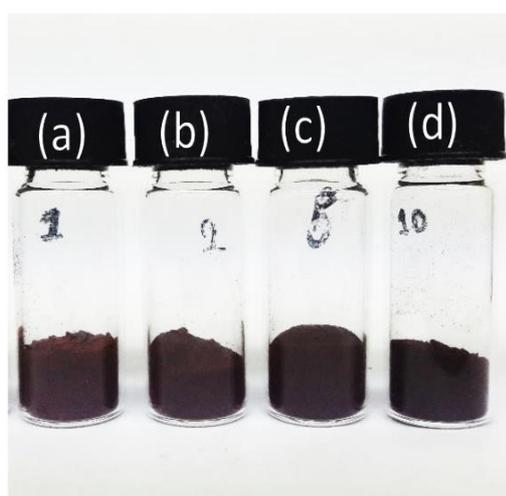


บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองสังเคราะห์ amorphous TiO_2 photocatalyst และ natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

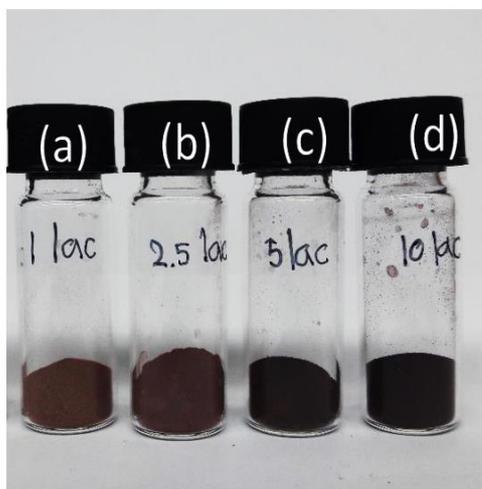
4.1 ลักษณะทางกายภาพของ amorphous TiO_2 photocatalyst และ natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts ที่สังเคราะห์ได้

ลักษณะทางกายภาพของ Brazilin-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากผง



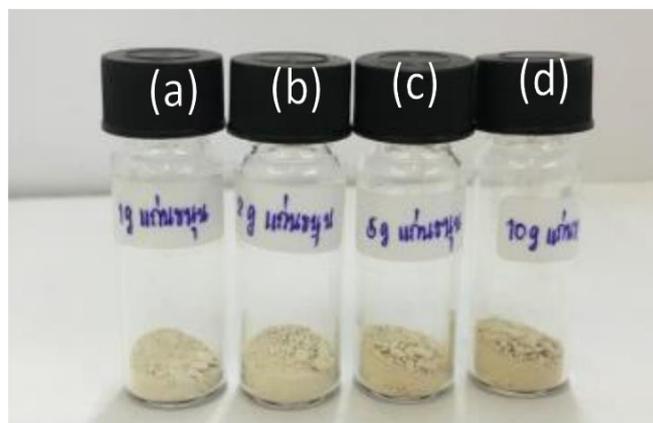
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของ Brazilin -amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากผง :
(a) 1bra-TE, (b) 2bra-TE, (c) 5bra-TE, (d) 10bra-TE

ลักษณะทางกายภาพของ brazilin-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากครั้ง



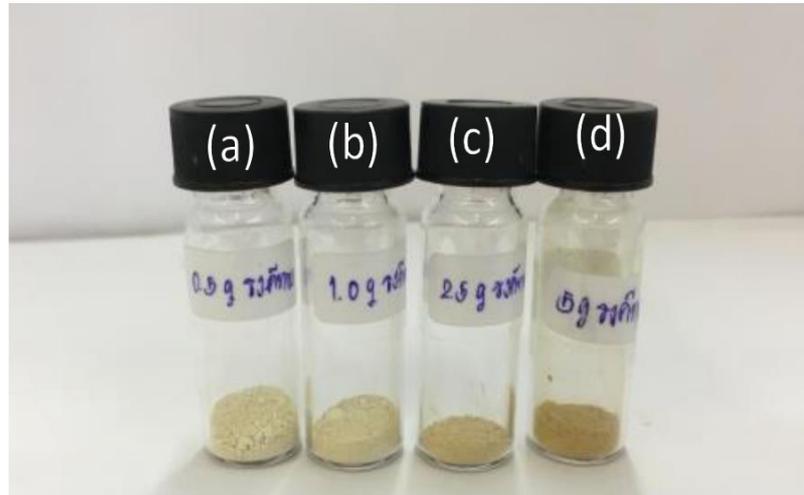
รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของ laccaic acid-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากครั้ง :
(a) 1lac-TE, (b) 2.5lac-TE, (c) 5lac-TE, (d) 10lac-TE

ลักษณะทางกายภาพของ morin-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากแก่นขนุน



รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของ morin-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้ :
(a) 1mor-TE, (b) 2mor-TE, (c) 5mor-TE, (d) 10mor-TE

ลักษณะทางกายภาพของ gambogic-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากรงค์ทอง

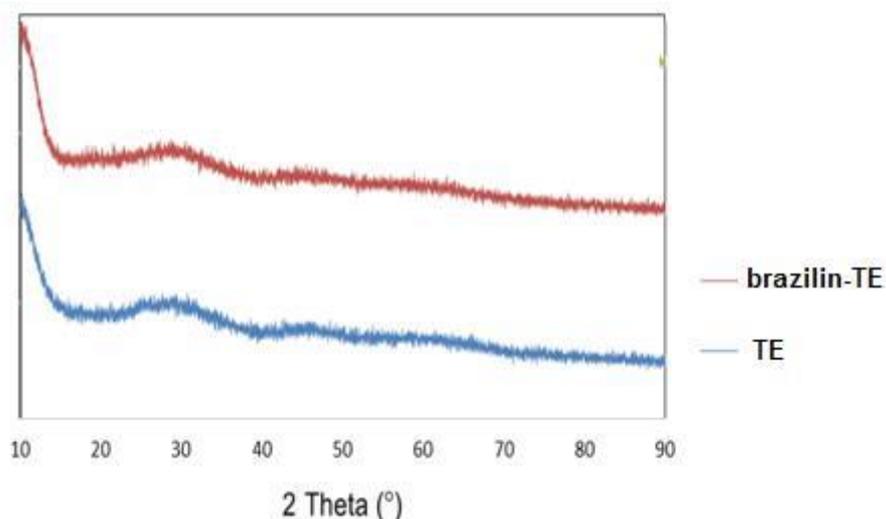


รูปที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของ gambogic-amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากรงค์ทอง :
(a) 0.5gam-TE, (b) 1gam-TE, (c) 2.5gam-TE, (d) 5gam-TE

จากรูปที่ 4.1-4.4 นั้นคือ amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งคือ Brazilin -amorphous TiO_2 และ laccaic acid-amorphous TiO_2 พบว่ามีลักษณะเป็นผงละเอียดสีม่วงส่วนผง morin-amorphous TiO_2 และ gambogic-amorphous TiO_2 พบว่ามีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน รูปที่ดัง 4.3 และ 4.4

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ amorphous TiO_2 photocatalyst และ natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts ด้วยเทคนิค X-Ray Diffractometry (XRD)

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผง amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้และผง natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts ด้วยเครื่อง XRD ใช้รังสี $\text{Cu K}\alpha$ (40 kV, 30 mA) พบว่าผงตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้เป็นเฟสอสัณฐาน (amorphous) โดยพิจารณาจาก XRD pattern พบว่าไม่ปรากฏพีคที่แสดงความเป็นผลึก แสดงดังรูปที่ 4.5

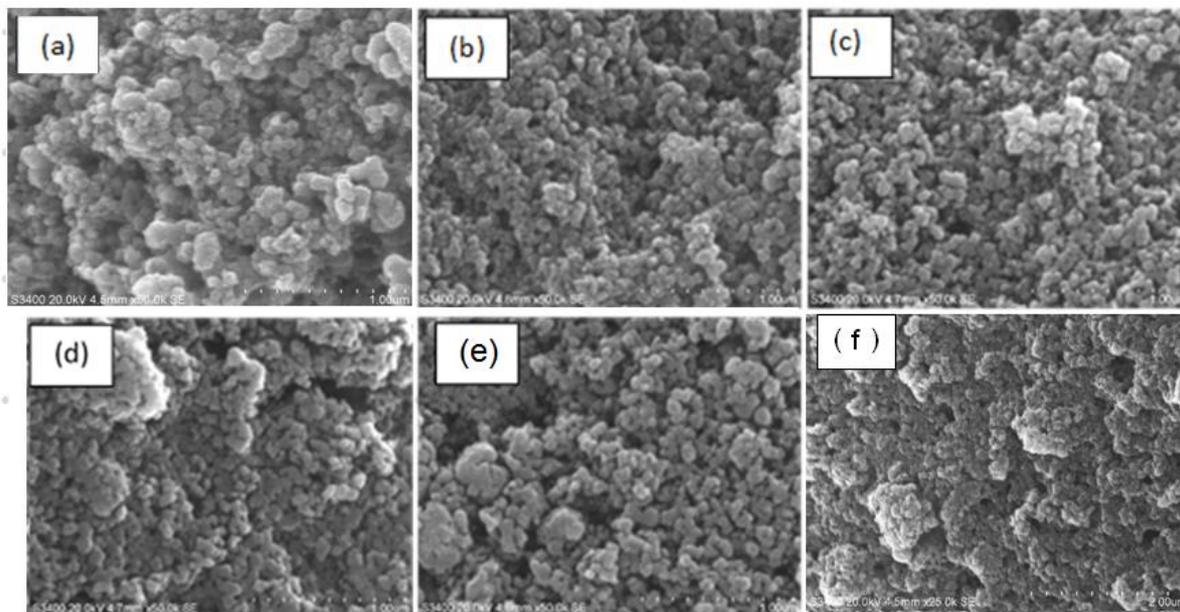


รูปที่ 4.5 XRD patterns ของ amorphous TiO_2 photocatalyst และ brazilin-amorphous TiO_2 photocatalyst

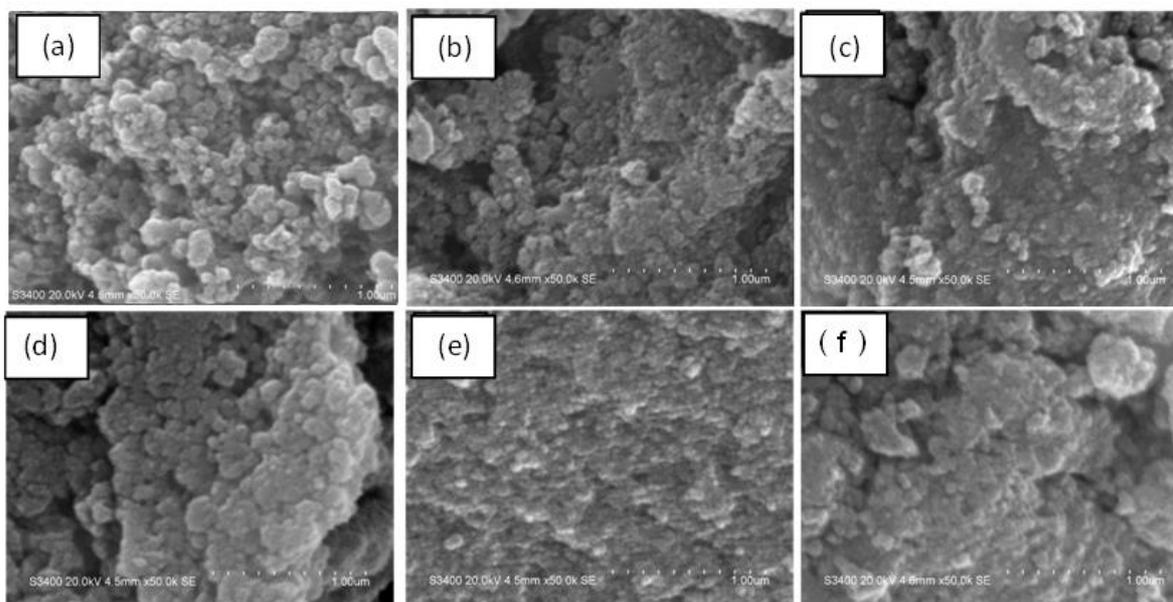
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ amorphous TiO_2 photocatalyst และ natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะของผง amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้คือ TE และผง natural dye-sensitized amorphous TiO_2 , brazilin-amorphous TiO_2 [1bra-TE, 2.5bra-TE, 5bra-TE และ 10bra-TE], และ laccaic acid-amorphous TiO_2 [1lac-TE, 2.5 lac-TE, 5 lac-TE, 10 lac-TE] ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.6 - 4.7 ตามลำดับ พบว่า amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะผงค่อนข้างกลม ประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆมาเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นที่มีขนาดประมาณ 80 – 150 นาโนเมตร ส่วน natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalyst มีลักษณะรูปร่างเหมือน TE โดยมีลักษณะเป็นทรงกลมในระดับนาโนเมตรที่มีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนเช่นกัน โดยผล SEM ของ natural dye-sensitized amorphous TiO_2 ก็คล้ายกับอนุภาค ซึ่งมองไม่เห็นสารสกัดจากธรรมชาติที่ดูดซับที่ผิวของ TE

Note สำหรับ SEM images ของ ผง natural dye-sensitized amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จาก แก่นขนุนและรงค์ทอง ไม่ได้ทดสอบ ซึ่งทางผู้วิจัยคาดว่ารูปร่างน่าจะไม่เปลี่ยนแปลงจากผง amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้คล้ายกับกรณีของผง natural dye-sensitized amorphous TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้จากแก่นฝาง และครึ่ง



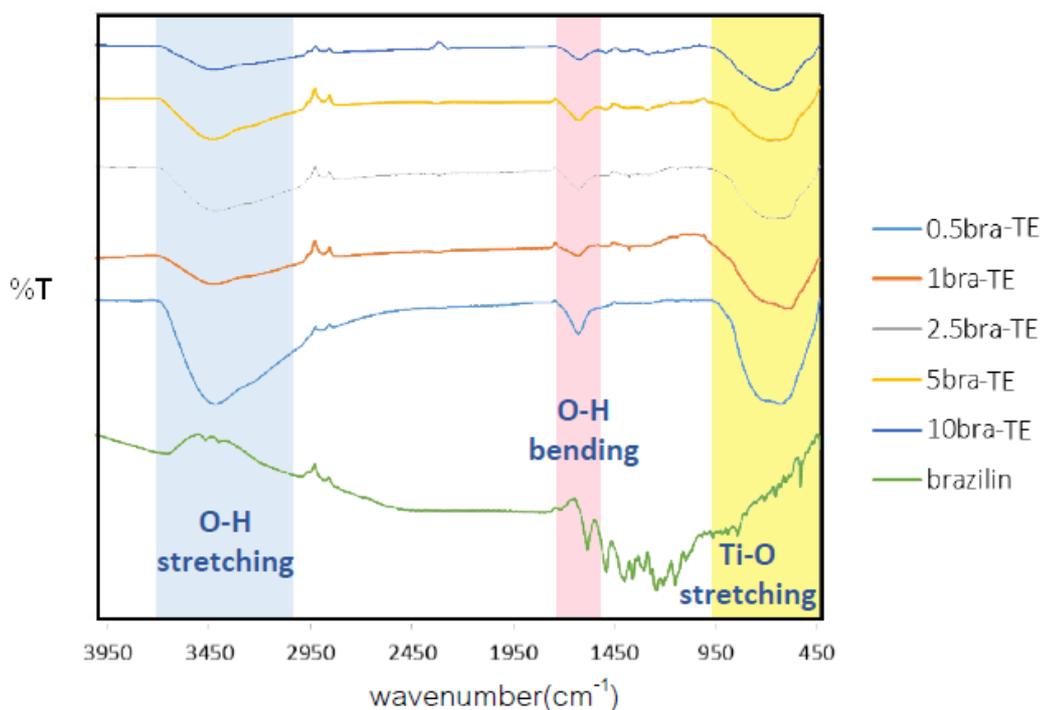
รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผง brazilin-amorphous TiO₂ photocatalyst , (a) TE (b) 0.5bra-TE, (c) 1bra-TE, (d) 2.5bra-TE, (e) 5bra-TE, (f) 10bra-TE ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า



รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผง laccaic acid-amorphous TiO₂ photocatalyst, (a) TE , (b) 0.5lac-TE, (c) 1lac-TE, (d) 2.5lac-TE, (e) 5lac-TE, (f) 10lac-TE ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า

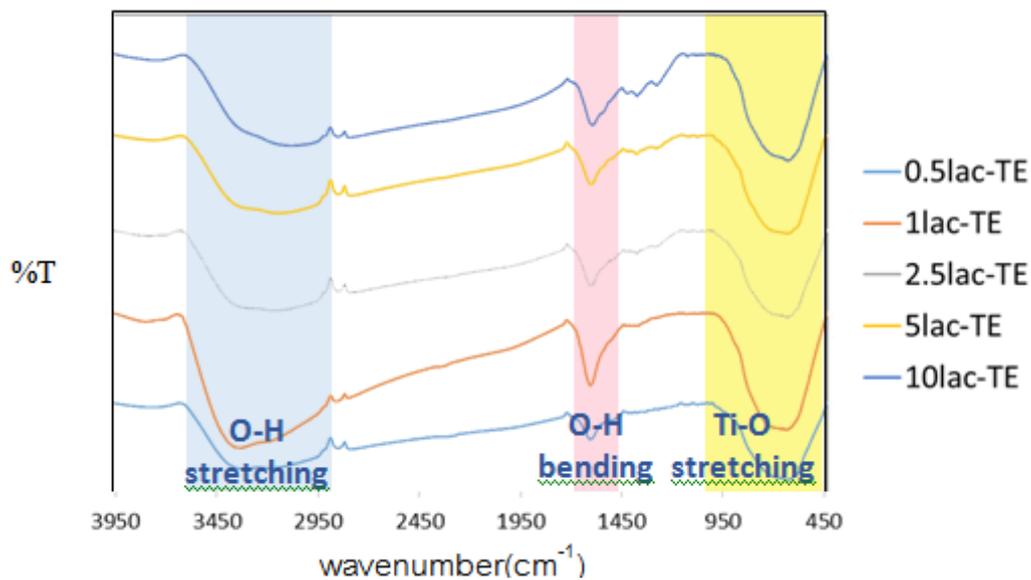
4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของamorphous TiO₂ photocatalyst และ natural dye-sensitized amorphous TiO₂ photocatalysts ด้วยเทคนิค Fourier-Transformed Infrared spectrophotometer (FT-IR)

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผง amorphous TiO₂ ที่สังเคราะห์ได้คือ TE และผง natural dye-sensitized amorphous TiO₂ คือ brazilin-amorphous TiO₂ , laccaic acid-amorphous TiO₂ , morin-amorphous TiO₂, gambogic-amorphous TiO₂ ด้วยเครื่อง FT-IR ที่ช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) 4000– 400 cm⁻¹ แสดงในรูปที่ 4.8-4.11 ซึ่งจะเห็นว่าที่เลขคลื่นช่วง 3600-2800 cm⁻¹ แสดงการสั่นของพันธะ O-H stretching โดยเป็นพันธะไฮโดรเจนมีลักษณะแถบกว้างที่เลขคลื่นประมาณ 1600cm⁻¹ เป็นพีคของ O-H bending ของโมเลกุลน้ำในโครงสร้างผลึก สำหรับช่วงเลขคลื่น 400-800 cm⁻¹ เป็นพีคของ Ti-O stretching ส่วนสีย้อมธรรมชาติพบที่เลขคลื่น ประมาณ 2908, 2846 และ 1300cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching และ C-H stretching vibrations ตามลำดับ



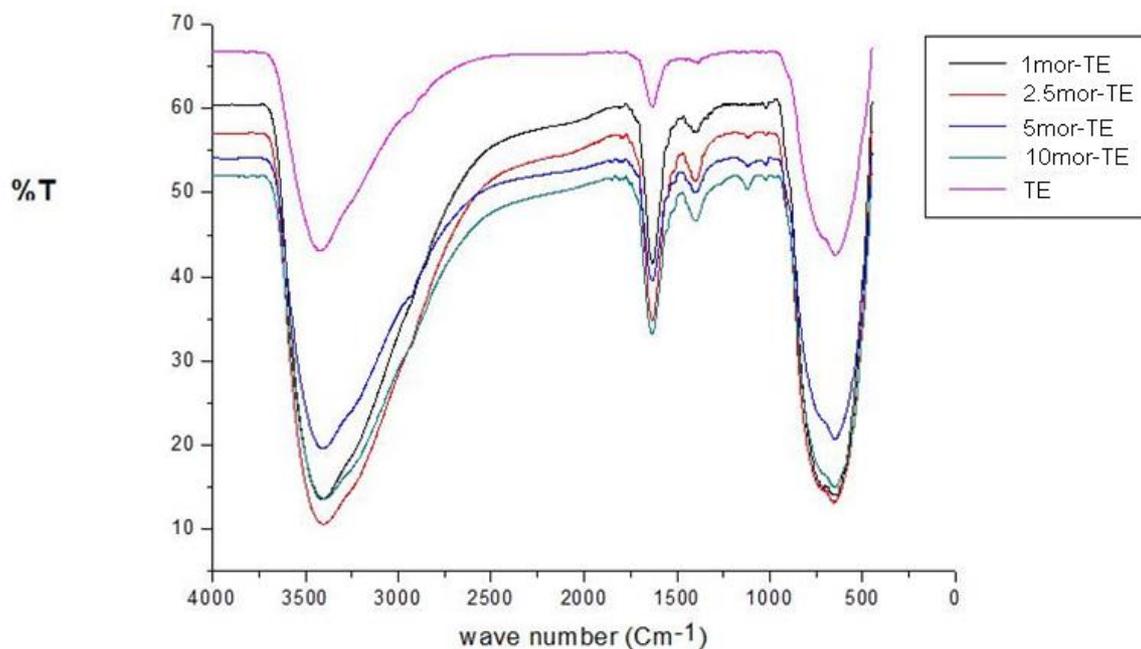
รูปที่ 4.8 FT-IR spectra ของ brazilin-amorphous TiO₂ photocatalyst

สำหรับ FT-IR spectra ของ brazilin พบว่าที่เลขคลื่น 2908 และ 2846 cm⁻¹ เป็นพีคของ C-H stretching ที่เลขคลื่น 3405 cm⁻¹ เป็นพีคของ O-H stretching และพีคที่ 1300 cm⁻¹ เป็นพีคของ C-H stretching vibrations เมื่อพิจารณา FT-IR spectra ของ brazilin-amorphous TiO₂ พบว่าปรากฏพีคของ สีย้อมธรรมชาติ ที่เลขคลื่นประมาณ คลื่น 2908, 2846 และ 1300cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching และ C-H stretching vibrations ตามลำดับ และที่เลขคลื่น 800-400 cm⁻¹ เป็นพีคของ Ti-O stretching จึงทำให้ทราบว่า มี brazilin เกาะอยู่ที่พื้นผิวของ amorphous TiO₂

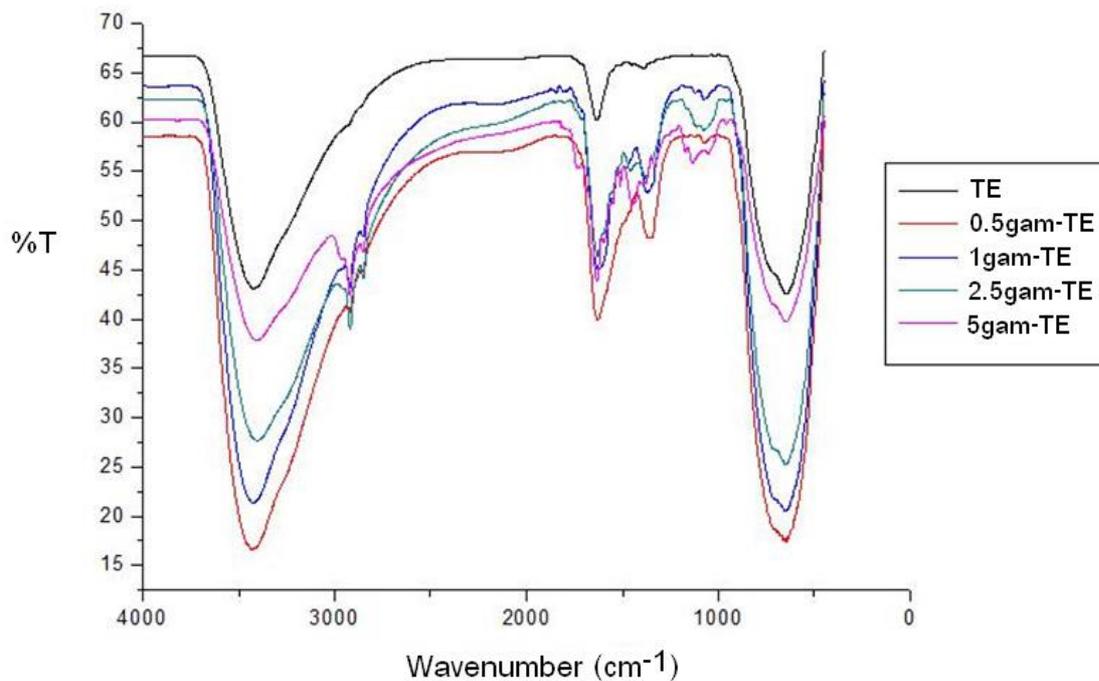


รูปที่ 4.9 FT-IR spectra ของ laccaic acid-amorphous TiO_2 photocatalyst

สำหรับ FT-IR spectra ของ laccaic acid-amorphous TiO_2 พบว่าปรากฏพีคของ สีย้อมธรรมชาติ ที่เลขคลื่นประมาณ คลื่น 2908, 2846 ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching และ C-H stretching vibrations ตามลำดับ และที่เลขคลื่น 800-400 cm^{-1} เป็นพีคของ Ti-O stretching จึงทำให้ทราบว่า มี laccaic acid เกาะอยู่ที่พื้นผิวของ amorphous TiO_2



รูปที่ 4.10 FT-IR spectra ของ morin-amorphous TiO_2 photocatalyst



รูปที่ 4.11 FT-IR spectra ของ gambogic-amorphous TiO_2 photocatalyst

สำหรับ FT-IR spectra ของ morin -amorphous TiO_2 พบว่าปรากฏพีคของ สีย้อมธรรมชาติ ที่เลขคลื่นประมาณ คลื่น 2908, 2846 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching และ C-H stretching vibrations ตามลำดับ ที่เลขคลื่นประมาณ คลื่น 1060 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-O stretching และที่เลขคลื่น 800-400 cm^{-1} เป็นพีคของ Ti-O stretching จึงทำให้ทราบว่า มี morin เกาะอยู่ที่พื้นผิวของ amorphous TiO_2

สำหรับ FT-IR spectra ของ gambogic -amorphous TiO_2 พบว่าปรากฏพีคของ สีย้อมธรรมชาติ ที่เลขคลื่นประมาณ คลื่น 2908, 2846 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching และ C-H stretching vibrations ตามลำดับ ที่เลขคลื่นประมาณ คลื่น 1060 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-O stretching และที่เลขคลื่น 800-400 cm^{-1} เป็นพีคของ Ti-O stretching จึงทำให้ทราบว่า มี gambogic เกาะอยู่ที่พื้นผิวของ amorphous TiO_2

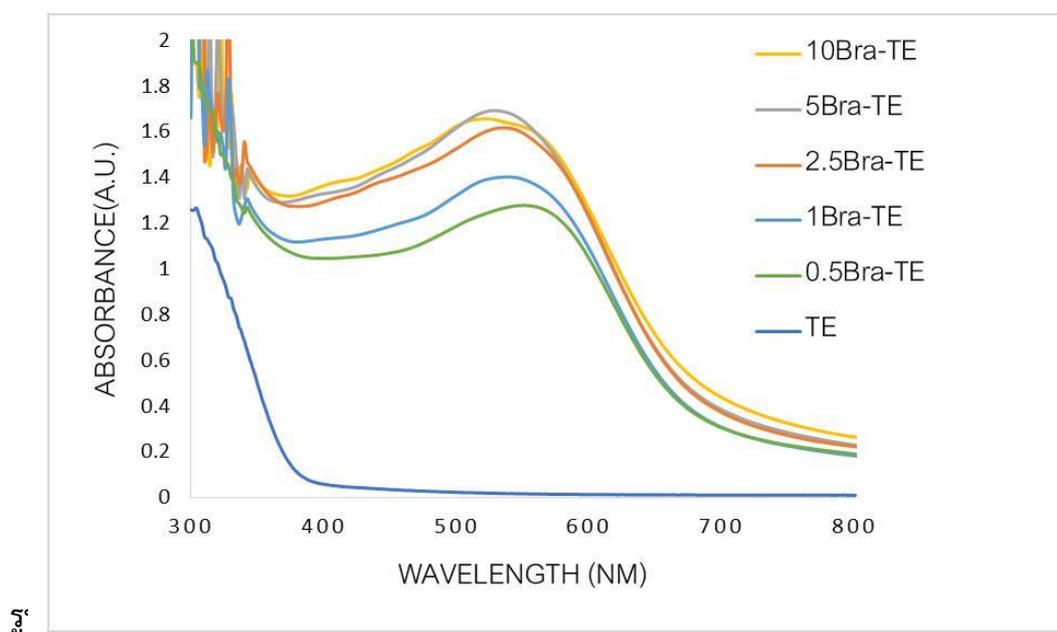
4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ amorphous TiO₂ photocatalyst และ natural dye-sensitized -amorphous TiO₂ photocatalysts ด้วยเทคนิค UV-Vis Diffuse Reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS)

ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงของผง amorphous TiO₂ ที่สังเคราะห์ที่ได้คือ TE และผง natural dye-sensitized amorphous TiO₂ คือ brazilin-amorphous TiO₂ , laccaic acid-amorphous TiO₂, morin-amorphous TiO₂ , gambogic-amorphous TiO₂ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 - 4.15 พบว่า TE มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงยูวี ส่วน natural dye-sensitized amorphous TiO₂ จะมีการดูดกลืนแสงในช่วงวิซีเบิลเพิ่มมากขึ้น

จาก DRS spectra สามารถคำนวณค่าพลังงาน band gap ได้จากสมการ Planck โดยทำการลากเส้นตัดกราฟ absorption edge ของสารแต่ละตัวจะได้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืน (λ_{onset}) และนำค่าไปคำนวณด้วยสมการของ Planck ดังนี้

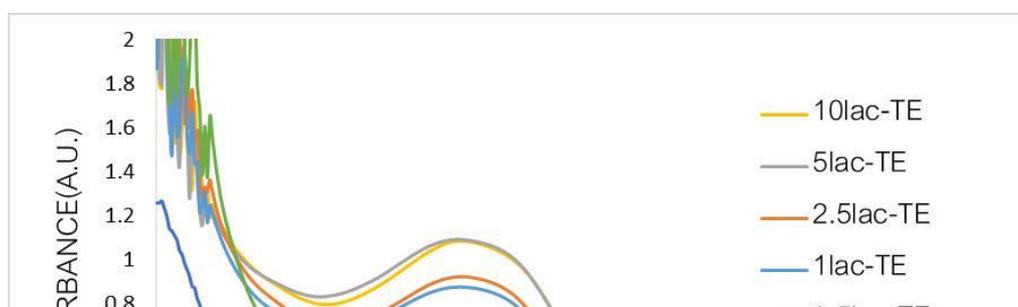
$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda_{onset}} = \frac{1240}{\lambda_{onset}}$$

- โดยที่ E_g คือ ค่าพลังงาน band gap (eV)
 h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (6.67×10^{-34} J.s)
 c คือ ความเร็วของแสง (3×10^8 m.s⁻¹)
 λ_{onset} คือ ความยาวคลื่นที่ดูดกลืน



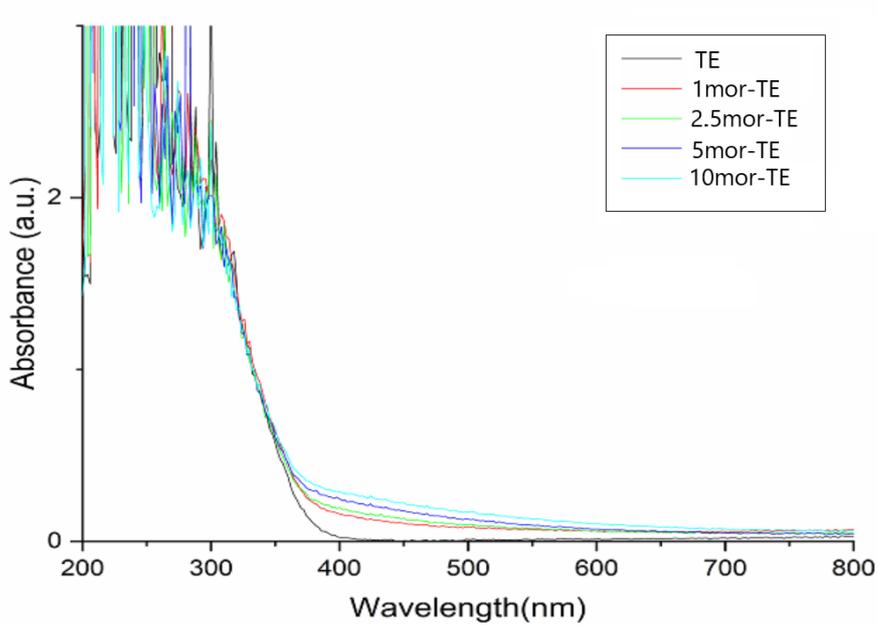
๕๗

จากรูปที่ 4.12 พบว่า brazilin-amorphous TiO₂ มีการดูดกลืนแสงช่วงวิซีเบิลเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ brazilin พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น



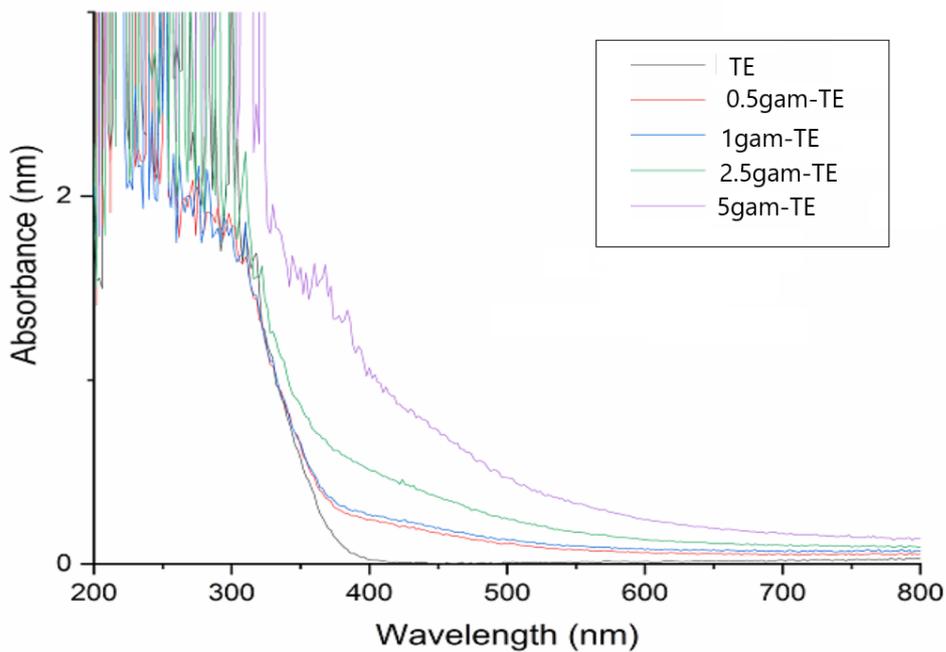
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ laccaic acid-amorphous TiO₂ photocatalyst

จากรูปที่ 4.13 พบว่า laccaic acid -amorphous TiO₂ มีการดูดกลืนแสงช่วงวิชิเบิลเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ laccaic acid พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ morin-amorphous TiO_2 photocatalyst

จากรูปที่ 4.14 พบว่า morin -amorphous TiO_2 มีการดูดกลืนแสงช่วงวิชิเบิลเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ morin พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ gambogic-amorphous TiO_2 photocatalyst

จากรูปที่ 4.15 พบว่า gambogic -amorphous TiO_2 มีการดูดกลืนแสงช่วงวิชิเบิลเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ gambogic พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น

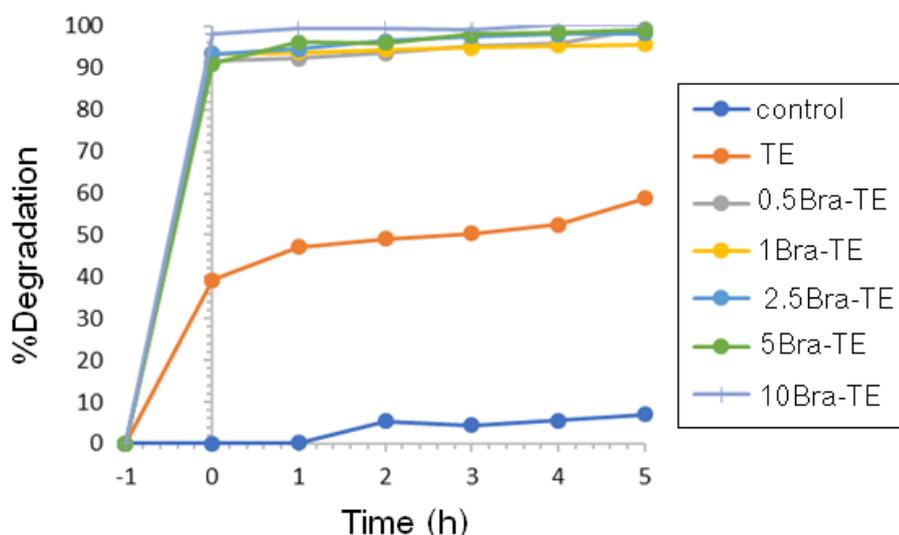
และเมื่อพิจารณา ค่าพลังงาน band gap จะพบว่า natural dye-sensitized amorphous TiO₂ มีค่าพลังงาน band gap ต่ำกว่า amorphous TiO₂ และเมื่อเพิ่มปริมาณ natural dye ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ จะมี band gap ที่ต่ำลง แสดงดังตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงคาดว่า natural dye-sensitized amorphous TiO₂ จะสามารถนำมาใช้งานภายใต้แสงวิซิเบิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5 ค่า λ_{onset} และ ค่า energy gap ของตัวอย่าง natural dye-sensitized amorphous TiO₂

ตัวอย่าง dye-sensitized TiO ₂	λ_{onset}	Eg (eV)
TE	380	3.26
1 bra-TE	460	2.70
2.5 bra-TE	515	2.41
5 bra-TE	545	2.28
10 bra-TE	555	2.23
1 lac-TE	470	2.64
2.5 lac-TE	520	2.38
5 lac-TE	565	2.19
10 lac-TE	630	1.97
1 mor-TE	382	3.24
2.5 mor-TE	384	3.23
5 mor-TE	386	3.22
10 mor-TE	392	3.16
0.5 gam-TE	382	3.24
1 gam-TE	384	3.23
2.5 gam-TE	400	3.10
5 gam-TE	480	2.58

4.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายเมทิลีนบลู

ผลการทดสอบการสลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1.00×10^{-5} M ภายใต้แสงวิซิเบิลเป็นเวลา 5 ชั่วโมงของผง amorphous TiO_2 photocatalyst ที่สังเคราะห์ได้และสังเคราะห์ natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts ที่เตรียมจากสารสกัดจาก แก่นฝาง ครั่ง แก่นขนุนและรงทองคือ brazilin-amorphous TiO_2 , laccaic acid-amorphous TiO_2 , morin-amorphous TiO_2 , gambogic-amorphous TiO_2 ดังแสดงในดั่งรูปที่ 4.16 – 4.19 พบว่า natural dye-sensitized amorphous TiO_2 photocatalysts มีประสิทธิภาพในการสลายเมทิลีนบลูได้ดีกว่า pure amorphous TiO_2 photocatalyst ภายใต้แสงวิซิเบิล



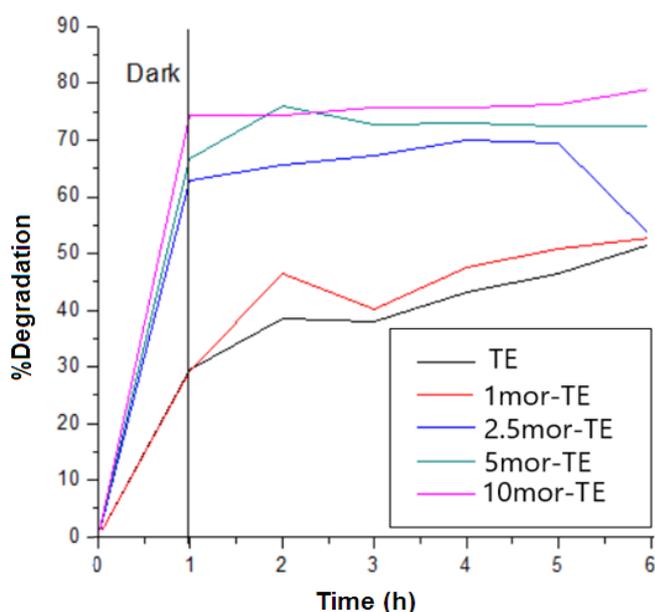
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบการย่อยสลายเมทิลีนบลูของ brazilin-amorphous TiO_2 photocatalyst ภายใต้แสงวิซิเบิล

จากรูปที่ 4.16 พบว่า brazilin-amorphous TiO_2 photocatalyst สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีกว่า TE โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ brazilin จะทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมากขึ้น และเมื่อเริ่มฉายแสงจะเริ่มเกิดการสลายเมทิลีนบลูด้วย $\bullet\text{OH}$ radical หรือ $\text{O}_2^{\bullet-}$ เวลาผ่านไปสีย้อมเมทิลีนบลูสลายตัวเพิ่มขึ้น จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า 10Bra-TE สามารถกำจัดเมทิลีนบลูได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายเมทิลีนบลูด้วย laccaic acid-amorphous TiO_2 photocatalyst ภายใต้แสงวิซิเบิล

จากรูปที่ 4.17 พบว่า laccaic acid-amorphous TiO_2 photocatalyst สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีกว่า TE โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ laccaic acid- จะทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมากขึ้น และเมื่อเริ่มฉายแสงจะเริ่มเกิดการสลายเมทิลีนบลูด้วย $\bullet\text{OH}$ radical หรือ $\text{O}_2^{\bullet-}$ เวลาผ่านไปสีย้อมเมทิลีนบลูสลายตัวเพิ่มขึ้น จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า 10Lac-TE สามารถกำจัดเมทิลีนบลูได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ คล้ายกับกรณีของ brazilin -amorphous TiO_2 photocatalyst แต่ประสิทธิภาพการสลายเมทิลีนบลูของ 10Lac-TE ยังน้อยกว่า 10Bra-TE เล็กน้อย

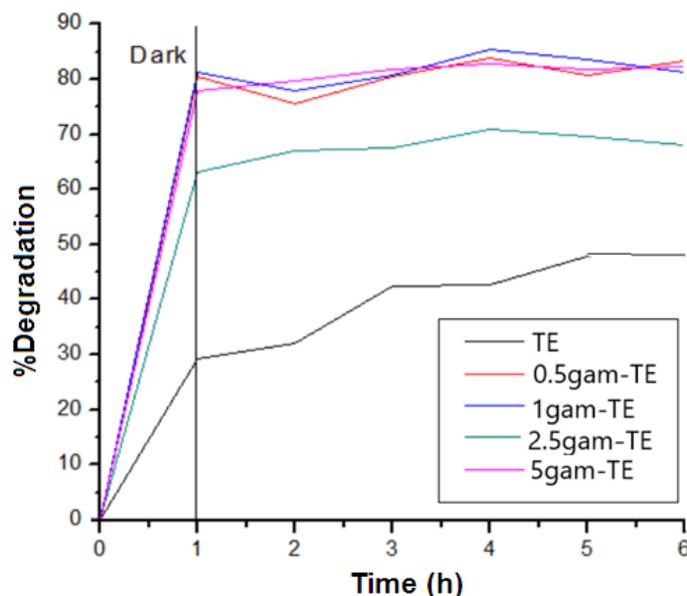


รูปที่ 4.18
ซิเบิล

photocatalyst ภายใต้แสงวิ

จากรูปที่ 4.18 พบว่า morin-amorphous TiO_2 photocatalyst สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีกว่า TE โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ morin จะทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมากขึ้น และเมื่อเริ่มฉายแสงจะเริ่มเกิดการสลายเมทิลีนบลูด้วย $\bullet\text{OH}$ radical หรือ $\text{O}_2^{\bullet-}$ เวลาผ่านไปสีย้อมเมทิลีนบลูสลายตัวเพิ่มขึ้น จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า 10Lac-TE สามารถกำจัดเมทิลีนบลูได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ คล้ายกับกรณีของ brazilin -amorphous TiO_2 photocatalyst และ laccaic acid-amorphous TiO_2 แต่ประสิทธิภาพการสลายเมทิล-

ลีนบลูของ 10mor-TE ยังดี้อยกว่า 10Bra-TE และ 10Lac-TE ทั้งนี้อาจเนื่องจาก 10mor-TE ดูดกลืนพลังงานช่วงวิซิเบิลได้น้อยกว่าทั้ง 10Bra-TE และ 10Lac-TE จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพการสลายเมทิลลีนบลูน้อยกว่า

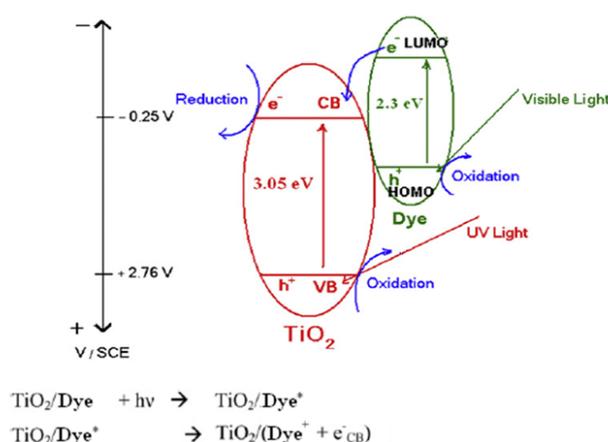


รูปที่ 4.19 เ
แสงวิซิเบิล

photocatalyst ภายใต้

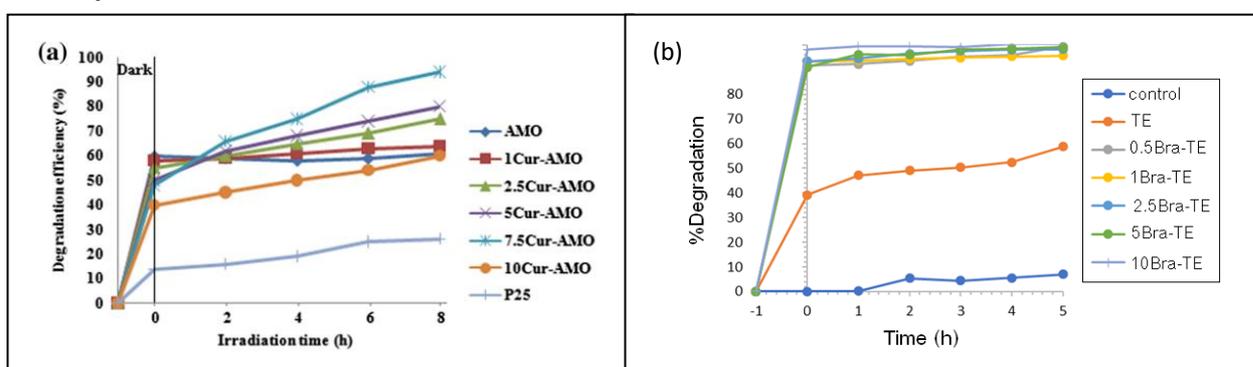
จากรูปที่ 4.19 พบว่า gambogic -amorphous TiO_2 photocatalyst สามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ดีกว่า TE โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ gambogic จะทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูมากขึ้น และเมื่อเริ่มฉายแสง จะเริ่มเกิดการสลายเมทิลลีนบลูด้วย $\cdot\text{OH}$ radical หรือ $\text{O}_2\cdot$ เวลาผ่านไปสีย้อมเมทิลลีนบลูสลายตัวเพิ่มขึ้น จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า 5gam-TE สามารถกำจัดเมทิลลีนบลูได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ คล้ายกับกรณีของ brazilin -amorphous TiO_2 photocatalyst และ laccaic acid-amorphous TiO_2 แต่ประสิทธิภาพการสลายเมทิลลีนบลูของ 5gam-TE สูงกว่า 10mor-TE เล็กน้อย เนื่องจาก 5gam-TE ดูดกลืนพลังงานช่วงวิซิเบิลได้สูงกว่า 10mor-TE เล็กน้อย แต่ยังมีประสิทธิภาพดี้อยกว่า 10Bra-TE และ 10Lac-TE ทั้งนี้อาจเนื่องจาก 5gam-TE ดูดกลืนพลังงานช่วงวิซิเบิลได้น้อยกว่าทั้ง 10Bra-TE และ 10Lac-TE จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพการสลายเมทิลลีนบลูน้อยกว่า

ดังนั้น ผลสรุปจากการศึกษาประสิทธิภาพการสลายเมทิลลีนบลูด้วย brazilin-amorphous TiO_2 มีประสิทธิภาพดีกว่า laccaic acid-amorphous TiO_2 , gambogic-amorphous TiO_2 , morin-amorphous TiO_2 ตามลำดับ ซึ่งโดยภาพรวมของการสลายเมทิลลีนบลูด้วย natural dye sensitized- TiO_2 สามารถอธิบายโดยกลไกการทำงานของ natural dye sensitized- TiO_2 แสดงดัง รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.20 Methylene blue photodegradation catalyzed by natural dye sensitized-TiO₂

เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Buddee และคณะ [17] ที่สังเคราะห์ curcumin-TiO₂ ด้วยวิธี impregnation มีประสิทธิภาพการสลายเมทิลีนบลู (ความเข้มข้น 1×10^{-4} M) ได้ 90% สำหรับ brazilin-amorphous TiO₂ จากงานวิจัยนี้ มีประสิทธิภาพการสลายเมทิลีนบลู (ความเข้มข้น 1×10^{-5} M) ได้ 98% แสดงดัง รูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสลายเมทิลีนบลูด้วย curcumin-TiO₂ (a) และ brazilin-amorphous TiO₂ photocatalyst (b) ภายใต้แสงวิซิเบิล

