

การประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอด เพื่อวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ

Applications of Light Emitting Diode and Photodiode for DOBI Measurement of Crude Palm Oil

สิริลักษณ์ เพ็ชรรัตน์ (Sirilak Phetcharat) ^{1*} ดร.หมุดตอเล็บ นิสอ (Dr.Mudtorlep Nisoa) ^{**}

บทคัดย่อ

ค่า DOBI (Deterioration of Bleachability Index) เป็นค่าที่ใช้กำหนดคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ ในการวิเคราะห์ค่า DOBI โรงงานบีบปาล์มขนาดใหญ่จะใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบก๊าซ มีระบบการแยกแสงที่ซับซ้อน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอด เพื่อพัฒนาเครื่อง DOBI meter สำหรับวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ ผลการวิจัยพบว่าเครื่อง DOBI meter ที่ได้พัฒนาขึ้นจากไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอดสามารถวัดค่า DOBI ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer มีความแตกต่างเพียง 2% เครื่อง DOBI meter ใช้ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอดอย่างละสองตัว ไดโอดเปล่งแสงมีสเปกตรัมที่มีความเข้มสูงสุด 269 nm และ 446 nm มีค่า full width at half maximum (FWHM) ประมาณ 51 และ 52 nm ตามลำดับ เครื่อง DOBI meter มีขนาดเล็กกระทัดรัด ไม่ซับซ้อน และราคาถูก ซึ่งมีศักยภาพสำหรับการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ABSTRACT

The Deterioration of Bleachability Index or DOBI is used to determine the quality of crude palm oil. In analyzing DOBI values, large palm oil factories use UV-Vis Spectrophotometer. The UV-Vis spectrophotometer uses a gas light source and light detector array with a sophisticated monochromator, which is expensive and must be imported from abroad. In this research DOBI meter was developed using light emitting diode and photodiode to determine DOBI values of crude palm oil. The results showed that the DOBI meter can accurately measure DOBI values. When compared with the measured values with the UV-Vis Spectrophotometer, there was only 2% difference. The DOBI meter uses two light emitting diodes and two photodiodes. Light-emitting diodes have a spectrum that peak at 269 nm and 446 nm with a full width at half maximum (FWHM) of approximately 51 and 52 nm, respectively, while photodiodes begin to respond at light intensity of approximately 500 counts. The DOBI meter is compact, simple and inexpensive that has the potential for further commercial development.

คำสำคัญ: ค่า DOBI น้ำมันปาล์มดิบ ไดโอดเปล่งแสง

Keywords: DOBI, Crude palm oil, Light Emitting Diode

¹Corresponding author: Phleng309@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันอันดับสามของโลก รองจากประเทศอินโดนีเซียและประเทศมาเลเซีย โดยโรงบีบปาล์มขนาดใหญ่จะใช้น้ำร้อนและโรงบีบปาล์มขนาดเล็กหรือโรงบีบรวมจะใช้น้ำร้อนในการให้ความร้อน หลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อน การบีบ และการทำความสะอาดจะได้น้ำมันปาล์มดิบซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังโรงกลั่นเพื่อผลิตน้ำมันปาล์มสำหรับการบริโภค หรือผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น ในการรับซื้อน้ำมันปาล์มดิบจะกำหนดราคาจากเกรดของน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า DOBI (Deterioration of Bleachability Index) และค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ โรงบีบปาล์มขนาดใหญ่ซึ่งมีเทคโนโลยีน้ำร้อน สามารถให้ความร้อนกับทะลายปาล์มได้อย่างรวดเร็ว ผลิตได้น้ำมันปาล์มดิบเกรดเอ ในขณะที่โรงบีบปาล์มขนาดเล็กหรือโรงบีบรวมซึ่งใช้น้ำร้อนจากการเผาไหม้ของไม้ฟืน ผลิตได้เพียงน้ำมันปาล์มดิบเกรดบี

ค่า DOBI เป็นค่าที่ใช้กำหนดเกรดของน้ำมันปาล์มดิบ ใช้บอกคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบในด้านความสุกและความสดของผลปาล์มที่นำมาหีบ ค่า DOBI ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบ ถ้าค่า DOBI ต่ำกว่า 2 จะเป็นน้ำมันปาล์มดิบเกรดบี โรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มจะไม่รับซื้อ ในปัจจุบันพบว่านอกจากโรงบีบรวมไม่มีเทคโนโลยีที่จะผลิตน้ำมันปาล์มดิบให้ได้ค่า DOBI สูงอยู่ในระดับน้ำมันคุณภาพเกรดเอได้แล้ว โรงบีบรวมเกือบทั้งหมดไม่มีเครื่องมือวัดค่า DOBI เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายอินทรีย์จะใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งจะวัดการดูดกลืนแสงของสารและทำให้ทราบชนิดและปริมาณของสารองค์ประกอบที่มีอยู่ โดยสารองค์ประกอบแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงความยาวคลื่นต่างกัน และปริมาณของการดูดกลืนแสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเหล่านั้น [1] เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ Gas discharge tubes และใช้เซ็นเซอร์แสงในช่วงความยาวคลื่นกว้าง สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้หลากหลาย ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีส่วนประกอบซับซ้อน ราคาแพง และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง [2] ในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมามีการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงแบบไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode (LED)) และเซ็นเซอร์แสงแบบโฟโตไดโอด (Photodiode) ที่มีความยาวคลื่นครอบคลุมตั้งแต่รังสี UV จนถึงรังสีอินฟราเรด อุปกรณ์ไดโอดเชิงแสงมีขนาดเล็ก ทนทาน อายุการใช้งานสูง และใช้ไฟฟ้าน้อย และสามารถเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการได้ [3] ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ไดโอดเชิงแสงเพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเฉพาะทางอย่างหลากหลาย เพื่อใช้งานที่เกี่ยวข้องกับด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย เป็นต้น ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาประหยัด กะทัดรัด และนำไปใช้ในภาคสนามได้ [4]

ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสง และโฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์แสงสำหรับพัฒนาเครื่อง DOBI meter เพื่อวัดค่า DOBI ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการดูดกลืนแสงของอัลดีไฮด์ คีโตน และ เบต้าแคโรทีน [5] เครื่อง DOBI meter ที่ได้พัฒนาขึ้น มีความถูกต้องและแม่นยำในการวัดเทียบเท่ากับเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แต่มีระบบที่ซับซ้อนน้อยกว่า ขนาดกะทัดรัด ทนทาน และมีราคาถูกกว่า ซึ่งจะทำให้โรงบีบรวมสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อควบคุมค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบให้ได้มาตรฐานที่สูงขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของน้ำมันปาล์มดิบ
2. เพื่อพัฒนาเครื่องวัดค่า DOBI ซึ่งมีขนาดกะทัดรัด มีความถูกต้องแม่นยำในการวัด และมีราคาเหมาะสม

เครื่องมือและวิธีการ

หลักการดูดกลืนแสงของสารประกอบอินทรีย์

สารประกอบอินทรีย์คือสารหรือโมเลกุลที่มีอะตอมของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ การดูดกลืนแสงของสารประกอบอินทรีย์เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลกับแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของโมเลกุลและความยาวคลื่นของแสง (λ) ระดับพลังงานของโมเลกุลเกิดจากการสร้างพันธะของอะตอมที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีพันธะลักษณะต่างๆ โดยมีพลังงานพันธะเรียงจากต่ำไปสูงคือ พันธะซิกมา (σ -bonding) พันธะพาย (π -bonding) อิเล็กตรอนคู่เดี่ยว (n) พันธะแอนติพาย (π^* -bonding) และพันธะแอนติซิกมา (σ^* -bonding) โมเลกุลที่สถานะพื้น (ground states) จะมีพันธะซิกมา พันธะพาย (π -bonding) หรือทั้งคู่ โมเลกุลจะดูดกลืนแสงซึ่งมีพลังงานโฟตอน E_p เท่ากับผลต่างของระดับพลังงานของพันธะ หรือ $E_p = \Delta E = E_f - E_i$ เมื่อ E_i คือพลังงานที่สถานะพื้นของระดับพลังงานพันธะซิกมา พันธะพาย หรืออิเล็กตรอนคู่เดี่ยว และ E_f คือพลังงานที่สถานะกระตุ้นของระดับพลังงานพันธะแอนติพาย หรือพันธะแอนติซิกมา ซึ่ง $E_p = hc/\lambda$ เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์ และ c คือความเร็วแสง โดยโมเลกุลแต่ละชนิดมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน เนื่องจากมีความแตกต่างของระดับพลังงานดังกล่าวไม่เท่ากัน [1] เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของพันธะแต่ละชนิดคือ [6]

1. การดูดกลืนแสงช่วง Far UV ซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 190 nm จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงพันธะ $\sigma \rightarrow \sigma^*$ หรือ $n \rightarrow \sigma^*$ ซึ่งจะเกิดกับพันธะเดี่ยวของโมเลกุลแอลคีน มีเทน และอีเทน เป็นต้น

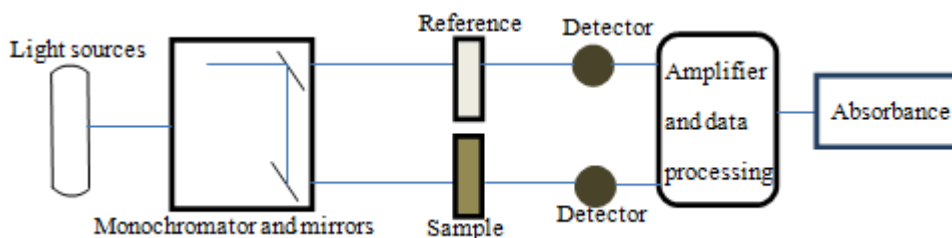
2. การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี ซึ่งมีความยาวคลื่น 190-380 nm จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงพันธะ $n \rightarrow \pi^*$ หรือ $\pi \rightarrow \pi^*$ โดยจะเกิดกับสารอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ (Chromophore) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันพันธะคู่หรือพันธะสาม เช่น อัลดีไฮด์หรือคีโตนจะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 260-280 nm เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงพันธะ $n \rightarrow \pi^*$ [7] กรดโอเลอิกซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันปาล์มดิบจะดูดกลืนแสงความยาวคลื่นประมาณ 240 nm เนื่องจากเป็นกรดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ และทำให้เปลี่ยนแปลงพันธะ $\pi \rightarrow \pi^*$ [8]

การเกิดคอนจูเกต (Conjugate) ของพันธะคู่ภายในโมเลกุลของสารอินทรีย์จะทำให้พลังงานในการเปลี่ยนพันธะ $\pi \rightarrow \pi^*$ มีค่าต่ำลง ซึ่งทำให้โมเลกุลดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น คอนจูเกตเกิดจากการเรียงสลับระหว่างพันธะคู่และพันธะเดี่ยว ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนมีบริเวณของการเคลื่อนที่มากขึ้นและทำให้ความแตกต่างของพลังงานระหว่างพันธะพายและพันธะแอนติพายต่ำลง อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์ red shift หรือความยาวคลื่นที่โมเลกุลดูดกลืนจะมีความยาวคลื่นเข้าใกล้แสงสีแดง เช่น สารเบต้าแคโรทีนซึ่งมีพันธะคู่คอนจูเกตกัน 9 คู่จะเลื่อน (Shift) การดูดกลืนแสงจากยูวี เป็นแสงที่ความยาวคลื่น 445 nm ซึ่งเป็นแสงสีน้ำเงินในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) ทำให้มองเห็นเบต้าแคโรทีนมีสีส้ม เนื่องจากสีแดงและเหลืองสะท้อนเข้าสู่ตาเรา

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer มีส่วนประกอบต่างๆดังแสดงในภาพที่ 1 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง (Light source) แบบหลอดก๊าซดิสชาร์จ (Gas discharge tubes) ที่ให้แสงในช่วงยูวีและแสงในช่วงที่ตามองเห็น แสงจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปใน Monochromator เพื่อคัดเลือกความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับการศึกษาการดูดกลืนของสารแต่ละชนิด เมื่อแสงผ่าน Beam splitter และกระจก แสงจะถูกแยกเป็น 2 ลำสำหรับเคลื่อนที่ผ่านภาชนะที่มีตัวทำละลายและ

เคลื่อนที่ผ่านสารละลายเพื่อให้เกิดการดูดกลืนขึ้น เซ็นเซอร์แสง (Detectors) 2 ตัวจะวัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจากตัวทำละลายและสารละลาย โดยเซ็นเซอร์แสงจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดความเข้มของแสงในช่วงยูวีและแสงในช่วงที่ตามองเห็น ซึ่งอาจจะใช้ Photomultiplier tube หรือ Photodiode array หรือ Charge-coupled devices [6] เซ็นเซอร์แสงจะเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และจะถูกนำไปขยายโดย Amplifier แล้วประมวลผลได้เป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งมีส่วนประกอบที่ซับซ้อน ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาต่อเครื่องสูงกว่า 200,000 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างสูงโดยเฉพาะหลอดยูวี



ภาพที่ 1 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต

เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่น λ และมีความเข้มแสง I_0 เคลื่อนที่ผ่านสารละลายอินทรีย์ที่มีความหนา L และมีความเข้มข้น c แสงจะถูกดูดกลืนแล้วทำให้ความเข้มแสงลดลงเหลือ I โดยการดูดกลืนแสงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการดูดกลืนแสง ϵ ซึ่งมีค่าเฉพาะสำหรับโมเลกุลสารอินทรีย์แต่ละชนิดที่มีระดับพลังงานแตกต่างกัน โดยโมเลกุลจะดูดกลืนแสงที่มี λ ซึ่งมีพลังงานพอดีทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น ดังนั้นค่า ϵ แต่ละชนิดจะเป็นฟังก์ชันของ λ ถ้าให้ค่าดูดกลืนแสง $A = \log I / I_0$ จะได้กฎของกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต $A(\lambda) = \epsilon(\lambda)Lc$ โดยค่า A ของโมเลกุลแต่ละชนิดในสารละลายอินทรีย์ที่มีความยาวคลื่นใดๆจะแตกต่างกัน ทำให้สามารถหาความเข้มข้นของโมเลกุลแต่ละชนิดได้ ถ้าค่า A ที่ความยาวคลื่นของโมเลกุลใดสูงแสดงว่ามีความเข้มข้นมาก [9]

องค์ประกอบและการดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบ

หลังจากที่ผลปาล์มสดผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำหรือลมร้อนแล้ว ผลปาล์มจะถูกบีบเพื่อคั้นน้ำมันปาล์มดิบออกมา น้ำมันปาล์มดิบจากเปลือกด้านนอก มีองค์ประกอบหลักเป็น กรดปาล์มเมติก และกรดโอเลอิก [10] ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบของเมล็ดในมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดลอริกและกรดไมริสติก [11] เมื่อวัดการดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200-800 nm จะมีสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงซึ่งประกอบด้วยการดูดกลืนแสงในช่วง 230-250 nm เนื่องจากกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว การดูดกลืนแสงในช่วง 260-280 nm เนื่องจากคีโตนและอัลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งแรกที่สอง และการดูดกลืนแสงในช่วง 400-500 nm เนื่องจากแคโรทีน [8]

การวัดค่า DOBI

ค่า DOBI ถูกพัฒนาโดยนักวิจัยของสถาบันวิจัยน้ำมันปาล์มของประเทศมาเลเซีย [5] ซึ่งนิยามโดย

$$DOBI = \frac{A_{446}}{A_{269}}$$

เมื่อ A_{269} และ A_{446} คือค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบที่ความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ตามลำดับ จากกฎของเบียร์-แลมเบิร์ตซึ่ง $A \propto \epsilon$ ดังนั้นการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 446 nm จะสัมพันธ์กับปริมาณของสารแค

โรทีน และการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 269 nm สัมพันธ์กับปริมาณของอัลดีไฮด์และคีโตน ถ้าค่า DOBI สูงแสดงว่า น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณของแคโรทีนสูงและมีคุณภาพดี ในขณะที่ค่า DOBI ต่ำจะเกิดจากผลปาล์มยังไม่สุกหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่สองสูง ในการวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐาน ISO 1792:2011 จะมีขั้นตอนประกอบด้วย นำน้ำมันปาล์มดิบ 0.1 g มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เจือจางด้วยตัวทำละลายไอโซออกเทน (2,2,4-trimethylpentane) หรือเฮกเซน 95% ให้มีปริมาตร 25 ml เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

อุปกรณ์การทดลอง

ไดโอดเปล่งแสง

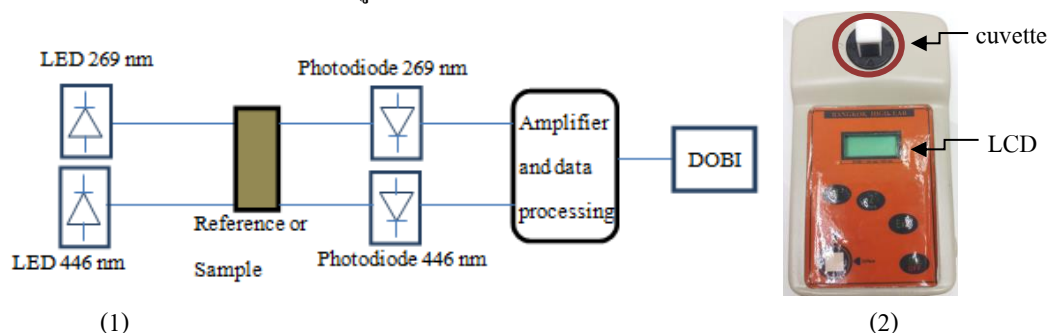
ไดโอดเปล่งแสง เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ โดยมีโครงสร้างเป็น P-N junction เมื่อมีกระแสไหลผ่านรอยต่อ (junction) การรวมกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮลจะเปล่งแสงออกมา ในปัจจุบันได้มีพัฒนาไดโอดเปล่งแสงที่ให้แสงครอบคลุมตั้งแต่ยูวีถึงอินฟราเรด ไดโอดแต่ละตัวมีเพียงรอยต่อเดียวจะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ มีความกว้างของสเปกตรัม 20-40 nm [4, 12] ซึ่งไดโอดเปล่งแสงที่ให้แสงในช่วงยูวี $\lambda < 350$ nm จะมีราคาแพงเนื่องจากต้องสร้างจากสารกึ่งตัวนำที่ทำให้มีค่า Bandgap energy สูง ไดโอดเปล่งแสงถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในเครื่องวัดการดูดกลืนแสง เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาร โดยเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงแบบไส้หรือหลอดฉีกรังสี ไดโอดเปล่งแสงมีข้อดีก็คือ ขนาดเล็ก กินไฟน้อย ราคาถูก อายุการใช้งานนาน และเนื่องจากมีความยาวคลื่นเฉพาะทำให้ไม่ต้องใช้ Monochromator ปัจจุบันมีการใช้ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อวัดการดูดกลืนแสงของสาร[13-16] ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 269 nm รุ่น TH-UV265-TO39H-H-B และไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 446 nm รุ่น LUXEON REBEL LED, Royal Blue, 500 mW min HS code 58414010

โฟโตไดโอด

เมื่อแสงมีความเข้ม I_0 เคลื่อนที่ผ่านสารละลายจะมีความเข้มลดลงเนื่องจากถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของสารอินทรีย์ ซึ่งจะต้องมีเซ็นเซอร์แสงเพื่อวัดความเข้มของแสง I ที่เหลืออยู่ โฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์แสงที่ได้รับการนิยมนามากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากตอบสนองเร็ว ใช้ความต้งศักย์ต่ำ ขนาดเล็ก มีอายุการใช้งานนาน และราคาถูก โฟโตไดโอดประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P เช่นเดียวกับไดโอดเปล่งแสง แต่มีเลนส์ที่จะทำหน้าที่รวมแสงเพื่อส่งไปยังบริเวณรอยต่อ เมื่อแสงตกกระทบบที่รอยต่อพลังงานของโฟตอนจะสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลอิสระขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าของโฟโตไดโอด โดยกระแสไฟฟ้าจะเกิดจากการเคลื่อนของโฮลและอิเล็กตรอน กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มตามความเข้มของแสง โดยโฟโตไดโอดแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน โดยซิลิกอนโฟโตไดโอด จะตอบสนองในช่วงความยาวคลื่น 190-1100 nm ในงานวิจัยนี้ใช้โฟโตไดโอดรุ่น SG01S-C18 เพื่อวัดแสงความยาวคลื่น 269 nm และใช้โฟโตไดโอดรุ่น Hamamatsu S1223-01 Full Spectrum Si Photodiode, Through Hole TO-54155722 เพื่อวัดแสงความยาวคลื่น 446 nm

การติดตั้งอุปกรณ์

เครื่อง DOBI meter มีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 2(1) ซึ่งมีไดโอดเปล่งแสง 2 ตัวเป็นแหล่งกำเนิดแสง เครื่อง DOBI meter ไม่ต้องใช้ Monochromator เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดแสงเพียงสองความยาวคลื่นที่เป็นอิสระกัน แสงเคลื่อนที่ผ่านภาชนะที่มีแต่ตัวทำละลายหรือสารละลาย เพื่อให้เกิดการดูดกลืนแสงขึ้น โฟโอดีไดโอดทั้งสองตัวจะวัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจากตัวทำละลายหรือสารละลาย โดยเลือกใช้โฟโอดีไดโอดที่สามารถวัดความเข้มของแสงที่มีความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ซึ่งโฟโอดีไดโอด [6] จะเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งเข้าไปยังวงจรขยายสัญญาณและวงจรประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่า DOBI โดยเครื่อง DOBI meter มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน มีขนาดกะทัดรัด ใช้งานง่าย และมีราคาถูก ดังแสดงในภาพที่ 2(2)



ภาพที่ 2 (1) ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของเครื่อง DOBI meter (2) รูปถ่ายเครื่อง DOBI meter

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่อง DOBI meter ได้มีการทดลองเพื่อศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง คือ ไดโอดเปล่งแสง โฟโอดีไดโอด และการทดลองเพื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบ

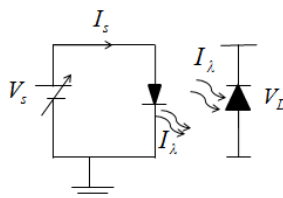
1. สมบัติของไดโอดเปล่งแสง

การทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ประกอบด้วย การวัด I-V curve การวัดสเปกตรัมของแสง และวัดการตอบสนองของไดโอดเปล่งแสงในการเปล่งแสงเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า ในการศึกษา I-V curve จะต่อความต่างศักย์แบบ Forward bias ให้กับไดโอดเปล่งแสงแต่ละตัว เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ V_s บันทึกค่ากระแสไฟฟ้า I_{s-269} และ I_{s-446} ที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงสำหรับการวัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงจะจ่ายกระแสไฟฟ้า $I_{s-269} = 30 \text{ mA}$ และ $I_{s-446} = 40 \text{ mA}$ ให้กับไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ตามลำดับ แล้ววัดสเปกตรัมของแสงทั้งสองโดยใช้ Ocean optics Spectrophotometer ในการวัดการตอบสนองของไดโอดเปล่งแสงนั้น จะจ่ายกระแสไฟฟ้า I_{s-269} และ I_{s-446} ให้กับไดโอดเปล่งแสงแต่ละความยาวคลื่น แล้ววัดความเข้มแสงสูงสุดของไดโอดเปล่งแสงทั้งสองตัว I_{269} และ I_{446} โดยการเพิ่มค่า I_{s-269} และ I_{s-446} จะทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของค่า I_{269} และ I_{446} ตามลำดับ

2. สมบัติของโฟโอดีไดโอด

การทดลองเพื่อศึกษาการตอบสนองของโฟโอดีไดโอดจะต่อวงจรไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 3 โดยจะจ่ายกระแสไฟฟ้า I_s ให้กับไดโอดเปล่งแสงแต่ละความยาวคลื่น และทำให้ไดโอดเปล่งแสงที่มีความเข้มแสง I_{269} หรือ I_{446} โดยเมื่อแสงที่มีความเข้มดังกล่าวไปตกกระทบโฟโอดีไดโอดของแต่ละความยาวคลื่น จะทำให้เกิดความต่างศักย์ V_D ที่ตกคร่อมโฟโอดีไดโอดเนื่องจากโฟตอนที่มาตกกระทบทำให้เกิดการสะสมของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระขึ้นที่

บริเวณรอยต่อของโพลีไดโอด โดยการเพิ่มค่าความเข้มแสง I_{269} หรือ I_{446} บันทึกค่าการเปลี่ยนของ V_{D-269} และ V_{D-446} เมื่อ V_{D-269} และ V_{D-446} คือความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโพลีไดโอดความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ตามลำดับ



ภาพที่ 3 วงจรไฟฟ้าของโพลีไดโอด

3. การดูดกลืนแสงและการวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ

การทดลองเพื่อศึกษาการดูดกลืนแสง และการวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ จะประกอบด้วยการศึกษาผลของความร้อนและเวลาต่อการดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบ โดยนำน้ำมันปาล์มดิบมาให้ความร้อนโดยใช้แผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 82, 115 และ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วง 200-550 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

สำหรับการวัดค่า DOBI จะนำน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านความร้อนมาวัดค่า DOBI ซึ่งจะมีการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มดิบในตัวทำละลายเฮกเซนต่อค่า DOBI โดยการใส่น้ำมันปาล์มดิบจำนวน 0, 2, 4, 6, 8, 10 หรือ 12 หยด ในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมเฮกเซนจนมีปริมาตร 25 ml แบ่งใส่ขวดวัดเพื่อนำไปวัดค่า DOBI ด้วยเครื่อง DOBI meter และเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เพื่อเปรียบเทียบผล

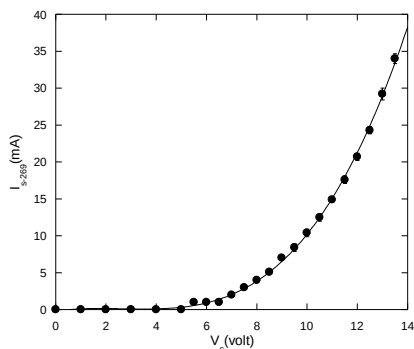
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจะประกอบด้วย I-V curve สเปกตรัมและการตอบสนองของไดโอดเปล่งแสง การตอบสนองของโพลีไดโอด การดูดกลืนแสงและค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบเมื่อวัดด้วยเครื่อง DOBI meter กับเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

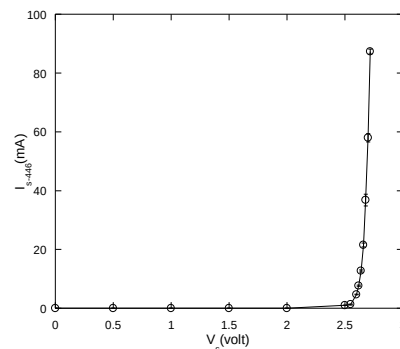
1. สมบัติของไดโอดเปล่งแสง

1.1 I-V curve

I-V curves ของไดโอดเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4(1) และ 4(2) ตามลำดับ เมื่อให้ความต่างศักย์ V_s กับไดโอดเปล่งแสงทั้งสองกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดทั้งสองจะเพิ่มขึ้นอย่างเอกซ์โพเนนเชียล เมื่อแรงดันไฟฟ้าขึ้นถึง (Threshold voltage) [3] ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มไหลมีค่าเท่ากับ 5.5 และ 2.5 volts สำหรับไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ตามลำดับ ค่าความต่างศักย์ขึ้นเริ่มสำหรับการเปล่งแสง 269 nm สูงกว่า 446 nm เนื่องจากไดโอด 269 nm มี Band gap energy สูงและต้องใช้พลังงานสูงกว่าในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้เปลี่ยนระดับพลังงาน นอกจากนั้นยังพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด 269 nm (I_{s-269}) มีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าไดโอด 446 nm (I_{s-446})



(1)

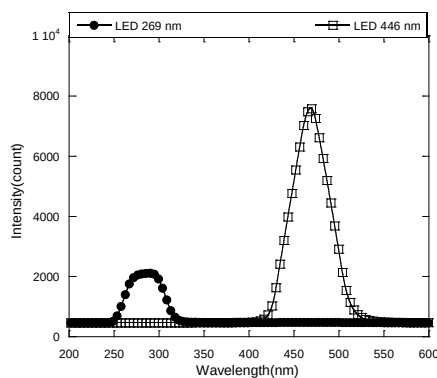


(2)

ภาพที่ 4 I-V curve ของไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น (1) 269 nm และ (2) 446 nm

1.2 สเปกตรัม

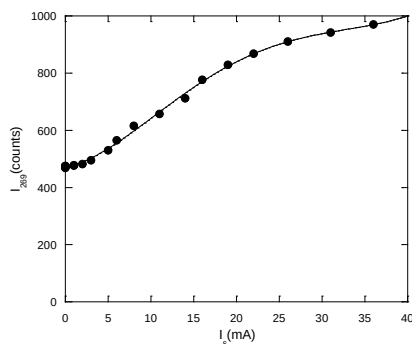
สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 5 แสดงค่าของความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เมื่อใช้ไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm จะมีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm ตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติเชิงควอนตัมของอิเล็กตรอนในการเปลี่ยนระดับพลังงานและการปล่อยแสง ทำให้มีแสงที่มีความยาวคลื่นอื่นๆ ออกมาด้วย [12] โดยค่า full width at half maximum (FWHM) ของสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงทั้งสองมีค่าประมาณ 50 nm โดยแตกต่างจากสเปกตรัมของแสงที่ผ่าน Monochromator ในเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer มีค่า FWHM เพียงประมาณ 2 nm



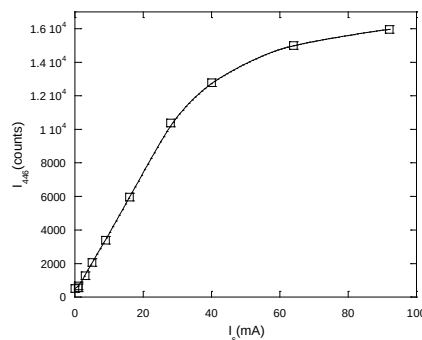
ภาพที่ 5 แสดงสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm

1.3 การตอบสนอง

ในการวัดการตอบสนองของไดโอดเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 6(1) และ 6(2) เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า I_{s-269} และ I_{s-446} ที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงแต่ละตัว ความเข้มแสง I_{269} และ I_{446} จะเพิ่มขึ้น โดยความเข้มแสง I_{269} และ I_{446} มีแนวโน้มจะอิ่มตัวเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเกิน 25 mA และ 40 mA ตามลำดับ ดังนั้นการใช้งานไดโอดเปล่งแสงทั้งสองไม่ควรจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินค่าดังกล่าว



(1)

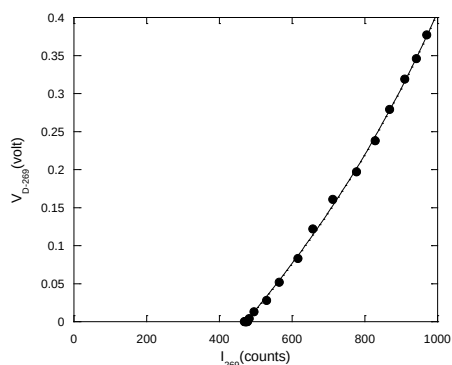


(2)

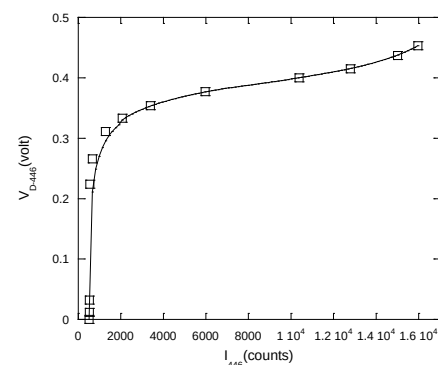
ภาพที่ 6 ความเข้มแสงของไดโอดเปล่งแสง (1) ความยาวคลื่น 269 nm และ (2) ความยาวคลื่น 446 nm

2. สมบัติของโฟโตไดโอด

ภาพที่ 7(1) และ 7(2) แสดงค่า V_{D-269} และ V_{D-446} ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโฟโตไดโอดทั้งสองมีค่าความเข้มแสงเริ่มต้นในการตอบสนองโดยโฟโตไดโอดความยาวคลื่น 269 nm และ 446 nm จะตอบสนองต่อความเข้มแสงเริ่มต้นประมาณ 480 counts และ 500 counts ตามลำดับ ดังนั้นถ้ามีความเข้มแสงต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะไม่สามารถตรวจวัดด้วยโฟโตไดโอดทั้งสองได้ โดยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มของจำนวนอิเล็กตรอนและโฮลอิสระบริเวณรอยต่อโดย V_{D-269} มีค่าประมาณ 0.4 volt เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้ม 1000 counts ในขณะที่ V_{D-446} มีแนวโน้มคงที่เมื่อแสงมีความเข้มเกิน 4000 counts



(1)



(2)

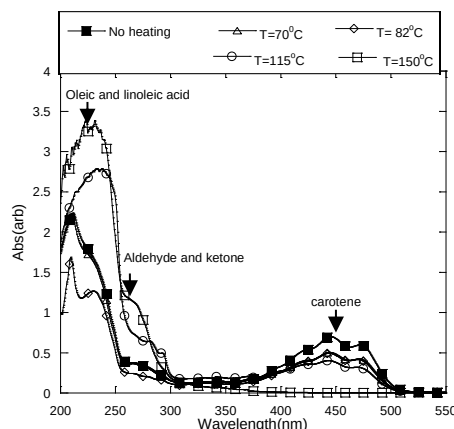
ภาพที่ 7 ความต่างศักย์ตกคร่อมโฟโตไดโอด V_D เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มต่างๆ ของโฟโตไดโอดความยาวคลื่น (1) 269 nm และ (2) 446 nm

3. การดูดกลืนแสงและการวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ

3.1 การดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบ

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำมันปาล์มดิบเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ มีลักษณะดังภาพที่ 8 การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 210-230 nm เนื่องจากกรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 คู่ และ 2 คู่ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนรวมกันประมาณ 50% [8] ในการดูดกลืนพลังงานของแสง จะทำให้อิเล็กตรอนในพันธะคู่เปลี่ยนระดับพลังงานจากพันธะ π เป็น π^* การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 260-280 nm เนื่องจากคีโตนและอัลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่สอง และการดูดกลืน

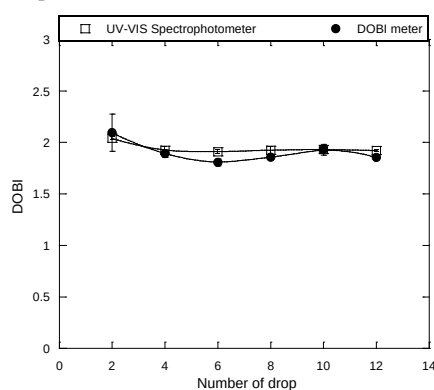
แสงความยาวคลื่น 400-500 nm เนื่องจากแคโรทีน [8] น้ำมันปาล์มดิบซึ่งไม่ผ่านความร้อน (No heating) มีแคโรทีนสูงสุดซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-500 nm สูงสุด และลดลงเมื่อได้รับความร้อน ถ้าน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิ $T=150^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแคโรทีนจะถูกทำลายจนหมดสิ้น



ภาพที่ 8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำมันปาล์มดิบในช่วงความยาวคลื่น 200-550 nm ซึ่งผ่านให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 0 (No heating), 70, 82, 115 และ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.2 การวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ

ค่า DOBI เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งวัดโดยเครื่อง DOBI meter และเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่อุณหภูมิ 25°C มีลักษณะดังภาพที่ 9 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ 2-12 หยด ซึ่งมีความเข้มข้น 2-12 g/25 ml มีค่าคงที่ 1.9 ± 0.1 แสดงว่าในช่วงของความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มดิบดังกล่าว ค่าการดูดกลืนแสง Abs_{269} และ Abs_{446} เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นทำให้ค่า DOBI ซึ่งเป็นสัดส่วนของ Abs_{269} และ Abs_{446} คงที่ และค่าที่วัดด้วยเครื่อง DOBI meter และเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แตกต่างกันเฉลี่ยเพียงประมาณ 2%



ภาพที่ 9 ค่า DOBI ซึ่งวัดโดยเครื่อง DOBI meter และเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีความเข้มข้น 2-12 หยด/ 25 ml

สรุปผลการวิจัย

ค่า DOBI เป็นค่าที่ใช้กำหนดมาตรฐานของน้ำมันปาล์มดิบ โดยทั่วไปสามารถวัดได้โดยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แต่เนื่องจากเครื่องดังกล่าวมีความซับซ้อน ราคาแพง และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง ทำให้มีข้อจำกัดในการลงทุนของโรงบีบปาล์มขนาดเล็ก การวัดค่า DOBI ใช้ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอดที่ความยาวคลื่น

269 nm และ 446 nm ทำให้ไม่ต้องใช้ Monochromator ที่ราคาแพง ทำให้เครื่อง DOBI meter มีขนาดกะทัดรัด ใช้ อุปกรณ์จำนวนน้อย ทนทาน และราคาประหยัด โดยไดโอดเปล่งแสงสองตัวให้แสงที่มีสเปกตรัมซึ่งมีความเข้มสูงสุด 269 nm และ 446 nm และมีค่า FWHM ประมาณ 50 nm ในขณะที่โฟโตไดโอดเริ่มตอบสนองต่อความเข้มแสงประมาณ 500 counts และเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นในช่วงความเข้มแสงประมาณ 500-1000 counts ด้วยเครื่อง DOBI meter สามารถวัดค่า DOBI ได้เทียบเท่ากับเครื่อง UV-Vis Spectrometer มีค่าความแตกต่างเพียง 2% ซึ่งจะทำให้โรงบีบปาล์มขนาดเล็กสามารถติดตั้งเครื่อง DOBI meter เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้น้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพสูงขึ้นอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (Grant No. MSD60I0073) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับห้างหุ้นส่วนจำกัด แสงอรุณปาล์มออยล์ และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลาสมาและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (PEwave)

เอกสารอ้างอิง

1. Furniss S, Hannaford AJ, Smith PWG, Tatchell AR. Textbook of practical organic chemistry. 5th ed. NY: Longman Group; 1989.
2. Grinter H, Threlfall TL. UV Vis Spectroscopy and applications. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1992.
3. Schubert E. Light emitting diodes. 2nd ed. NY: Cambridge University Press; 2006.
4. O'Toole M, Diamond D. Absorbance based light emitting diode optical sensor and sensing devices. Sensors. 2008; 8: 2453-2479.
5. Nokkaew R, Punsuvon V, Tsuchikawa S. Determination of carotenoids and DOBI content in crude palm oil by spectroscopy techniques: comparison of Raman and FT-NIR spectroscopy. International Journal of GEOMATE. 2019; 16(55): 92-98.
6. Shah R, Shah RR, Pawar RB, Gayakar PP. UV visible spectroscopy-a review. International Journal of Institutional Pharmacy and Life Sciences. 2015; 5(5): 490-505.
7. Thomus O, Burgess C. UV-visible spectrophotometry of water and wastewater. Oxford, UK: Elsevier; 2007.
8. Gomez NA, Abonia R, Cadavid H, Vargas IH. Chemical and spectroscopic characterization of a vegetable oil used as dielectric coolant in distribution transformers. Journal of Braz Chemistry Society. 2011; 22(12): 2292-2303.
9. Smith B. Quantitative spectroscopy: theory and practice. CA: Academic Press; 2002.
10. Mba O, Dumont MJ, Ngadi M. Palm oil: processing, characterization and utilization in the food industry-a review. Journal of Food Bioscience. 2015; 26-41.
11. Imoisi O, Ilori GE, Agho I, Ekhatior JO. Palm oil, it's nutritional and health implications (review). Application Science Environ. 2015; 19(1): 127-133.



12. Bui D, Hauser PC. Analytical devices based on light-emitting diodes a review of the state-of-the-art. *Analytica Chimica Acta*. 2014; 233499: 1-13.
13. Bomastyk B, Petrovic I, Hauser PC. Absorbance detector for high-performance liquid chromatography based on light-emitting diodes for the deep-ultraviolet range. *Journal of Chromatography A*. 2011; 1218: 3750-3756.
14. Suzuki Y, Aruga T, Kuwahara H, Kitamura M, Kuwahara T, Kawakubo S, et al. A simple and portable colorimeter using a red-green-blue light-emitting diodes and its application to the on-site determination of nitrite and iron in river-water. *Journal of Analytical Science*. 2004; 20: 975-977.
15. Krcmova L, Stjernlof A, Mehlen S, Hauser PC, Abele S, Paull B, et al. Deep-UV-LEDs in photometric detection: a 255 nm LED on-capillary detector in capillary electrophoresis. *Journal of Analyst*. 2009; 134: 2394-23.
16. Gentle B, Ellis PS, Faber PA, Grace MR, Mckelvie ID. A compact portable flow analysis system for the rapid determination of total phosphorus in estuarine and marine waters. *Analytica Chimica Acta*. 2010; 674: 117-122.