



บทที่ 3

แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย

การทดลองทั้งหมดในการวิจัยนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของเวลากักแวนแเอโรบิกและความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการลดสีย้อมชนิดอะโซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการศึกษามลของเวลากักแวนแเอโรบิกต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยทำการทดลองในระบบเอสบีอาร์แบบแวนแเอโรบิก-แเอโรบิก ส่วนที่ 2 ทำการทดลองในชุดการทดลองแบบแบตช์ เพื่อศึกษามลของความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาเวลากักแวนแเอโรบิกที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการลดสีย้อมอะโซที่มีโครงสร้างโมโนอะโซ และไดอะโซ ในระบบเอสบีอาร์แบบแวนแเอโรบิก-แเอโรบิก และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันเป็นสารอาหารร่วม รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1 (เริ่มต้นระบบโดยการใช้สลัดจ์จากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยามาเลี้ยงในระบบแวนแเอโรบิก-แเอโรบิกประมาณ 1 เดือน เพื่อให้จุลชีพเคยชินกับสีและแป้งมัน)

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองในส่วนที่ 1

ชุดการทดลอง	ชนิดสีย้อม	ความเข้มข้น (มก./ล.)	ซีโอดีแป้งมัน (มก./ล.ซีโอดี)	เวลากักแวนแเอโรบิก+ แอโรบิก+ตกตะกอน (ชั่วโมง)	เวลาวัฏจักร (ชั่วโมง)	สัญลักษณ์
1	โมโนอะโซ	400	1,400	10+5+1	16	M-ANA10
2				18+5+1	24	M-ANA18
3				30+5+1	36	M-ANA30
4	ไดอะโซ			10+5+1	16	D-ANA10
5				18+5+1	24	D-ANA18
6				30+5+1	36	D-ANA30

ตัวแปรกำหนด

ตัวแปรกำหนดที่ต้องการให้คงที่ ได้แก่

- ถังปฏิกิริยาที่มีปริมาตรทำงาน (work volume) 12 ลิตร โดยมีอัตราส่วนน้ำที่เติม ($V_f=8$ ลิตร) ต่อน้ำค้างถัง ($V_0=4$ ลิตร) เท่ากับ 2:1

- กำหนดอายุสลัดจ์เท่ากับ 7.2 วัน ปริมาณการระบายสลัดจ์ส่วนเกินทิ้ง (รวมตัวอย่างน้ำ) จากระบบ คำนวณโดยการนำปริมาณเอสเอสในน้ำออกมาคิดด้วย (วิธีคำนวณดูในภาคผนวก ง.)

- คำนวณปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เติมเข้าระบบจากปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน (ดูจากภาคผนวก ข.) ซึ่งในช่วงเริ่มต้นระบบจะกำหนดจาก บีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส ไม่น้อยกว่า 100:5:1 แล้วจึงใช้ปริมาณตามที่ได้คำนวณได้จากปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินในลำดับต่อไป

- ความเข้มข้นสีของสีแต่ละชนิดเท่ากับ 400 มก./ล. (ใช้ความเข้มข้นสูงเพื่อหาค่าเวลาแอนแอโรบิกที่เหมาะสมไปใช้ในงานจริงซึ่งมีค่าความเข้มข้นสีแปรผันอย่างมาก หากความเข้มข้นสีของน้ำเข้าระบบน้อยกว่า 400 มก./ล. ก็ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณสีต่ำได้)

- ใช้แป้งมันเป็นสารอาหารร่วมที่มีซีโอดีเท่ากับ 1,400 มก./ล. (โสภา ชินเวชกิจวานิชย์, 2540; Chinwetkitvanich และคณะ, 2000) การคำนวณดูจากภาคผนวก ข.

ตัวแปรอิสระ

- สีย้อมอะโซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน 2 ชนิด (รูปที่ 1.1) คือ

1. สีย้อมอะโซที่มีโครงสร้างโมโนอะโซ (Procion Red MX-5B หรือ C.I. Reactive Red 2)
2. สีย้อมอะโซที่มีโครงสร้างไดอะโซ (Procion Red H-E3B หรือ C.I. Reactive Red 120)

- เวลาแอนแอโรบิก 3 ค่า คือที่ 10, 18 และ 30 ชั่วโมง และกำหนดให้เวลากักแอโรบิกคงที่ คือ 5 ชั่วโมง ดังนั้นมีวัฏจักรการทำงาน เวลาแอนแอโรบิก+แอโรบิก+ตกตะกอน ดังนี้

1. 10+5+1 ชั่วโมง ; วัฏจักรละ 16 ชั่วโมง
2. 18+5+1 ชั่วโมง ; วัฏจักรละ 24 ชั่วโมง
3. 30+5+1 ชั่วโมง ; วัฏจักรละ 36 ชั่วโมง

ตัวแปรตาม

ได้แก่ พีเอช, ไออาร์พี, เอสวี30, เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส, เอสเอส, ซีไอดี, สีนหน่วยเอสยู, สีนหน่วยเอดีเอ็มไอ, สภาพต่าง, และกรดไขมันระเหยง่าย

ส่วนที่ 2 ศึกษาผลของความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการลดสี ซึ่งทำการแปรผันความเข้มข้นของแต่ละชนิดสีของน้ำเข้า 4 ค่า คือ 50, 200, 400 และ 600 มก./ล. และซีไอดีของแป้งมันเท่ากับ 1,400 มก./ล. โดยนำสลัดจ์ส่วนเกินจากชุดการทดลองในส่วนที่ 1 หลังจากระบบเข้าสู่สถานะคงตัวมาใส่ถึงปริมาตรขนาดความจุ 1.5 ลิตร และรอให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งน้ำใสไป 1 ลิตร และเริ่มการทดลองโดยเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสีต่างๆ 1 ลิตร (ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำที่เติมต่อน้ำค้างถึง เท่ากับ 2 เหมือนในชุดการทดลองแบบเอสบีอาร์) และกำหนดให้มีเวลากักแอนแอโรบิกแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 18 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำโปรไฟล์ของการลดสี รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองในส่วนที่ 2

ชุดการทดลอง	ชนิดสี ย้อม	ความเข้มข้น (มก./ล.)	ซีไอดีแป้งมัน (มก./ล.)	เวลากักแอนแอโรบิก (ชั่วโมง)	สัญลักษณ์
1	โมโนอะโซ	50	1,400	18	M-50 มก./ล.
2		200			M-200 มก./ล.
3		400			M-400 มก./ล.
4		600			M-600 มก./ล.
5	ไดอะโซ	50			D-50 มก./ล.
6		200			D-200 มก./ล.
7		400			D-400 มก./ล.
8		600			D-600 มก./ล.

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ลักษณะน้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสี่สังเคราะห์ ที่มีค่าซีไอดีจากแป้งมันเท่ากับ 1,400 มก./ล. และความเข้มข้นเท่ากับ 400 มก./ล. ส่วนปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะคำนวณจากปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน โดยส่วนประกอบของน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 3.3 และรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 3.3 ปริมาณของสารต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำเสีย

สารที่เติม	ความเข้มข้นที่ต้องการ	ปริมาณสารที่ต้องการ
แป้งมัน	1,400 มก./ล.ซีไอดี	1,443 มก./ล.*
Nutrient Broth	-	25 มก./ล.
(NH ₂) ₂ CO	43.5 มก./ล.N**	143.1 มก./ล. (NH ₂) ₂ CO
KH ₂ PO ₄	9.3 มก./ล.P**	61.5 มก./ล.KH ₂ PO ₄
NaHCO ₃	400 มก./ล.CaCO ₃	672 มก./ล.NaHCO ₃
CaCl ₂	4.7 มก./ล.Ca***	19.4 มก./ล.CaCl ₂
MgSO ₄ .7H ₂ O	4.7 มก./ล.Mg***	71 มก./ล.MgSO ₄ .7H ₂ O
FeCl ₃	1.9 มก./ล.Fe***	8 มก./ล.FeCl ₃
ลือ	****	****

*จากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีของแป้งมันในห้องปฏิบัติการ

**คำนวณจากอัตราส่วนโดยน้ำหนัก BOD:N:P = 100:5:1 ในตอนเริ่มต้นระบบ หลังจากนั้นจะคำนวณจากสลัดจ์ส่วนเกิน (ปริมาณไนโตรเจนที่คำนวณได้ต้องลบด้วยปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากNutrient Broth ซึ่งจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่า Nutrient Broth 25 มก./ล. ให้ไนโตรเจน 3.2 มก./ล.)

***คำนวณจากอัตราส่วนโดยน้ำหนัก BOD:Ca:Mg:Fe = 100:0.5:0.5:0.2 (ปริมาณของ Ca, Mg และFe ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์เท่ากับ 0.5, 0.5 และ 0.2%ของน้ำหนักแห้งของมวลจุลชีพ, Metcalf และ Eddy (1991))

****แปรผันตามชนิดและความเข้มข้นของลือยม



3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.1 ถังปฏิกริยาเป็นถังอะคริลิกใสขนาดจุ 12 ลิตร จำนวน 3 ใบ ซึ่งใช้ในชุดการทดลองแบบเฮสปีอาร์ โดยแต่ละใบเจาะรูที่ข้างถึง 2 รู ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำการระบายทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินและระบายน้ำใสส่วนบนทิ้ง

3.3.2 ถังเก็บน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกริยาจำนวน 3 ใบ เป็นถังพลาสติกที่สามารถจุน้ำได้ถึง 8 ลิตร ใช้สำหรับเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยเข้าถังปฏิกริยาเท่ากับ 8 ลิตรต่อวัฏจักร)

3.3.3 เครื่องกวนซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์และใบพัดจำนวน 3 ชุด

3.3.4 เครื่องเติมอากาศ ประกอบด้วยบีมอากาศ และหัวกระจายอากาศ(ที่ใช้กับตู้ปลา) จำนวน 3 ชุด

3.3.5 ไมโครโปรเซสเซอร์ ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FXos series ทำหน้าที่ควบคุมลำดับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ โซลินอยด์วาล์ว เครื่องกวน และเครื่องเติมอากาศ

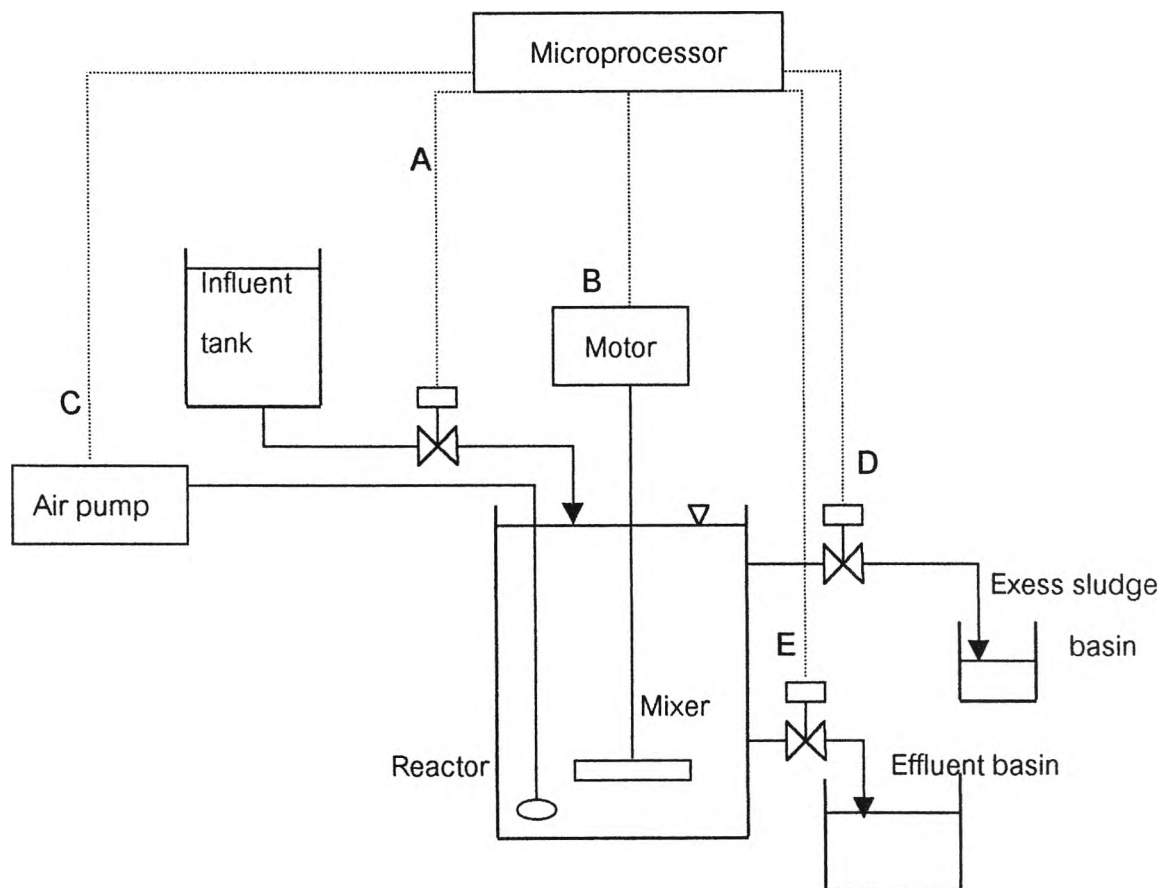
3.3.6 โซลินอยด์วาล์วจำนวน 9 ตัว ทำหน้าที่เปิดและปิดวาล์วเพื่อระบายน้ำเข้าในช่วงเติมน้ำเสียเข้าถัง ช่วงระบายสลัดจ์ส่วนเกิน และช่วงระบายน้ำใสหลังตกตะกอนออก

3.3.7 ถังปฏิกริยาที่ใช้สำหรับชุดการทดลองแบบแบตซ์ขนาดความจุ 1.5 ลิตร พร้อมกับชุดกวน magnetic stirrer 1 ชุด

การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในแต่ละชุดการทดลองของกระบวนการเฮสปีอาร์แบบแอนแอโรบิกแอโรบิก แสดงดังรูปที่ 3.1 และมีขั้นตอนการควบคุมการทำงานดังนี้

1. ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว(A) เพื่อปล่อยน้ำเสียปริมาณ 8 ลิตรเข้าถังปฏิกริยา เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ก็สั่งปิดวาล์ว (มีปริมาณน้ำเสียในถังปฏิกริยาเท่ากับ 12 ลิตร)
2. ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งปล่อยกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องกวนทำงาน(B) ซึ่งจะเริ่มทำงานพร้อมกับขั้นตอนแรก เครื่องกวนจะทำงานตั้งแต่เริ่มต้นสภาวะแอนแอโรบิกจนกระทั่งสิ้นสุดช่วงเวลาแอโรบิก
3. เมื่อเข้าขั้นตอนแอโรบิก ไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งให้เครื่องเติมอากาศทำงาน(C)
4. ปลายขั้นตอนแอโรบิกไมโครโปรเซสเซอร์สั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว(D) เพื่อระบายสลัดจ์ส่วนเกินเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ก็สั่งปิดวาล์ว
5. ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งปิดอุปกรณ์ทุกอย่างเพื่อให้สลัดจ์จมตัว

6. ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว(E) เพื่อระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ก็สั่งปิดวาล์ว (มีปริมาณน้ำค้างถึงปฏิกิริยาเท่ากับ 4 ลิตร)
7. ควบวัฏจักรกลับไปเริ่มต้นที่ขั้นตอนที่ 1 ใหม่



รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบเอสบีอาร์

3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

3.4.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างจะถูกเก็บตามตำแหน่งต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งช่วงที่เก็บตัวอย่างน้ำเข้าจะเก็บก่อนที่น้ำเสียจะเข้าระบบ ส่วนการเก็บตัวอย่างช่วงแอนแอโรบิกและแเอโรบิกจะเก็บก่อนที่จะ

สิ้นสุดการทำงานในแต่ละช่วง นอกจากนี้หลังจากเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว จะทำโพรไฟล์ของค่า พีเอช, ไออาร์พี, ออกซิเจนละลาย, ซีไอดี, สีนหน่วยเอสยู และกรดไขมันระเหยง่าย โดยการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์จนครบรอบวัฏจักร

การเก็บตัวอย่างเพื่อจะวิเคราะห์เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสจะเก็บช่วงปลายของสภาวะแอโรบิก ส่วนการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เอสเอสของน้ำทิ้งจากระบบจะเก็บจากถังรับน้ำทิ้ง โดยการกวนให้เข้ากันก่อนชักตัวอย่างไปวิเคราะห์

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ของพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง			
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
พีเอช	3W	3W/S/P	3W/S/P	-
ไออาร์พี	-	3W/S/P	3W/S/P	-
ออกซิเจนละลาย	-	3W/S/P	3W/S/P	-
อุณหภูมิ	-	3W	3W	-
เอสวี30	-	-	3W/S	-
เอ็มแอลเอสเอส	-	-	3W/S	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	-	3W/S	-
เอสเอส	-	-	-	3W/S
ซีไอดี (GF/C filter)	3W/S	3W/S/P	3W/S/P	-
สินหน่วยเอสยู (0.45 µm. filter)	3W/S	3W/S/P	3W/S/P	-
สินหน่วยเอตีเอ็มไอ (0.45 µm. filter)	3W/S	3W/S/P	3W/S/P	-
สภาพต่าง (GF/C filter)	I/S/P	I/S/P	I/S/P	-
ทีเคเอ็น (GF/C filter)	I/S	I/S	I/S	-
ฟอสฟอรัส (0.45 µm. filter)	I/S	I/S	I/S	-
กรดไขมันระเหยง่าย (titrate)	I	I/S/P	I/S/P	-

- 3W หมายถึงตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 วัน
- I หมายถึงตัวแปรที่วิเคราะห์เป็นระยะๆตามความจำเป็น (อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง)
- /S หมายถึงเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วทำการวิเคราะห์ 5 วัฏจักร เพื่อหาค่าเฉลี่ย
- /P หมายถึงทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทำโพรไฟล์เทียบกับเวลาใน 1 วัฏจักรจะเก็บเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว

* วิเคราะห์โดยไม่ผ่านการกรอง

3.4.2 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 3.5)

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆนั้นใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือมาตรฐานอเมริกา (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater,1995) และคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย,2540

ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	หมายเหตุ
พีเอช	Electronic pH meter with glass electrode	HORIBA F-13
โออาร์พี	Electronic ORP meter with platinum electrode	RADIOMETER PHM 80
ออกซิเจนละลาย	Membrane electrode method	YSI model 52
อุณหภูมิ	Thermometer method	RADIOMETER PHM 80
เอสวี30	Settled Volume method	-
เอ็มแอลเอสเอส	GF/C dring at 103°C	Heraew (103°C)
เอ็มแอลอีเอสเอส	GF/C dring at 103°C +550°C	Heraew(103°C)และCarbolite(550°C)
เอสเอส	GF/C dring at 103°C	Heraew (103°C)
ซีโอดี	Dichromate close reflux method	Memmert(150°C)
สี	Spectrophotometer	SHIMADZU UV-1201
สภาพต่าง	Titration method	-
ทีเคเอ็น	Titration method	-
ฟอสฟอรัส	Vanadomolybdate acid method	SHIMADZU UV-1201
กรดไซระเหยง่าย	Titration method	-

3.5 การวัดสี

สำหรับการวัดสีในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้ คือ นำตัวอย่างน้ำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน ทั้งนี้เนื่องจากต้องการวัดค่าสีที่แท้จริง (true color) จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สแกนสีวัดออกมาเป็นค่าแอบซอเบแนนซ์ และค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร พื้นที่ได้กราฟระหว่างค่าแอบซอเบแนนซ์กับความยาวคลื่นระหว่างความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตรจะเป็นค่าสีหน่วยเอสยู (Gregor, 1992) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์ที่ความยาวคลื่นทุกๆ 10 นา

โนเมตร ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400 ถึง 700 จะนำมาคำนวณเป็นค่าสีเอ็ดเวิร์ด (Allen และคณะ, 1973 ; Standard Methods, 1995)