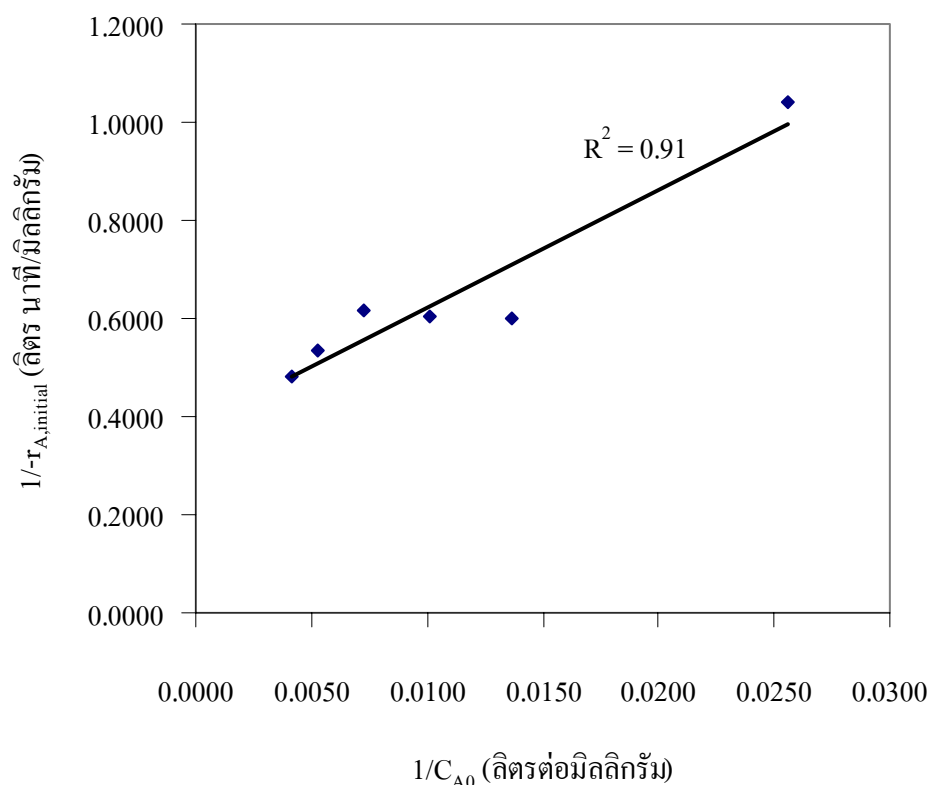
2.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมต่อการย่อยสลายสีชิบาร์คอนเรด

ภาพที่ 18 แสดงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีชิบาร์คอนเรดต่ออัตราการย่อยสลายสี เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสี เท่ากับ 25 50 75 100 150 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 และใช้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 กรัมต่อลิตร จากภาพที่ 18 พบว่า เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลจากภาพที่ 18

ไปคำนวณหาค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง พบว่าตามสมการแลงเมียร์ฮินเชอร์วูด ดังสมการที่ (24) และนำไปเขียนกราฟระหว่าง ค่า $1/r_{A, \text{initial}}$ และ $1/C_{A0}$ พบว่าให้ผลการคำนวณตามภาพที่ 19 จากภาพที่ 19 สามารถคำนวณค่าคงที่ของการดูดซับ และค่าคงที่ของปฏิกิริยา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0159 ลิตรต่อมิลลิกรัม และ 2.6171 นาที่⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ Daneshvar *et al.* (2004) ที่ทำการศึกษาผลการย่อยสลายสีแอซิดเรด 27 (Acid red27) และ Kusvuran *et al.* (2004) ซึ่งศึกษาการย่อยสลายสีรีแอคทีฟเรด 120 (Reactive Red 120)



ภาพที่ 18 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีต่ออัตราการย่อยสลายสี เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 25 ถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 และใช้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร

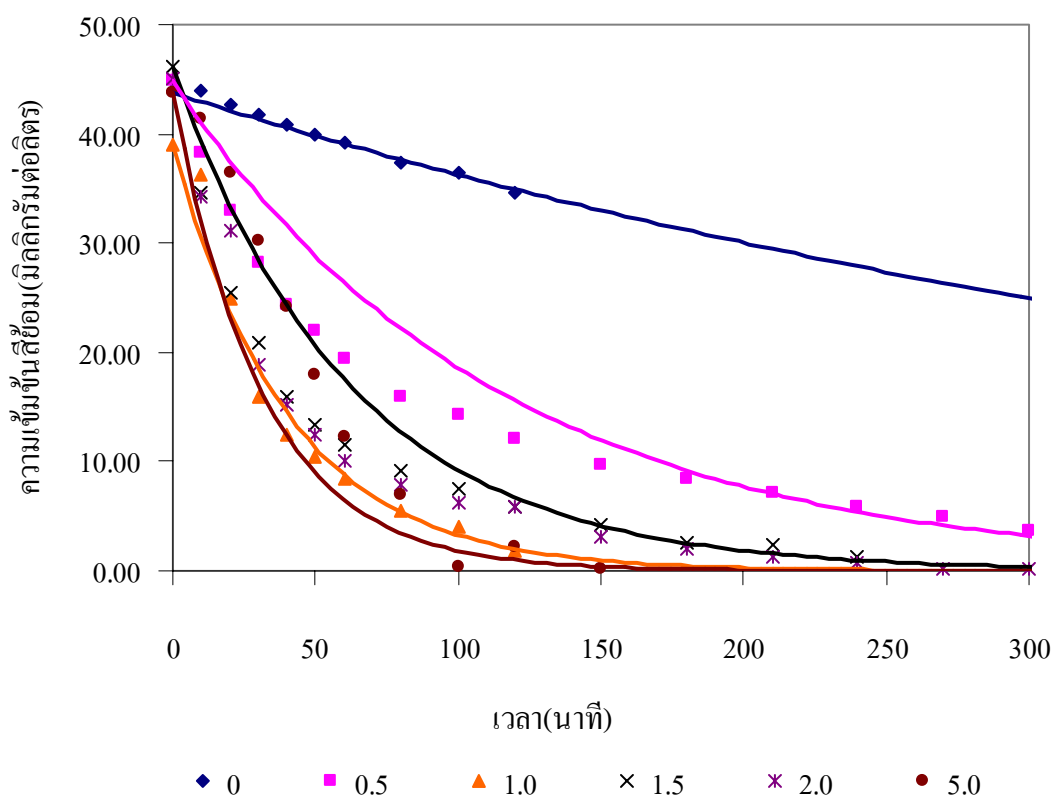


ภาพที่ 19 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาและค่าคงที่ของการดูดซับ

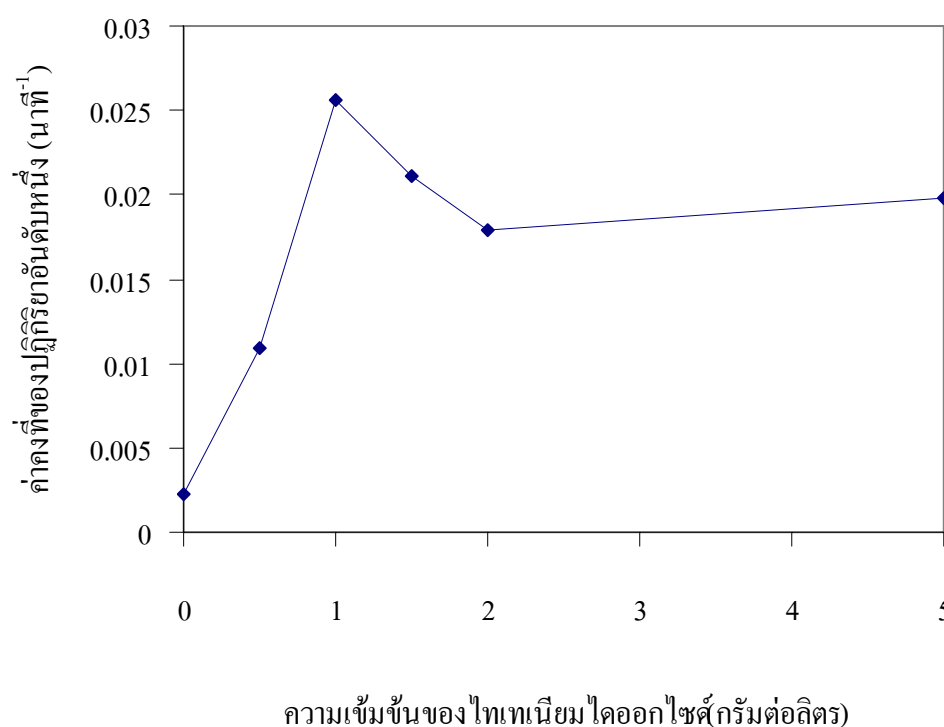
2.4 ผลของความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย่อยสลายสี

ภาพที่ 20 แสดงผลของความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย่อยสลายสี เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีชิบาร์คอนเรดเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 โดยทดสอบความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ตั้งแต่ 0 ถึง 5 กรัมต่อลิตร ซึ่งจากภาพที่ 20 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น จากภาพที่ 20 เมื่อนำข้อมูลไปหาค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นดังแสดงผลการคำนวณในภาพที่ 21 จากภาพที่ 21 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มจาก 0 กรัมต่อลิตร เป็น 1 กรัมต่อลิตร ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ทั้งการดูดซับสีเพิ่มขึ้น และเป็นการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มจาก 1 เป็น 5 กรัมต่อลิตร พบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นมีค่าลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้ความขุ่น

ของสารละลายสูงขึ้น ซึ่งจะลดความสามารถในการถูกแสงของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้แสงไม่สามารถส่องได้ทั่วถึงทั้งหมด (Najjar *et al.*, 2001) ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายลดลง โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับแหล่งกำเนิดแสง นอกจากนี้ ยังพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถจับตัวกันเป็นก้อน (Toor *et al.*, 2006) ที่ความเข้มข้นสูงทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับสีลดลง



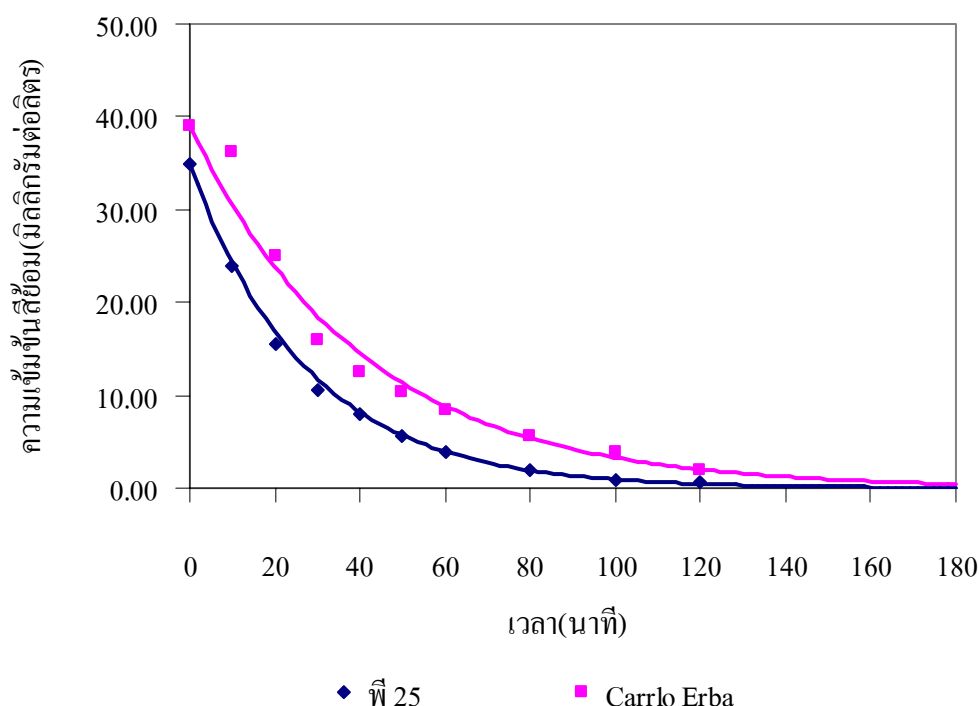
ภาพที่ 20 ผลของความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ (กรัมต่อลิตร) ต่อการย่อยสลายสี เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมชิบาร์คอนเรตเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชเป็น



ภาพที่ 21 ผลความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้น

2.5 ผลของชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย่อยสลายสี

จากภาพที่ 22 เป็นการเปรียบเทียบชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชนิดได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีซียาร์คอนเรดเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 จากภาพที่ 22 พบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) สามารถย่อยสลายสีได้ดีกว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) ที่เป็นเช่นนี้เพราะไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสีซีย้อมสูงกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) (Muruganandham and Swaminathan, 2004) และ เมื่อนำข้อมูลจากภาพที่ 22 มาหาค่าคงที่ปฏิกิริยา อันดับหนึ่งเริ่มต้น โดยใช้สมการที่ (22) พบว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.0369 และ 0.0265 ต่อนาที สำหรับไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) ตามลำดับ



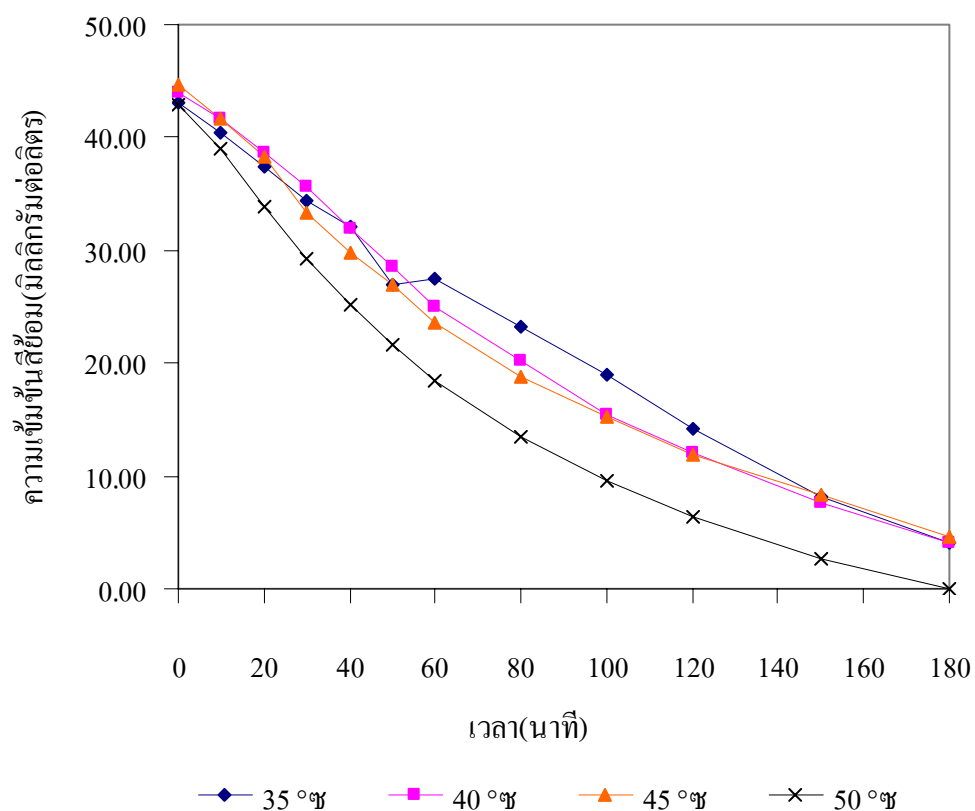
ภาพที่ 22 ผลของชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย่อยสลายสี เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมชิบาร้คอนเรดเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3

2.6 ผลของอุณหภูมิ

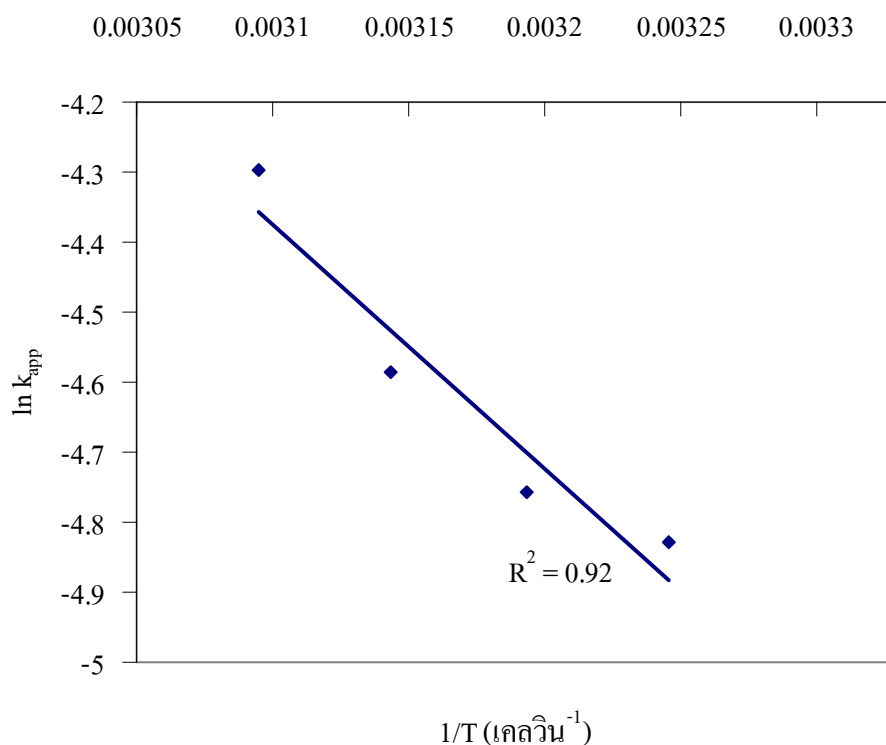
จากการศึกษาผลอุณหภูมิต่อการย่อยสลายสีชิบาร้คอนเรดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 3 และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทดสอบตั้งแต่อุณหภูมิ 35 ถึง 50 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองดังภาพที่ 23 จากภาพที่ 23 พบว่า อัตราการย่อยสลายสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเป็นไปตามสมการของอาร์เรเนียส ดังสมการที่ (39)

เมื่อนำผลการทดลองในภาพที่ 23 ไปหาค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นที่อุณหภูมิต่างๆและนำไปเขียนกราฟระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ตามสมการที่ (40) ดังภาพที่ 24 จากภาพที่ 24 พบว่า พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาการย่อยสลายสีมีค่าเท่ากับ 29.07 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมีค่า Least square (R^2) เท่ากับ 0.92 และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าพลังงานกระตุ้นที่ได้จากการย่อยสลายสีแอซิดเรด 27 (Acid red 27) (Daneshvan *et al.*, 2004)

โดยทดสอบการย่อยสลายสีที่อุณหภูมิระหว่าง 7 ถึง 42 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 8.27 กิโลจูลต่อโมล เนื่องจาก ค่าพลังงานกระตุ้นที่ได้ มีค่าต่ำแสดงว่าปฏิกิริยานี้ขึ้นกับกระบวนการดูดซับสารที่ผิวหน้าตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นหลัก



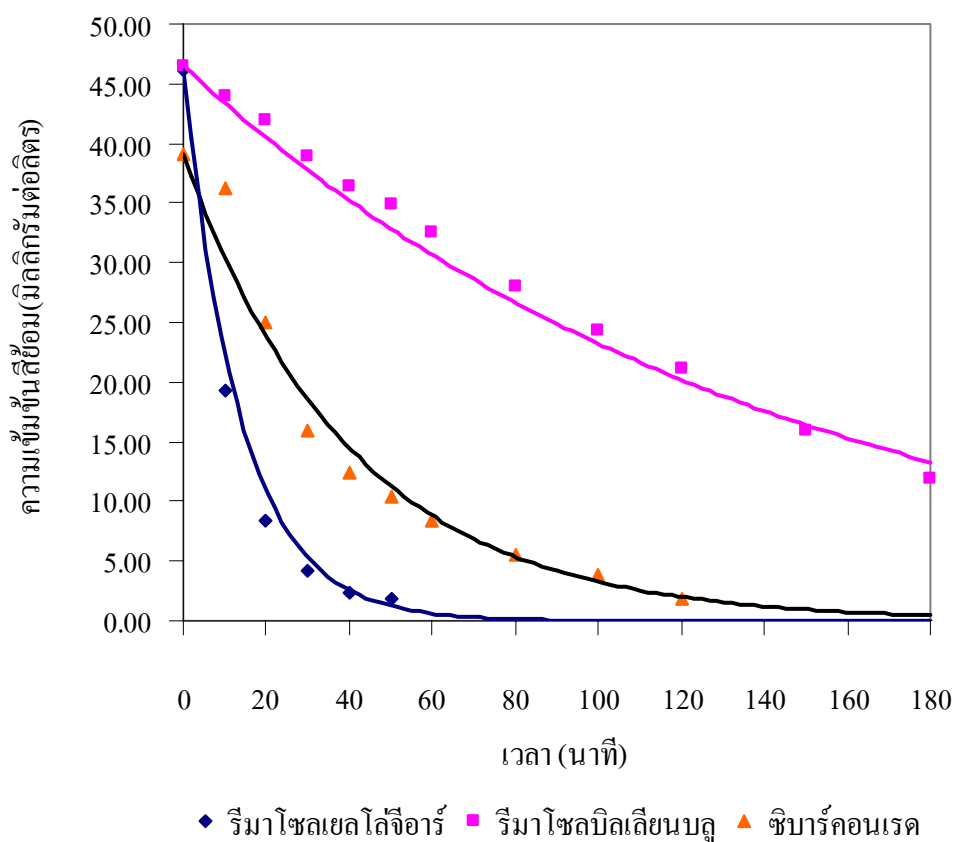
ภาพที่ 23 ผลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายสี



ภาพที่ 24 การหาค่าพลังงานกระตุ้นของการย่อยสลายสี

2.7 ผลชนิดของสีย้อมต่ออัตราการย่อยสลายสี

จากภาพที่ 25 แสดงผลการย่อยสลายสีแดง (ชิบาร้คอนเรด) สีเหลือง (ริมาโซลเชลโลจีอาร์) และสีน้ำเงิน (ริมาโซลบลูเลียนบลู) เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีแต่ละชนิดเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) ที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร จากภาพที่ 25 พบว่าการลดลงของสีเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรียงลำดับดังต่อไปนี้คือ สีเหลือง > สีแดง > สีน้ำเงิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่ทำให้สีเหลืองทำลายได้ง่ายกว่าสีแดงและสีน้ำเงินตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองในภาพที่ 25 ไปหาค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเริ่มต้นของสีแต่ละชนิด พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0721 0.0248 และ 0.0069 ต่อนาที สำหรับสีเหลือง แดงและน้ำเงินตามลำดับ

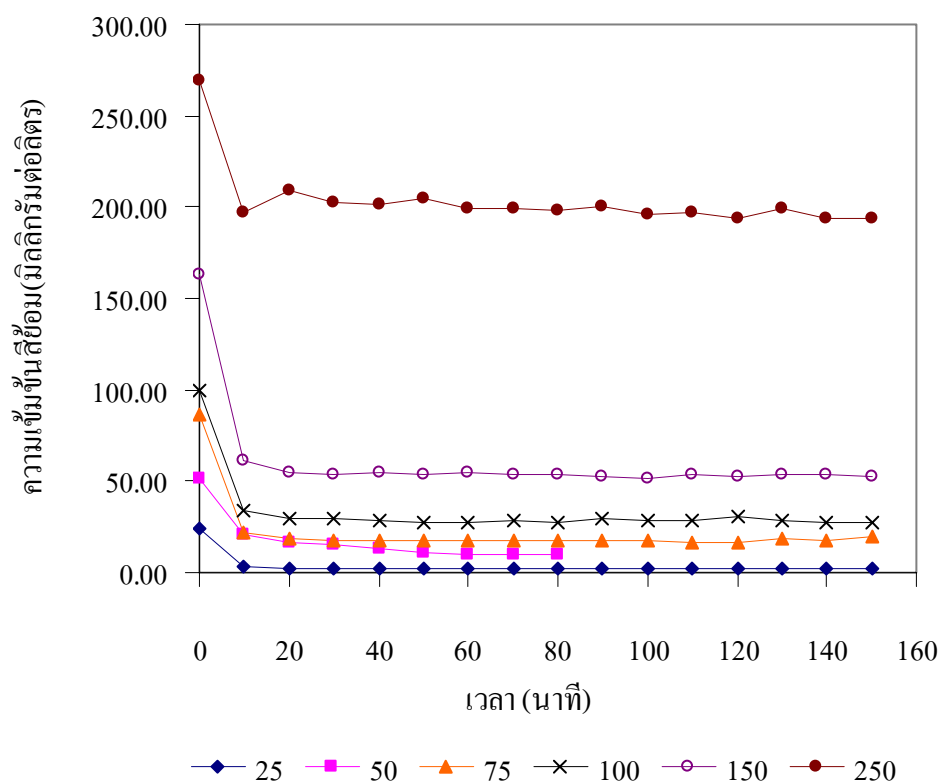


ภาพที่ 25 ผลการย่อยสลายสีแดง (ชีบาร์คอนเรด) สีเหลือง (ริมาโซลเซลโลจีอาร์) และสีน้ำเงิน (ริมาโซลบิลเลียนบลู) ที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 3 และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) 1 กรัมต่อลิตร

ตอนที่ 3 การทดสอบการย่อยสลายสีแบบต่อเนื่อง

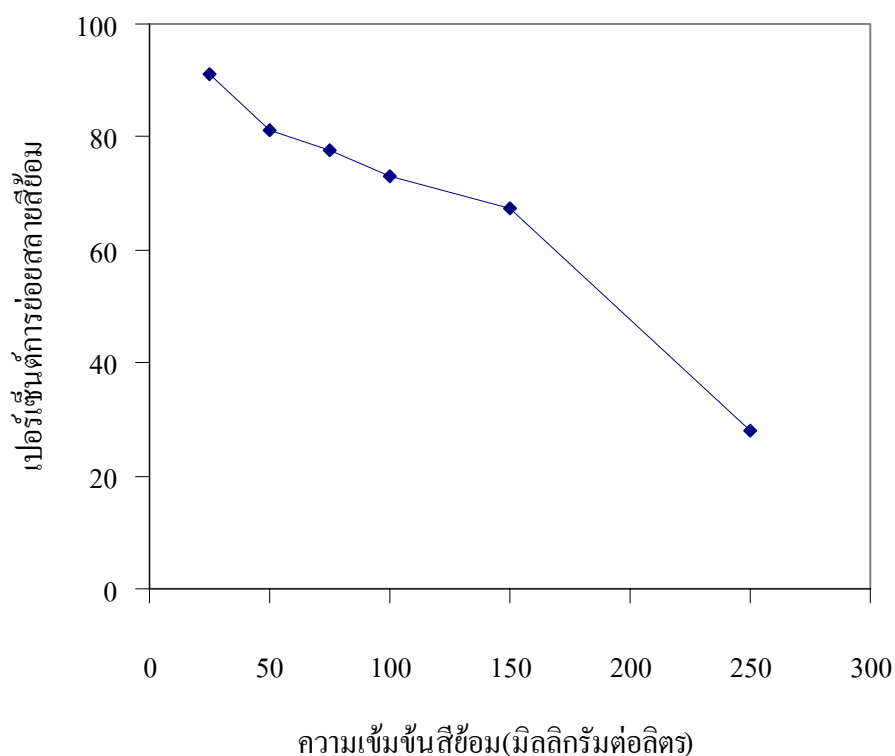
ในการศึกษาการย่อยสลายสีแบบต่อเนื่องโดยทดสอบผลความเข้มข้นสีของสีที่ทางเข้าเครื่องปฏิกรณ์ แสดงดังภาพที่ 48 โดยวัดความเข้มข้นของสีชีบาร์คอนเรดที่ทางออกทุก ๆ 10 นาที ซึ่งทำการศึกษาความเข้มข้นของสีตั้งแต่ 25 ถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะในการทดสอบคือ พีเอช 3 ความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร และอัตราการไหล 36 มิลลิตรต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 2.5 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าในช่วงเวลา 10 นาทีแรกของ ทุก ๆ ความเข้มข้นสี ความเข้มข้นสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปถึงเวลาที่ 40 นาที ความเข้มข้นของสีที่ทางออกจะเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสีย้อมที่ทางออกมีค่าใกล้เคียงมากที่สุด แต่เมื่อความเข้มข้นสีเพิ่มขึ้น ความสามารถในการย่อยสลายสีลดลง ทำให้ความเข้มข้นสีย้อมที่ทางออกมีความเข้มข้นสูงขึ้น



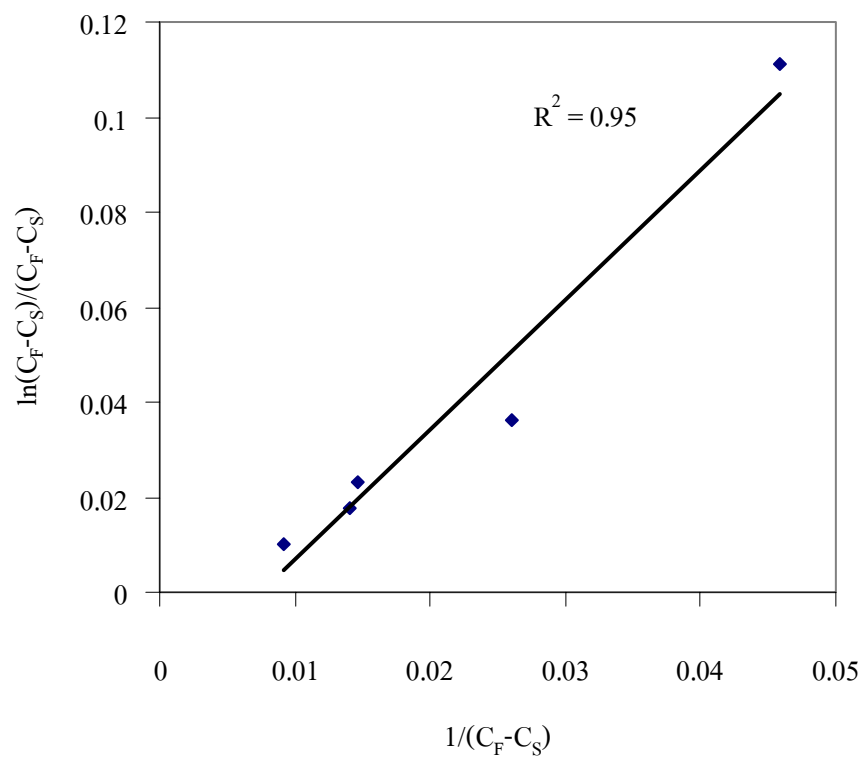
ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของสีย้อมที่ทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลาต่างๆ

ภาพที่ 27 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีย้อมที่ทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของสารละลาย พบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ในการย่อยสลายสีจะมีค่าลดลง ประสิทธิภาพการย่อยสลายสีสูงสุดเมื่อความเข้มข้นสีต่ำสุด คือ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 91.15 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 27 เปอร์เซนต์การย่อยสลายสีย้อมบาร์คอนเรดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม

เมื่อข้อมูลจากภาพที่ 26 มาทดสอบกับแบบจำลองแลงเมียร์ฮินเชอร์วูด ซึ่งสามารถเขียนได้ตามสมการที่ (36) สำหรับค่าคงที่ต่างๆ ในสมการที่ (36) หาได้โดยการเขียนกราฟระหว่าง $\frac{\ln(C_F / C_S)}{C_F - C_S}$ กับ $\frac{1}{(C_F - C_S)}$ เมื่อความชันและจุดตัดของกราฟมีค่าเท่ากับ $kK\tau$ และ $-K$ ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลความเข้มข้นของสีย้อมจากภาพที่ 26 ที่เวลา 40 นาที ดังแสดงภาพที่ 28 จากภาพที่ 28 พบว่า สามารถลากเป็นสมการเส้นตรงได้และมีค่า Least square (R^2) เท่ากับ 0.95 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของแลงเมียร์ฮินเชอร์วูดสามารถนำมาอธิบายผลการทดลองการย่อยสลายสีย้อมต่อเนื่องได้ดี นอกจากนี้ค่าคงที่ปฏิกิริยาและค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ฮินเชอร์วูดเท่ากับ 3.345 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวินาที และ 0.0204 ลิตรต่อมิลลิกรัม ซึ่งนำไปใช้ในการขยายขนาดของเครื่องปฏิกรณ์



ภาพที่ 28 การคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาและค่าคงที่ของการดูดซับตามสมการที่ (36)