

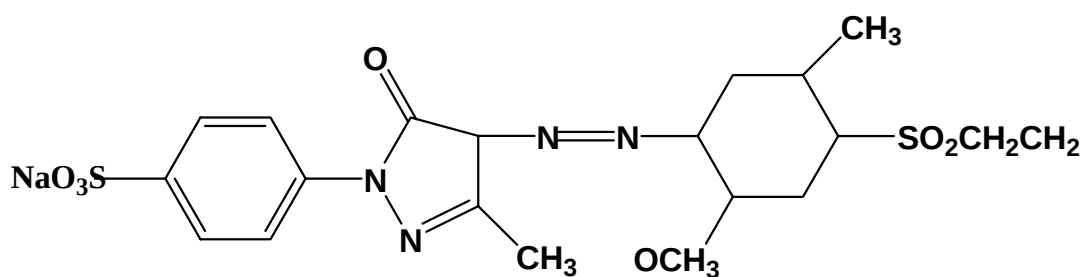
อุปกรณ์ และ วิธีการ

อุปกรณ์

1. ชุดทดสอบการย่อยสลายสี
2. เครื่องปฏิบัติการการย่อยสลายสี
3. สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Secomam รุ่น Athelie advance 5 ประเทศฝรั่งเศส
pH meter ยี่ห้อ Denver Instrument model 215 ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ของบริษัท Thermolyne ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อSigma รุ่น 3K10 ประเทศอังกฤษ
6. ปัมสารเคมี ยี่ห้อ SANISO รุ่น PMD-311 กำลัง 20 วัตต์ อัตราการไหล 10 ถึง 15 ลิตรต่อ
นาที ประเทศญี่ปุ่น
7. เพอร์ริสเตอร์คิกปั๊มยี่ห้อ Watson Malow รุ่น sci 323/ED กำลัง 50 วัตต์ อัตราการไหล
15-400 มิลลิลิตรต่อนาที ประเทศสหรัฐอเมริกา

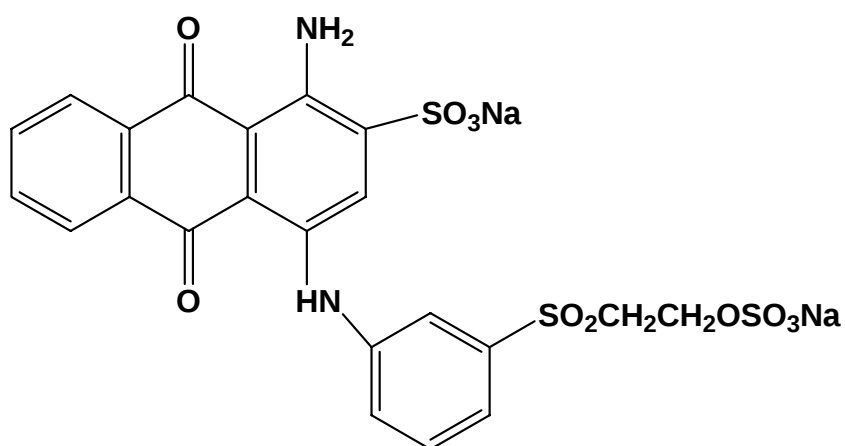
สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ (V/V) ของบริษัท MERCK ประเทศเยอรมนี
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ของ บริษัท MERCK ประเทศเยอรมนี
3. ไทเทเนียมไดออกไซด์ มี 2 ชนิดได้แก่ พี 25 ประเทศเยอรมนี และ ยี่ห้อ Carrlo Erba
ประเทศอิตาลี
4. สีย้อมที่ใช้ทดสอบเป็นสีกลุ่มรีแอกทีฟมีดังนี้คือ
 - 4.1 สีรีมาโซลเยลโล จีอาร์ (Remazol yellow GR) ของบริษัทไดสตาร์ ประเทศไทย
จำกัด มีสูตรโมเลกุล $C_{20}H_{24}O_{11}N_4Na_2S_3$ (ภาพที่ 5)
 - 4.2 สีรีมาโซลบลูเลียนบลู (Remazol Brilliant Blue) ของบริษัทไดสตาร์ ประเทศไทย
จำกัด มีสูตรโมเลกุล $C_{22}H_{16}O_{11}N_2Na_2S_3$ (ภาพที่ 6)
 - 4.3 สีซิบาร์คอนเรด (Cibacron red) ของบริษัทซิบาร์ ประเทศไทย จำกัด มีสูตรโมเลกุล
 $C_{46}H_{34}O_{18}N_{14}Na_4Cl_2$ (ภาพที่ 7)



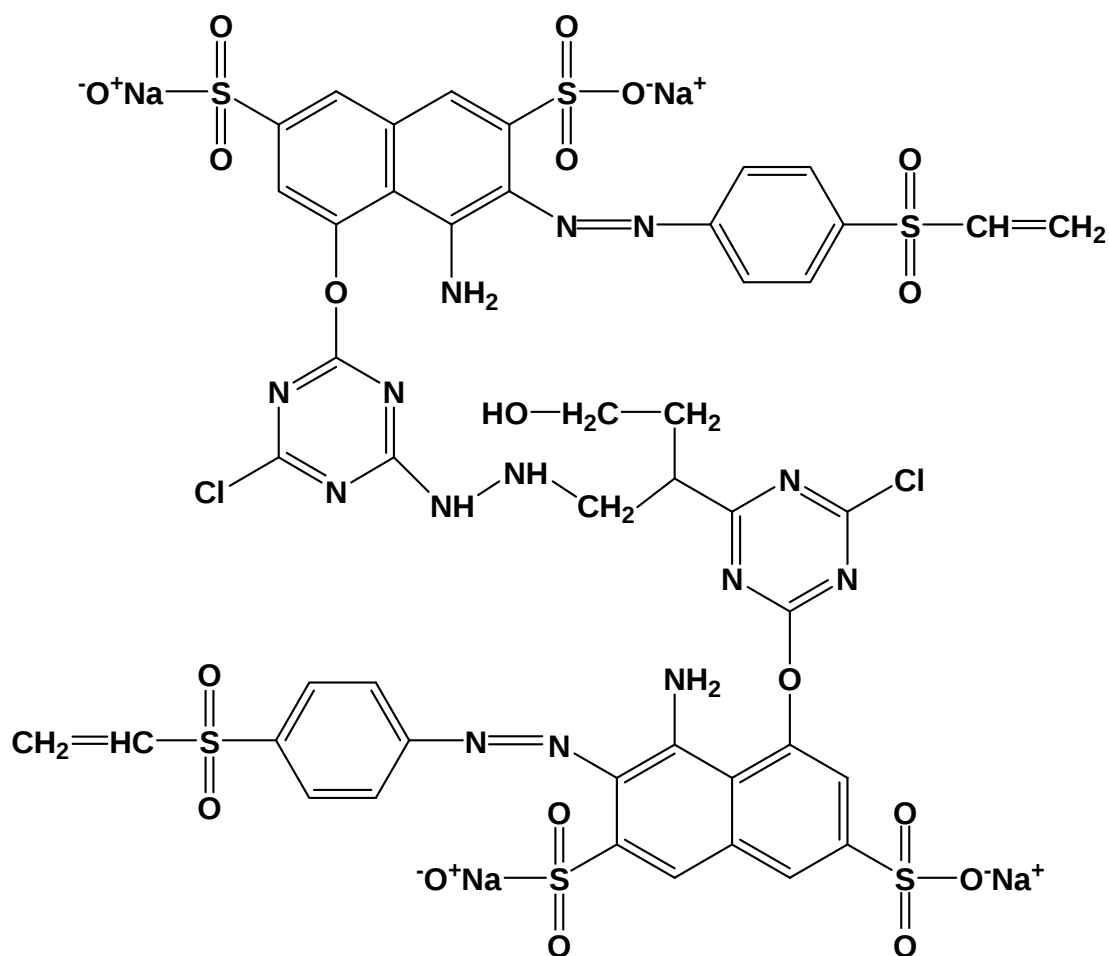
ภาพที่ 5 โครงสร้างสิริมาโซลเฮดโลจีอาร์ (สีเหลือง)

ที่มา: Voncina and Majcen-Le-Marechalb (2003)



ภาพที่ 6 โครงสร้างสิริมาโซลบิลเลียนบลู (สีน้ำเงิน)

ที่มา: Chen and Ma (1998)



ภาพที่ 7 โครงสร้างสีซิมาร์คอนเรด (สีแดง)

ที่มา: National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (1998)

วิธีการ

ในการศึกษาการการบำบัดน้ำเสียสี้อมด้วยเครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาดว้แสง แบ่งการทดลองเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดสอบกระบวนการย่อยสลายสี

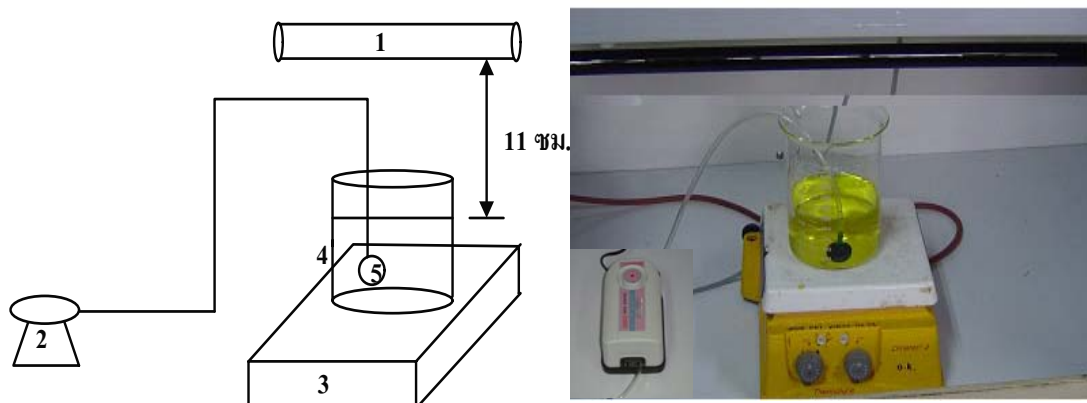
ตอนที่ 2 การทดสอบหาสภาวะเหมาะสมในการย่อยสลายสีแบบไม่ต่อเนื่อง

ตอนที่ 3 การทดสอบการย่อยสลายสีแบบต่อเนื่อง

ตอนที่ 1 การทดสอบกระบวนการย่อยสลายสี

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบชนิดแหล่งกำเนิดแสง การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา การเติมอากาศ ผลของการรอบไฟเร็กต่อกระบวนการย่อยสลายสีและ ผลของความเข้มข้นสี สีที่ใช้ทดสอบในการทดลองนี้มี 2 สีคือ สีริมาโซลเยลโลอิดอาร์ (สีเหลือง) และสีริมาโซลบลูเลียนบลู (สีน้ำเงิน) และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) การทดสอบการย่อยสลายสีทำการทดลองในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ติดตั้งหลอดไฟห่างจากระดับน้ำ 11 เซนติเมตร

ในการทดสอบกระบวนการย่อยสลายสีได้จัดอุปกรณ์การทดสอบมีดังนี้ บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุสารละลายสีที่ใช้ทดสอบ 500 มิลลิลิตร ในระหว่างการทดลองมีการกวนและพ่นอากาศดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ชุดทดสอบการย่อยสลายสี ประกอบด้วย (1) หลอดไฟ (2) บีมอากาศ (3) เครื่องกวน (4) บีกเกอร์ (5) หัวทราย

1.1 การทดสอบชนิดของหลอดไฟ

เตรียมสารละลายสีเหลืองความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตรปรับให้พีเอชเป็น 3 ด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 โมลาร์ เก็บสารละลายก่อนเติมตัวเร่งด้วยไซริงค์มา 30 มิลลิลิตร จากนั้นเติมตัวเร่งปฏิกิริยา 0.04 กรัม (Nam *et al.*, 2002) และพ่นอากาศ นาน 30 นาที เก็บตัวอย่างหลังจากเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เปิดไฟฉายแสงจากหลอดยูวี นาน 3 ชั่วโมงและ เก็บตัวอย่างหลังจากปิดไฟ นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทดลองเช่นเดียวกับข้างต้นเพียง แต่เปลี่ยนชนิดหลอดไฟจากหลอดยูวี เป็นหลอดไฟโตชิบาแบบสีกัลไลต์ หลอดไฟโตชิบาอควาเรียม และ หลอดไฟซิลวาเนียแบบสีกัลไลต์ ตามลำดับ เมื่อทดสอบครบทั้ง

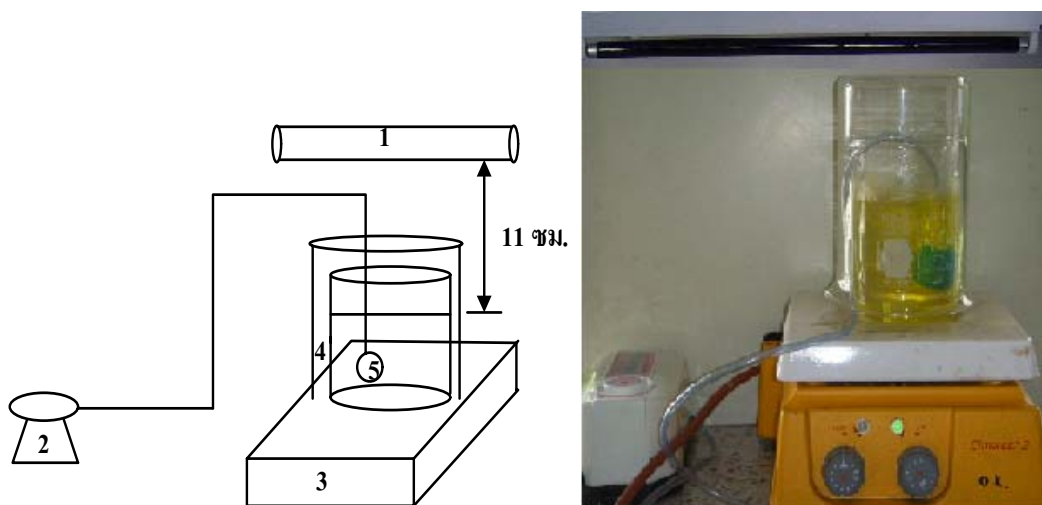
4 ชนิด แล้วเปลี่ยนสีย้อมที่ใช้ทดสอบเป็นสีน้ำเงินแล้วทดสอบเช่นเดิม นำผลการทดลองที่เก็บที่เวลา 0 ชั่วโมง (หลังจากเติมตัวเร่งปฏิกิริยา) และที่เก็บเมื่อครบ 3 ชั่วโมง (หลังจากปิดไฟ) คำนวณหาความเข้มข้นสีเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาชนิดหลอดไฟนำไปใช้ทดสอบในขั้นตอนถัดไป และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ในการย่อยสลายของสีน้ำเงินและเหลืองโดยใช้หลอดไฟ 4 ชนิด

1.2 การทดสอบผลการเติมอากาศ

การทดสอบผลการเติมอากาศเตรียมสารละลายเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 1.1 แต่ในการทดลองข้อนี้จะไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา การทดลองทำดังนี้คือ ฟ่นอากาศ พร้อมกับเปิดไฟฉายแสงด้วยหลอดยูวี นาน 3 ชั่วโมง เมื่อครบ 3 ชั่วโมงปิดไฟ เก็บตัวอย่างหลังจากปิดไฟ ทำการทดลองเช่นเดิม เพียงแต่เปลี่ยนชนิดหลอดไฟจากหลอดยูวี เป็น หลอดไฟโซดิกวาแบบสีกัลไลต์ และหลอดไฟซิลวาเนียแบบสีกัลไลต์ ตามลำดับ แล้วจึงเปลี่ยนมาทดสอบกับสีน้ำเงิน และทดสอบหลอดไฟ 3 ชนิด นำตัวอย่างที่ได้คำนวณความเข้มข้นสีที่กำจัดได้ ซึ่งคิดจากความเข้มข้นก่อนเปิดไฟ ลบความเข้มข้นสีหลังจากเปิดไฟ และเปรียบเทียบเกี่ยวกับการย่อยสลายของแต่ละสี

1.3 การทดสอบผลของการครอบไฟเร็ก

เตรียมสารละลายสีย้อมที่มีสภาวะเช่นเดียวกับข้อ 1.1 แต่ในการทดลองนี้จะทำการทดลองเปรียบเทียบผลการครอบไฟเร็ก และไม่ครอบไฟเร็ก การทดสอบทำในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ในระหว่างที่ฟ่นอากาศและขณะเปิดไฟฉายแสงโดยครอบไฟเร็กด้วยบีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 10 นำตัวอย่างที่เก็บได้หลังจากเติมตัวเร่งและหลังจากปิดไฟมาคำนวณเป็นความเข้มข้นสีที่กำจัดได้ผล โดยจะทำการเปรียบเทียบชนิดของหลอดไฟ และผลการไม่ครอบไฟเร็ก การทดลองนี้จะใช้หลอดยูวี หลอดไฟโซดิกวาแบบสีกัลไลต์และหลอดไฟซิลวาเนียแบบสีกัลไลต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ชุดทดลองการย่อยสลายสีที่ครอบไฟเร็ก ประกอบด้วย (1) หลอดไฟ (2) ปุ่มอากาศ (3) เครื่องกวน (4) บีกเกอร์ (5) หัวทราย

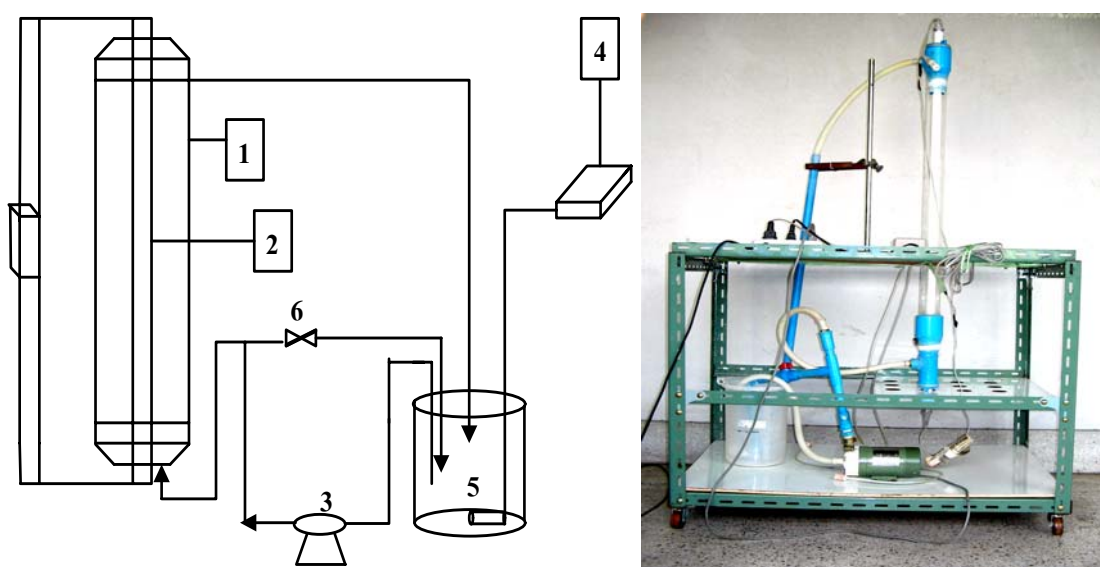
ตอนที่ 2 การทดสอบหาสภาวะเหมาะสมในการย่อยสลายสีแบบไม่ต่อเนื่อง

ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ย่อยสลายแบบไม่ต่อเนื่อง ประกอบด้วย หลอดแก้วโบโรซิลิเกต ความยาว 80 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ซึ่งภายในบรรจุหลอดโตะชิบาแบบลิท ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 1 หลอด ดังภาพที่ 10 เตรียมสารละลายสีย้อมสีแดงปริมาตร 4 ลิตร ปรับพีเอชของสารละลายด้วย 0.1 โมลลาร์ กรดซัลฟิวริก หรือ 0.1 โมลลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้ค่าพีเอช ตามที่ต้องการ จากนั้นเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) ใส่ไปในถังป้อนที่มีการพ่นอากาศตลอดเวลา ปรับวาล์วให้มีในอัตราการไหลของสารละลายออกจากหลอดแก้วเท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที

ในการทดลองจะศึกษาปัจจัยต่างๆ ต่อการย่อยสลายสีดังนี้ ได้แก่ ผลการดูดซับสี ผลของพีเอช ผลของความเข้มข้นสีย้อม ผลของความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์ ชนิดของสีย้อม และอุณหภูมิ เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความเข้มข้นสี

2.1 การทดสอบการดูดซับสี

ทำการเตรียมสารละลายสีย้อมชิบาร์คอนเรด ความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 โมลาร์ นำสารละลายมา 100 มิลลิลิตร เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม นำเข้าเขย่าควบคุมอุณหภูมิเป็น 30 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เมื่อครบ 3 ชั่วโมง นำสารละลายสี มากรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมโครเมตร 2 ครั้ง นำตัวอย่างก่อนและหลังจากการดูดซับสีที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นทดสอบเช่นเดิม เพียงแต่เปลี่ยนพีเอชจาก 3 เป็น 5 7 และ 10 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 เครื่องปฏิบัติการย่อยสลายสีแบบไม่ต่อเนื่อง ประกอบด้วย (1) คอลัมน์แก้ว (2) หลอดแบบลิคไลต์ (3) ปั๊มน้ำ (4) ปั๊มอากาศ (5) ถังป้อน (6) วาล์วปรับอัตราการไหลของน้ำ

2.2 การทดสอบ ผลพีเอชต่อการย่อยสลายสี

เตรียมสารละลายสีย้อมชิบาร์คอนเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอช เป็น 3 เก็บสารละลายก่อนเติม ตัวเร่งปฏิกิริยา เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวน 1 กรัมต่อลิตร จำนวน 4 ลิตร ฟ่นอากาศ 30 นาที เก็บตัวอย่างหลังจากเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เปิดไฟ 3 ชั่วโมงเก็บตัวอย่างตามเวลา การเก็บตัวอย่างจะเก็บทุกๆ 10 นาที ในชั่วโมงแรกและเก็บทุก 20 นาทีในชั่วโมงที่สองและเก็บทุก 30 นาทีในชั่วโมงสุดท้าย ทำการทดลองซ้ำเช่นเดิม โดยเปลี่ยนค่าพีเอชเป็น 5 7 และ 10 ตามลำดับ

2.3 การทดสอบผลของความเข้มข้นสีข้อม

เตรียมสารละลายสีข้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 25 50 75 100 150 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 4 ลิตร ปรับพีเอชเป็น 3 แล้วทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2

2.4 การทดสอบผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์

เตรียมสารละลายสีข้อม เช่นเดียวกับข้อ 2.2 และทดลองเช่นเดียวกัน แต่ในการทดลองนี้จะใช้ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 1.5 2 และ 5 กรัมต่อลิตร นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการย่อยสลายสีได้ดีที่สุด ซึ่งจะนำไปใช้ทดสอบในขั้นถัดไป

2.5 การทดสอบผลของชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์

เตรียมสารละลายสีข้อม และทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2 แต่เปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาจากการไทเทเนียมไดออกไซด์ (Carrlo Erba) เป็น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (พี 25) โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1 กรัมต่อลิตร

2.6 การทดสอบผลของอุณหภูมิ

เตรียมสารละลายสีข้อมและทดสอบ เช่นเดียวกับข้อ 2.2 แต่อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบเป็น 35 40 45 และ 50 องศาเซลเซียส

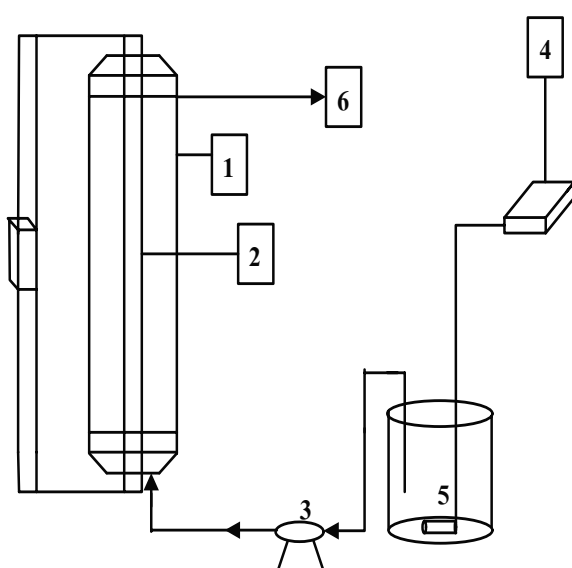
2.7 การทดสอบการย่อยสลายสีชนิดต่างๆ

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2 เพียงแต่เปลี่ยนจากสีชิบาร์คอนเรดเป็นสีริมาโซล เบลโลจีอาร์ และสีริมาโซลบลูเลียนบลู ตามลำดับ

ตอนที่3 การทดสอบการย่อยสลายสีแบบต่อเนื่อง

ในการทดลองตอนนี้เป็นการทดสอบการย่อยสลายแบบต่อเนื่อง ดังแสดงดังภาพที่ 11 การทดลองเริ่มจากผสมสารละลายสีข้อมชิบาร์คอนเรด ปริมาตร 6 ลิตร ปรับให้มีพีเอช 3 เทสารละลายในถังป้อน เก็บตัวอย่างก่อนเดิม 20 มิลลิลิตร เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 6 กรัม ลงในถังป้อนพร้อมกับพ่นอากาศไปด้วยกัน นาน 30 นาที จากนั้นเปิดปั๊มด้วยอัตราเร็ว 35 รอบต่อนาที (36 มิลลิลิตรต่อ นาที) สารละลายสีจะถูกปั๊มเข้าในเครื่องปฏิกรณ์จนสารละลายเต็มหลอดแก้ว จึงเปิดไฟจนกระทั่งสารละลายไหลหมดท่อ และ เก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาที นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สำหรับความเข้มข้นที่ใช้ทดลองสำหรับการทดลองนี้คือ 25 50 75 100 150 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในการทดลองนี้นำผลการทดลองไปทดสอบกับโมเดลของแลงเมียร์ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีที่ความเข้มข้นสีต่างๆกัน



ภาพที่ 11 เครื่องปฏิกรณ์การย่อยสลายสีแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วย (1) คอลัมน์แก้ว (2) หลอดไฟ (3) ปั๊มน้ำ (4) ปั๊มอากาศ (5) ถังป้อน (6) จุดเก็บตัวอย่าง