



ระบบจำลองสเปกตรัมการเรืองแสงของคาร์บอนดอทอย่างง่ายโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าอาร์จีบี (RGB) จากภาพถ่ายร่วมกับการประมาณค่าด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน

A Simple Photoluminescence Spectrum Simulator for Carbon Dots Using Image-Based RGB Analysis and Gaussian Approximation

จิรเดช ดอกยี่สุ่น, ฉันทวีธเนศ สนทนา, จูติศักดิ์ เกตุแก้ว

มนัส สิทธิโชคธรรม

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย เพชรบุรี, ตำบลเขาใหญ่, อำเภอชะอำ, จังหวัดเพชรบุรี, 76120, ประเทศไทย

*อีเมลล์: 67thitisak.ket@pccphet.ac.th

บทคัดย่อ

คาร์บอนดอท (Carbon Dots, CDs) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแสงที่โดดเด่น คือ การเรืองแสง (fluorescence) ภายใต้แสง UV หรือแสงกระตุ้นในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม การวิเคราะห์คุณสมบัติ การเรืองแสงของคาร์บอนดอทในระดับโรงเรียนยังคงค่อนข้างจำกัด เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดค่าการเรืองแสง เช่น photoluminescence (PL) spectrophotometer มีราคาสูงและพบได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการที่มี ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น ทางผู้จัดทำจึงได้ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ออกแบบและพัฒนาชุดวัดการเรืองแสงให้มีราคา ย่อมเยา มีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนสามารถใช้ได้ในสถานศึกษาทั่วไป โดยชุดวัดที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วน อุปกรณ์ชุดวัดที่ใช้แสง UV 365 nm เป็นตัวกระตุ้น และมีกล้องบันทึกภาพถ่ายการเรืองแสงเพื่อส่งไปประมวลผล โดยใช้ค่าพิกัด RGB ของสีและสร้างเป็นกราฟข้อมูลโดยใช้การจำลองเชิง เกาส์เซียน จากนั้นแสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วยโปรแกรมไพทอน รวมถึงแสดงผลผ่านหน้าแอปพลิเคชัน ซึ่งพัฒนาด้วย react JavaScript และ html จากผลการทดสอบวิเคราะห์ตัวอย่างคาร์บอนดอทด้วยเครื่อง ตรวจวัดการเรืองแสงที่พัฒนาขึ้น เทียบกับข้อมูลที่ได้จากเครื่อง PL spectrophotometer พบว่ามีค่าความ คลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 10 โดยผลงานที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็แนวทางให้ผู้ที่ต้องการใช้งานสามารถเข้าถึงได้ ง่ายขึ้นและช่วยในการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ : คาร์บอนดอท, การเรืองแสง, photoluminescence

บทนำ

ในปัจจุบัน วัสดุคาร์บอนหรือ "คาร์บอนดอท" (Carbon Dots, CDs) ได้กลายเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในวงการวิจัยระดับสากล เนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสงที่โดดเด่น โดยเฉพาะการเรืองแสง (Fluorescence) ที่ปรับเปลี่ยนได้ตามพื้นผิวและขนาด นอกจากนี้ยังมีข้อดีเหนือกว่าสารเรืองแสงสังเคราะห์ชนิดอื่นเช่น มีความเสถียรทางแสงสูง ความเป็นพิษต่ำ และสามารถละลายในน้ำได้ดี ซึ่งเปิดโอกาส

ให้มีการประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้านอาทิ การเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีและชีวภาพ การติดตามเซลล์ในทางการแพทย์ ไปจนถึงการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อม เนื่องจากคาร์บอนดอทสามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบทางชีวภาพ (Biomass) หรือของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตร ตามหลักการของวัสดุศาสตร์เชิงยั่งยืน (Sustainable Materials Science) อย่างไรก็ตาม การศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติการเรืองแสงของ

คาร์บอนดอตในเชิงคุณภาพและปริมาณนั้น จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงเช่น Photoluminescence Spectrophotometer ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวมีราคาสูงมาก (หลักแสนถึงล้านบาท) ขั้นตอนการใช้งานซับซ้อน และมักมีประจำการอยู่เฉพาะในมหาวิทยาลัยหรือศูนย์วิจัย ขนาดใหญ่เท่านั้น ข้อจำกัดด้านงบประมาณและเครื่องมือนี้เองที่เป็นอุปสรรคสำคัญในการเข้าถึงองค์ความรู้ด้านนาโนเทคโนโลยีในระดับสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน ทำให้นักเรียนและครูไม่สามารถทำการทดลองหรือตรวจสอบประสิทธิภาพของคาร์บอนดอตที่สังเคราะห์ขึ้นเองได้โดยสะดวก ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการลดช่องว่างดังกล่าว โดย การศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเรืองแสง และนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าการเรืองแสง ในราคาย่อมเยา โดยเน้นการใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไปและการทำงานที่ไม่ซับซ้อน แต่ยังคงไว้ซึ่งความแม่นยำที่เพียงพอต่อการเรียนรู้และการวิจัยในเบื้องต้น เพื่อส่งเสริมให้สถานศึกษาทั่วไปสามารถเข้าถึงนวัตกรรมและต่อยอดการทดลองเกี่ยวกับคาร์บอนดอตได้ด้วยตนเอง อันเป็นการเสริมสร้างทักษะด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้กับเยาวชนได้อย่างยั่งยืน

วิธีการดำเนินงาน

ตอนที่ 1 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมหลัก

เขียนโค้ดโดยใช้ Visual Studio Code เนื่องจากรองรับส่วนขยายที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพ ในการจัดการโปรเจกต์ภาษาไพทอน นำ OpenCV มาใช้สำหรับการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลพิกเซลจากภาพ และใช้ Matplotlib สำหรับการเปลี่ยนข้อมูลตัวเลขให้กลายเป็นแผนภูมิสเปกตรัมที่เข้าใจง่าย และนำหลักการทางคณิตศาสตร์ คือ ฟังก์ชันเกาส์เซียน มาประยุกต์ใช้โดยสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของแสงจากค่าสี RGB ที่ได้รับจากภาพต้นฉบับ เพื่อแปลงค่าเป็นข้อมูลสเปกตรัม

ตอนที่ 1.1 การพัฒนาพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม

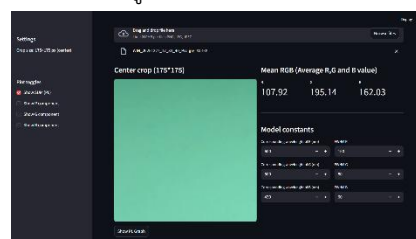
เนื่องจากกราฟที่ได้ในตอนนี้ยังคงมีความแม่นยำที่ต่ำและได้กราฟที่หน้าตาไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง จึงได้มีการนำค่า FWHM (Full Width at Half Maximum) หรือค่าความกว้างเต็มที่ ณ ครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด โดยค่านี้มีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่นสเปกตรัม โดยค่านี้นั้นจะเป็นตัวกำหนดว่ากราฟในแต่ละลูกจะกว้างหรือแคบแค่ไหนตามสมการที่ 1

$$f(\lambda) = e^{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}}$$

สมการที่ 1 สมการกราฟในแต่ละช่วงสีทั้งสามสี โดยค่า FWHM จะเป็นตัวแปร

ตอนที่ 2 การออกแบบและพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

โดยในการออกแบบหน้า UI นั้นจะใช้ Python ในการเขียนโครงสร้างตัวเว็บโดยใช้ Streamlit Library โดยมุ่งเน้นไปที่การเข้าถึงและใช้งานง่ายที่สุดเพื่อให้เป็นมิตรกับผู้ใช้ทั่วไป



ภาพที่ 1 หน้าต่างของโปรแกรมขณะทำงาน

ตอนที่ 3 การออกแบบและจัดทำระบบตรวจวัด

ออกแบบเครื่องต้นแบบด้วยการวาดและกำหนดขนาด โดยใช้ขนาดกว้าง 25 ซม. ยาว 15 ซม. และ สูง 25 ซม. จากนั้นนำเข้าโปรแกรม เพื่อทำการกำหนดขนาดตามที่ต้องการ และใช้เครื่อง Laser cut เพื่อตัดแผ่นอะคริลิกเมื่อตัดแผ่นอะคริลิกเสร็จแล้วนำมาประกอบเป็นกล่องและฝาสำหรับปิด โดยใช้กาวน้ำยาเชื่อมแผ่นอะคริลิก จากนั้นรื้อให้กาวน้ำยาเชื่อมอะคริลิก

แห่ง ขณะที่ร่อน้ายาอะคริลิคแห้ง ได้ทำการกำหนดขนาดของฐานสำหรับรองไฟฉาย UV แทนสำหรับวางกล้อง และ ฐานสำหรับวางคิวเวต จากนั้นนำเข้าโปรแกรม สำหรับกำหนดขนาดฐานรองไฟฉาย UV แทนวางกล้อง และใช้ Tinkercad ในการออกแบบโมเดลฐานรองคิวเวต จากนั้นใช้เครื่อง lasercut ในการตัดฐานรองไฟฉาย UV และ ใช้เครื่อง 3D-print ในการทำฐานรองคิวเวต นำฐานรองไฟฉาย UV มาติดตั้งตำแหน่งที่มีช่องวงกลม แล้วนำฐานรองคิวเวตมาติดที่บริเวณช่องสี่เหลี่ยม และฐานรองกล้องนำมาติดที่บริเวณช่องสี่เหลี่ยมอีกด้านหนึ่งของกล้อง จากนั้นทดสอบความแข็งแรงของอุปกรณ์ ต้นแบบนำตัวอย่างคาร์บอนดอทที่บรรจุในคิวเวตวางไว้ในฐานสำหรับรองคิวเวต จากนั้นเปิดไฟฉาย UV แล้วปิดฝา เข้าโปรแกรมสำหรับวัดค่าความเรืองแสง กดเริ่มใช้งาน ถ่ายภาพและเลือกจุดบริเวณการเรืองแสงที่ต้องการ จากนั้น จะมีการพลความเข้มแสงแสดงขึ้นมา

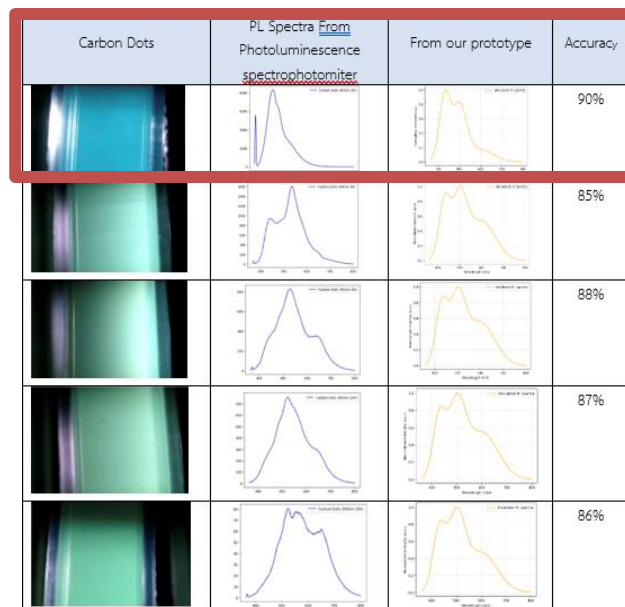


ภาพที่ 2 ภาพตัวเครื่องจากมุมสูง

ผลและอภิปรายผล

1.การแสดงผลกราฟและผลความคลาดเคลื่อน

พบว่ากราฟที่ แสดงออกมานั้นมีความใกล้เคียงกัน กับ กราฟ ของ ตัว เครื่อง Photoluminescence Spectrophotometer ดังภาพที่ 1

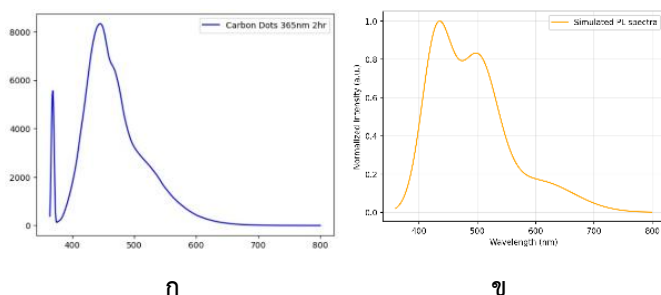


ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบกราฟสเปกตรัมการ

เรืองแสงและค่าความแม่นยำในการจำลองกราฟสเปกตรัมจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือตรวจวัดสเปกตรัมการเรืองแสงที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับเครื่อง Photoluminescence Spectrophotometer มาตรฐาน พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถวิเคราะห์และแสดงผลสเปกตรัมของคาร์บอนดอททั้ง 5 ชุดตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับผลการวัดในระดับห้องปฏิบัติการ โดยผลการทดลองระบุว่าเครื่องต้นแบบให้ค่าเฉลี่ยความแม่นยำสูงถึง 87.2% และมีความเสถียรของข้อมูลในช่วงร้อยละ 85 ถึง 90 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดสารตัวอย่างที่หลากหลาย เมื่อพิจารณาในเชิงคุณภาพ กราฟสเปกตรัมจากเครื่องต้นแบบสามารถระบุตำแหน่งของระดับพลังงานและการคายแสงสูงสุด (Peak Emission) ได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐานและช่วยให้สามารถระบุคุณลักษณะและชนิดของคาร์บอนดอทในเบื้องต้นได้อย่างแม่นยำ แม้จะมีข้อจำกัดด้านความละเอียดของเซ็นเซอร์เมื่อเทียบกับเครื่องมือราคาแพง แต่ประสิทธิภาพที่ได้รับถือว่าเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดราคาที่ย่อมเยาในสถานศึกษาทั่วไป ซึ่งช่วยลดช่องว่างในการเข้าถึง

เทคโนโลยีการวิเคราะห์วัสดุนาโนและส่งเสริมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.การเปรียบเทียบกราฟที่แสดงขึ้นมากับ กราฟที่แสดงผลจากเครื่อง Photoluminescence Spectrophotometer



**ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์
ต้นแบบกับ PL Spectrophotometer**

ก. กราฟแสดงผลจากจากเครื่อง
Photoluminescence
Spectrophotometer

ข. กราฟแสดงผลจากเครื่องต้นแบบ

พบว่าผลการแสดงสเปกตรัมการเรืองแสงจากเครื่องต้นแบบมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเครื่อง PL Spectrophotometer ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานในห้องปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่ากราฟแสดงผลจากเครื่องมือมาตรฐาน (ภาพ ก) และเครื่องต้นแบบ (ภาพ ข) มีลักษณะของเส้นกราฟหรือ Spectral Profile ที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะตำแหน่งของค่าความยาวคลื่นที่ให้ความเข้มแสงสูงสุดหรือค่า Peak Wavelength ซึ่งเครื่องมือทั้งสองระบบสามารถตรวจวัดจุดสูงสุดได้ในช่วงประมาณ 450 นาโนเมตร ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเรืองแสงในย่านสเปกตรัมสีน้ำเงินของสารตัวอย่างประเภท Carbon Dots แม้ว่าในส่วน of เครื่องต้นแบบจะมีการประมวลผลข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของค่าความเข้มแสงสัมพัทธ์ (Normalized Intensity) เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ แต่ลักษณะการกระจายตัว

ของกราฟและการตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ยังคงความแม่นยำไว้อย่างครบถ้วน

สรุปผล

จากการศึกษาและทดลอง ทางคณะผู้วิจัยพบว่าสามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถถ่ายภาพและแสดงออกมาเป็นกราฟความเข้มแสงโดยมีราคาถูกกว่า Photoluminescence spectrophotometer ได้จริง ทั้งนี้ผู้ที่สนใจ หรือ นักศึกษา สามารถใช้งานได้ ในราคาที่ย่อมเยาด้วยความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ใน การทำงานวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องนี้มีวิธีการดำเนินงานหลายขั้นตอน นับตั้งแต่เริ่มศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ การแก้ไขปัญหา จนกระทั่งขั้นตอนต่าง ๆ สำเร็จเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี ตลอดระยะเวลาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการได้รับ ความช่วยเหลือและคำแนะนำในด้านต่าง ๆ ตลอดจนได้รับกำลังใจที่ดีจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาจากทุก ๆ ท่านเป็นอย่างยิ่ง ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณทุก ๆ ท่าน ดังนี้ ขอขอบคุณอาจารย์มนัส สิทธิโชคธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย เพชรบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ขอขอบคุณโครงการประกวดโครงการของนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์ ครั้งที่ 28 (YSC 2026) ที่ให้ทุนสำหรับสนับสนุนการทำโครงการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Li, Q., Anpo, M., You, J., Yan, T., & Wang, X. (2023). Photoluminescence (PL) Spectroscopy. In *Springer Handbook of Advanced Catalyst*



Characterization. Cham: Springer

International Publishing, pp. 305-325.

2. Giraldo-Contreras, A. C., Arboleda-Murillo, J. A., & Villa, C. C. (2025). Sustainable carbon dots from starch: Synthesis, properties, and emerging applications. *Next Materials*, 6, 100734.
3. Ozyurt, D., Al Kobaisi, M., Hocking, R. K., & Fox, B. Properties, synthesis, and applications of carbon dots: A review. *CRC Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*.