

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะคู่ของทองแดง/เหล็ก
โดยใช้เซรั่มจากหางน้ำยางธรรมชาติและการประยุกต์ใช้
Synthesis of Copper/Iron Bimetallic Nanoparticles Using Serum
from Skim Natural Rubber Latex and Application

ภณิดา พงษ์เดช, ภาณุ ด่านวานิชกุล
โครงการเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Panita Pongdach, Panu Danwanichakul
Energy and Environmental Technology Management Program,
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
E-mail : azolavii@gmail.com

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะคู่ของทองแดง/เหล็กด้วยกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เซรั่มจากหางน้ำยาง เป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ลดการใช้สารเคมีอันตรายลดมลพิษที่เกิดจากการกำจัดหรือทำลายวัสดุ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ การนำหางน้ำยางมาจับกับก้อนเนื้อเยื่ออกด้วยสารโพลีอะคริลาไมด์ (PAM) จะได้เซรั่มที่มีสารที่มีโพลิเมอร์หลงเหลืออยู่ ซึ่งนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโน ในกระบวนการสังเคราะห์ได้ใช้คิวปริกซัลเฟต เพอร์สซัลเฟต และเพอร์ริคคโลไรด์ เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของ Cu(II), Fe(II) และ Fe(III) ตามลำดับ โดยอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างทองแดงกับเหล็ก (Cu:Fe) เป็น 0:2.4, 0.6:1.8, 1.2:1.2, 1.8:0.6 และ 2.4:0 มิลลิโมลาร์ ผสมกับเซรั่มจากหางน้ำยางที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ สารละลายเปลี่ยนสีทันทีเมื่อผสมกัน ได้เลือกอัตราส่วน Cu 1.8/Fe 0.6 มิลลิโมลาร์ มาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 77.28 และ 24.52% ตามลำดับภายในเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง (Photocatalysis) แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานร่วมกันของทองแดง/เหล็กในรูปแบบของอนุภาคนาโนโลหะคู่

คำสำคัญ : อนุภาคนาโนโลหะคู่ของทองแดง/เหล็ก, หางน้ำยางธรรมชาติ, การสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, เมทิลีนบลู, เมทิลออเรนจ์

Abstract

Copper/Iron bimetallic nanoparticles (Cu/Fe NPs) were synthesized via an environmentally friendly process by using serum from skim natural rubber latex. This could reduce environmental problems by decrease the use of hazardous chemicals, pollution caused by material removal or

destruction and it is a way of recycling waste materials to add value to skim natural rubber latex. Rubber was coagulated by using polyacrylamide (PAM) and the serum was obtained. In the synthesis, copper sulfate, ferrous sulfate and ferric chloride were used as precursors for the synthesis of Cu(II), Fe(II) and Fe(III) nanoparticles. The Cu:Fe ratio was varied to 0:2.4, 0.6:1.8, 1.2:1.2, 1.8:0.6 and 2.4:0 mM. When mixing with serum as a reducing and capping agent, the solution color changed immediately upon mixing. The samples with Cu:Fe ratio of 1.8:0.6 mM was selected to perform the test for the decomposition of methylene blue and methyl orange dyes. It was found that the maximum removal efficiency was 77.28 and 24.52%, respectively within 3 hours of photodegradation, demonstrating the better performance of copper / iron in the form of bimetallic nanoparticles.

Keywords : Copper/Iron bimetallic nanoparticles, skim natural rubber latex, green synthesis, methylene blue, methyl orange

1. บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาอนุภาคนาโนของโลหะคู่ (Bimetallic nanoparticles) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากงานวิจัยทั่วโลก เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดี เมื่อเทียบกับอนุภาคนาโนของโลหะเดี่ยว (Monometallic nanoparticles) ได้แก่ ขนาด องค์ประกอบ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่าง รวมถึงการทำงานร่วมกันของโลหะทั้งสองชนิด คุณสมบัติของอนุภาคนาโนของโลหะคู่ขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างในการจัดเรียงตัวของอะตอมทำให้เกิดอนุภาคที่มีโครงสร้างแตกต่างจากเดิม ได้แก่ โลหะผสม (Alloy) เปลือกหุ้มแกนกลาง (Core-shell) และอื่น ๆ สำหรับสารตั้งต้นหรือตัวทำละลายยังถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้เสถียรขึ้น [1] โดยคุณสมบัติที่โดดเด่นของอนุภาคนาโน (Nanoparticle) คือการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี เนื่องจากมีขนาดเล็ก พื้นผิวสูง มีความจำเพาะ และความเสถียรสูง รวมทั้งแยกออกจากปฏิกิริยาได้ง่าย ทั้งนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุให้มากขึ้น สำหรับอนุภาคนาโนของโลหะทองแดงได้รับการสำรวจว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาล้นลง และยังสามารถรีไซเคิลเพื่อใช้ซ้ำได้ ถือเป็นข้อได้เปรียบเหนือตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะชนิดอื่น ๆ [2] เช่นเดียวกันกับเหล็กที่เป็นโลหะที่รู้จักและนิยมใช้มากที่สุด สำหรับอนุภาคนาโนของเหล็กยังสามารถทำปฏิกิริยารีดิวซ์กับสารอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่เป็นพิษสามารถทำให้มีพิษน้อยลงหรือจนไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และมีค่าใช้จ่ายน้อย [3] ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนอย่างต่อเนื่อง โดยวิธีการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการที่ลดการใช้สารเคมีอันตรายและลดมลพิษที่เกิดจากการกำจัดหรือทำลายวัสดุ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ เช่น การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงโดยใช้หางน้ำยางด้วยกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [4] งานวิจัยนี้จึงสนใจการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะคู่ โดยใช้เซรัมจากหางน้ำยางธรรมชาติด้วยกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่อุณหภูมิห้อง เลือกใช้โลหะคู่เป็นโลหะทองแดง/เหล็ก (Cu/Fe bimetallic)

โดยทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ ได้แก่ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างทองแดงกับเหล็กและทดสอบประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์โดยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลูและเมทิลออเรนจ์

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดง Cu(II) และเหล็ก (Fe(II), Fe(III)) โดยใช้เซิร์มจากหางน้ำยางธรรมชาติ

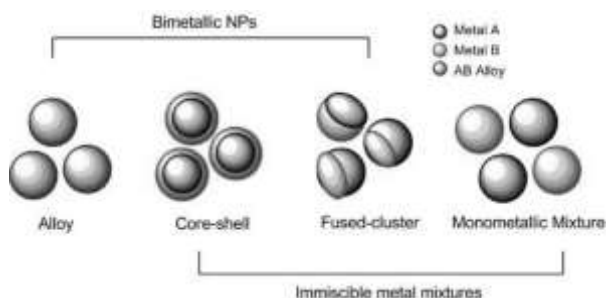
1.2.2. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดง/เหล็ก ด้วยใช้เซิร์มจากหางน้ำยางธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green synthesis)

1.2.3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์โดยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลูและเมทิลออเรนจ์

1.3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.1. อนุภาคนาโนโลหะคู่

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะสองชนิดผสมกันก่อให้เกิดอนุภาคนาโนโลหะคู่ที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เกิดคุณสมบัติที่พิเศษดีกว่าคุณสมบัติของโลหะเดี่ยว (Monometallic) เกิดลักษณะและโครงสร้างที่แตกต่างไปจากวัสดุเดิมดังแสดงในรูปที่ 1 ทั้งโครงสร้างพื้นผิว องค์ประกอบ ขนาด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา มีการเปลี่ยนแปลงทั้ง Crown-jewel structure, Hollow structure, Heterostructure, Core—shell structure และ Alloyed structure and porous structure [5]



รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างของอนุภาคนาโนโลหะคู่แบบต่าง ๆ [6]

1.3.2. โลหะทองแดงและเหล็ก

โลหะทองแดงเป็นโลหะที่ถูกใช้มากรองลงมาจากเหล็กและอลูมิเนียม ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความสวยงาม และทนต่อการกัดกร่อน โครงสร้างผลึกของโลหะทองแดงเป็นแบบ Face Centered Cubic (FCC) สำหรับอนุภาคนาโนทองแดง ลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดประมาณ 40-60 นาโนเมตร นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากมีมีประสิทธิภาพสูง ใช้ระยะเวลาสั้น ยังสามารถรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมฟอกย้อมและสิ่งทอ เป็นต้นำไฟฟ้าที่ดี ทนต่อการกัดกร่อน สำหรับโลหะเหล็กเป็นโลหะที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก มีโครงสร้างผลึกมี 2 แบบ ได้แก่ Body Centered Cubic (BCC) และ Face Centered Cubic (FCC) สำหรับอนุภาคนาโนทองแดง ลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดประมาณ 60-80 นาโนเมตร นิยมนำมาใช้พื้นปูด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง สามารถรีไซเคิลได้

ให้มีพิษน้อยลง มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก ทนทาน นำไฟฟ้าได้ดี เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่ ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส

1.3.3. หางน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) เป็นสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ ที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว เรียกว่า น้ำยางสดหรือน้ำยางดิบ (Latex) กรีดได้จากต้นยางพาราที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ฮีเวีย บราซิเลียนซิส (*Hevea brasiliensis*) โดยยางธรรมชาติประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Dry rubber content, DRC) 35% ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง (Non-rubber content, NRC) 5% ที่เหลือเป็นน้ำประมาณ 60% กระบวนการแปรรูปของน้ำยางธรรมชาติจะถูกทำให้เข้มข้นขึ้นซึ่งจะเรียกว่า น้ำยางข้นธรรมชาติหรือน้ำยางข้น (Natural Rubber Latex Concentrate) ด้วยการหมุนเหวี่ยงหรือการแยกครีม รักษาสภาพน้ำยางข้นโดยเติมแอมโมเนียประมาณ 0.7% ต่อน้ำหนักของน้ำยาง ได้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางเพิ่มขึ้นเป็น 60% ทั้งนี้เพื่อเป็นการแยกเซรัม (Serum) ที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน และไขมัน ซึ่งเป็นตัวกลางในการกระจายตัวสำหรับอนุภาคยางออก จะได้หางน้ำยาง (Skim latex) เป็นผลพลอยได้ โดยมีปริมาณเนื้อยางอยู่ประมาณ 5% สามารถนำไปแปรรูปเป็นยางดิบแข็งชนิดสกินบล็อก (Skim Block) หรือสกินเครพ (Skim Crepe) โดยใช้กรดซัลฟูริกเพื่อระเหยแอมโมเนีย

1.3.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาอนุภาคนาโนได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นอนุภาคที่เกิดจากการสังเคราะห์ทำให้มีจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสารต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ จึงมีโครงสร้างและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งในอนุภาคนาโนโลหะทองแดงเป็นอีกหนึ่งโลหะที่ได้รับความสนใจ โดยได้รับการสำรวจว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่สั้นลง และยังสามารถนำมารีไซเคิลได้ [2] พบการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่แทนการกำจัดและทำลาย เช่น การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้สารสกัดจากเมล็ดพันธุ์ของทับทิม (*P. granatum*) ย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูได้ถึง 87.11% [7] รวมถึงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้หางน้ำยาง ซึ่งสามารถย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูได้ถึง 79.19% ในเวลา 3 ชั่วโมง [4] สำหรับอนุภาคนาโนเหล็กมีสมบัติในการทำปฏิกิริยารีดิวซ์สารอื่น ๆ โดยเฉพาะการทำสารมีพิษให้กลายเป็นสารที่มีพิษน้อยลงหรือจนไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบงานวิจัยที่ศึกษามาอย่างต่อเนื่อง ดังเช่น การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเหล็กด้วยวิธีเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้สารสกัดจากใบพืชต่าง ๆ นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย [8] การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กโดยใช้สารสกัดจากเปลือกส้มโอ สามารถกำจัด Cr(VI) มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 30.53-96.87% [9] นอกจากนี้ยังพบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของคูโลหะของทองแดงกับเหล็ก (Copper/Iron bimetallic nanoparticles) เช่น การเปลี่ยนแปลงสีย้อมเมทิลีนบลูที่ละลายในน้ำและน้ำเสียจากโรงงานโดยระบบ Fe/Cu bimetallic ซึ่งเป็นการนำวัสดุของเหลือทิ้งนำกลับมาใช้ประโยชน์ [10] การลดคลอรีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride) โดยกระบวนการ Fe-Cu เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [11] เป็นต้น

2. วิธีการวิจัย

2.1. การเตรียมเซรัมจากหางน้ำยางธรรมชาติ

เตรียมสารละลายแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ (Cationic polyacrylamide, C-PAM) ความเข้มข้น 0.5%W/V ปริมาตร 360 มิลลิลิตร ต่อมานำสารละลายที่ได้เติมลงในทางน้ำยางธรรมชาติปริมาตร 500 มิลลิลิตร กวนจนทางน้ำยางจับกันเป็นเนื้อเดียวกัน และนำมากรองด้วยผ้าเพื่อแยกเนื้อยางออกจากเซรัม

2.2. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงและเหล็ก ในเซรัมจากทางน้ำยางธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง

ใช้คิวปริกซัลเฟต (CuSO_4) เพอร์สซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของ Cu(II), Fe(II) และ Fe(III) ตามลำดับ โดยเตรียมสารตั้งต้นที่ความเข้มข้น 8 มิลลิโมลาร์ จากนั้นผสมกับเซรัมจากทางน้ำยางที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ จนได้สารละลายปริมาตร 11 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.6, 1.2, 1.8 และ 2.4 มิลลิโมลาร์ และความเข้มข้นของเซรัมจากทางน้ำยางเจือจางที่ 1, 1/2, 1/3 และ 1/4 เท่า จากนั้นทิ้งสารละลายไว้เป็นเวลา 0, 15, 30 และ 60 นาที และตรวจสอบอนุภาคนาโนทองแดงที่เกิดขึ้นโดยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

2.3. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะคู่ของทองแดง/เหล็ก (Cu/Fe bimetallic nanoparticles) ในเซรัมจากทางน้ำยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิห้อง

ผสมสารละลายของทองแดง/เหล็ก กับเซรัมจากทางน้ำยางที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ จนได้สารละลายปริมาตร 11 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างทองแดงกับเหล็ก (Cu:Fe) เป็น 0:2.4, 0.6:1.8, 1.2:1.2, 1.8:0.6 และ 2.4:0 มิลลิโมลาร์ จากนั้นทิ้งสารละลายไว้เป็นเวลา 0, 15, 30 และ 60 นาที และตรวจสอบอนุภาคนาโนทองแดงที่เกิดขึ้นโดยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง และทำการเตรียมตัวอย่างในการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

2.4. การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM)

ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ปริมาตร 1000 μL ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์ เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการปิเปตของเหลวด้านบนออกให้เหลือแค่ตะกอนของอนุภาคนาโนที่ต้องการ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วเขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลายเพื่อให้ตะกอนของอนุภาคนาโนกระจายตัวเป็นสารคอลลอยด์อีกครั้งหนึ่ง ทำเช่นเดิมจนกระทั่งได้สารตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจปริมาตร 200 ไมโครลิตร

2.5. การทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ด้วยอนุภาคนาโน

เติมสารละลายเอทานอลลงในสารละลายอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ทำการรวบรวมตะกอนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C จนได้ผงอนุภาคนาโน จากนั้นทำการทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ ภายใต้การฉายด้วยแสงอาทิตย์ในช่วง 400-700 นาโนเมตร โดยการนำอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ปริมาณ 5 มิลลิกรัมต่อ 2 มิลลิลิตรของสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 5 ppm ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยที่ความยาวคลื่น 664 และ 464 นาโนเมตร สำหรับสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู

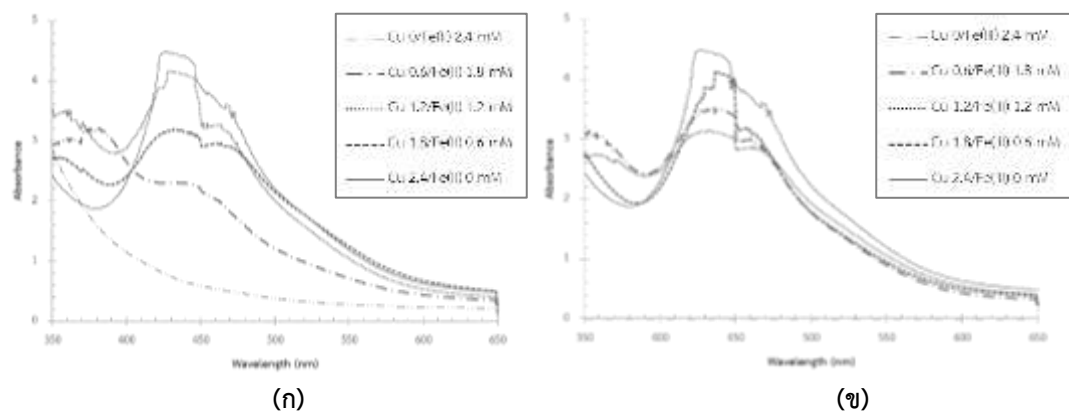
3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

3.1. ผลของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงและอนุภาคนาโนเหล็ก

จากผลการทดลองพบว่า ทันทีที่สารตั้งต้นผสมกับเซรั่มจากหางน้ำย่างที่อุณหภูมิห้อง (27°C) เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายขึ้น และผลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง เป็นข้อบ่งชี้การเกิดอนุภาคนาโนขึ้น โดยเมื่อใช้สารตั้งต้นเป็นสารละลายคิวริกซัลเฟตจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอ่อนเป็นสีน้ำตาล สารละลายเพอร์สซัลเฟตเป็นสารตั้งต้นเปลี่ยนจากสีขาวใสเป็นสีเหลืองอ่อน และสารละลายเพอร์ริคคลอไรด์เป็นสารตั้งต้นเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นน้ำตาลอ่อน รวมทั้งสารละลายมีลักษณะเป็นคอลลอยด์และเมื่อสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากขึ้นสีของสารละลายก็ยิ่งเข้มขึ้น สำหรับผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นมากได้แก่ 2.4 มิลลิโมลาร์ สารละลายมีค่าการดูดกลืนแสงมาก

3.2. ผลของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดง/เหล็ก

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อผสมทองแดง/เหล็กกับเซรั่มจากหางน้ำย่างที่อุณหภูมิห้อง สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ สำหรับผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่า ในสารละลายที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างทองแดงกับเหล็กเป็น Cu 0.6/Fe 1.8, Cu 1.2/Fe 1.2 และ Cu 1.8/Fe 0.6 มิลลิโมลาร์ พบการเกิดพิกสองช่วง โดยพิกแรกอยู่ในช่วง 360-375 นาโนเมตร และพิกที่สองอยู่ในช่วง 440-445 นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมทองแดง/เหล็กเข้าด้วยกันในสารละลาย สำหรับพิกแรกเป็นผลมาจากค่าการดูดกลืนแสงในสารละลายในช่วงของเหล็ก และพิกที่สองเป็นผลจากสารละลายในช่วงของทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 2

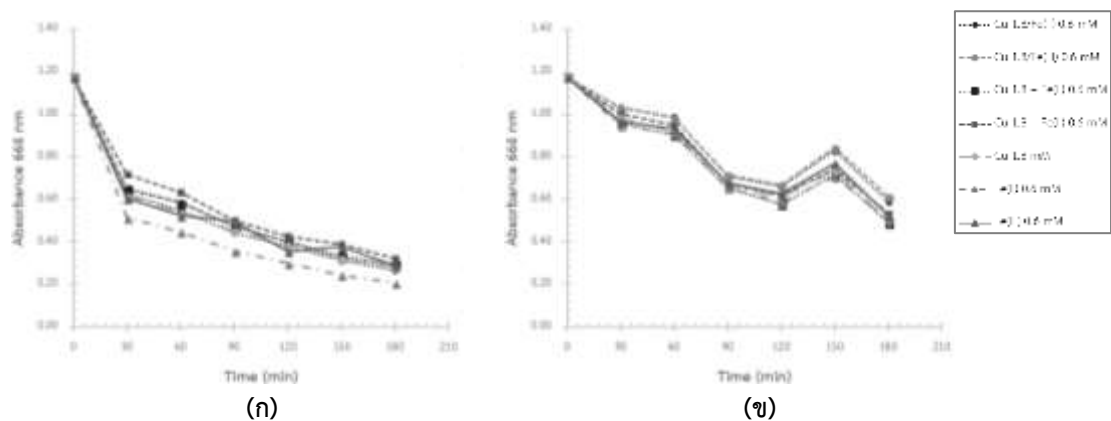


รูปที่ 2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายทองแดง/เหล็กกับเซรั่มจากหางน้ำย่างในอัตราส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ (ก) สารละลาย Cu/Fe(II) (ข) สารละลาย Cu/Fe(III)

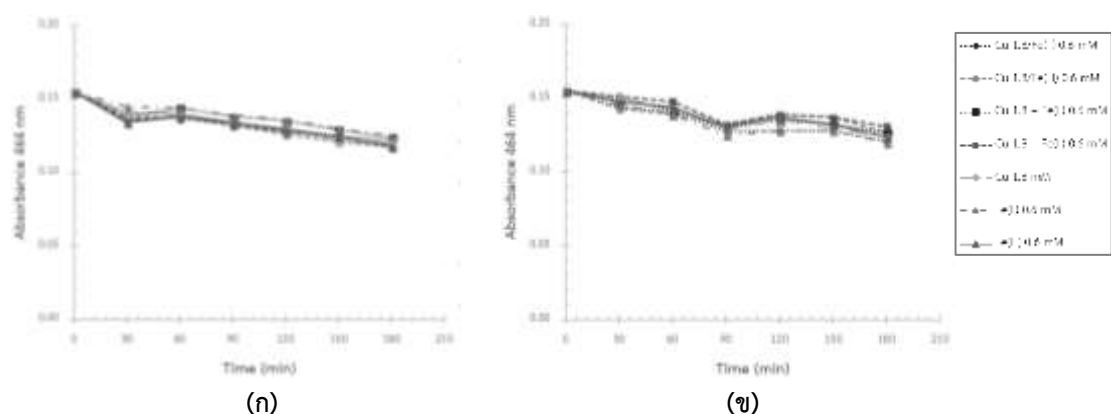
3.3. ผลการทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

จากผลการทดลองใน 3.2 ผลของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดง/เหล็ก ได้เลือกใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างทองแดงกับเหล็กเป็น Cu 1.8/Fe 0.6 มิลลิโมลาร์ นำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ เปรียบเทียบกับอนุภาคนาโนทองแดง (Cu(II) 1.8 มิลลิโมลาร์) และเหล็ก (Fe(II), Fe(III) 0.6 มิลลิโมลาร์) จากการผลการทดลองพบว่า มีการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเริ่มต้นที่เวลา 30 นาที มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมสูงถึง 55-83% โดยอนุภาคของ Fe(II) มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมสูงสุดตามด้วย Cu/Fe(II), Cu/Fe(II) และ Cu+Fe(II) ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่

2 สำหรับการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อม 19-24% โดยอนุภาคของ Cu/Fe(III) มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมสูง ตามด้วย Fe(III) , Cu+Fe(III) และ Cu/Fe(II) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร กับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลู (ก) ภายใต้การฉายแสงอาทิตย์ (ข) ภายใต้ทึบแสง



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 464 นาโนเมตร กับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ (ก) ภายใต้การฉายแสงอาทิตย์ (ข) ภายใต้ทึบแสง

4. สรุปผลการทดลอง

อนุภาคนาโนทองแดง/เหล็กที่สังเคราะห์ได้จากขี้เถ้าของหางน้ำย่าง นอกจากจะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ลดการใช้สารเคมีอันตรายและลดมลพิษที่เกิดจากการกำจัดหรือทำลายวัสดุ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ผลของอนุภาคนาโนโลหะคู่ทองแดง/เหล็ก Cu 1.8/Fe 0.6 มิลลิโมลาร์ ที่ได้เลือกมาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลินบลูและเมทิลออเรนจ์ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อม จากค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไปและมีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 77.28 และ 24.52% ภายในเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง (Photocatalysis) ซึ่งเป็นวิธีย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดโดยการออกซิเดชัน ขณะที่อนุภาคนาโนของทองแดงสามารถย่อยสลายได้ 74.26 และ 21.04% จะเห็นได้ว่าแม้อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างทองแดงกับเหล็ก Cu 1.8/Fe 0.6

มิลลิโมลาร์ จะมีเหล็กเพียง 1 ใน 4 จากปริมาตรทั้งหมด แต่เหล็กก็สามารถแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานร่วมกับทองแดงในรูปแบบของอนุภาคนาโนโลหะคู่

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dang-Bao, T., Pla, D., Favier, I. & Gómez, M. Bimetallic Nanoparticles in Alternative Solvents for Catalytic Purposes. *Catalysts*. 2017; 7, 207 : 1-33.
- [2] Ojha, N.K., Zyryanov, G.V., Majee, A., Charushin, V.N., Chupakhin, O.N. & Santra, S. Copper nanoparticles as inexpensive and efficient catalyst: A valuable contribution in organic synthesis. *Coordination Chemistry Reviews*. 2017; 353 : 1-57.
- [3] Reddy, A.V.B., Yusop, Z., Jaafar, J., Reddy, Y.V.M., Aris, A.B., Majid, Z.A., Talib, J., & Madhavi, G. Recent progress on Fe-based nanoparticles: Synthesis, properties, characterization and environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016; 4 : 3537-3553.
- [4] ชัญญานุช ชนะกิจการโชค และนภดาว หริพัฒน์กุล. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงโดยใช้หางน้ำแยงและการประยุกต์ใช้ [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2559.
- [5] Liu, X., Wang, D. & Li, Y. Synthesis and catalytic properties of bimetallic nanomaterials with various architectures. *Nano Today*. 2012; 7 : 448-466.
- [6] Precht, M.H.G. & Campbell, P.S. Metal oxide and bimetallic nanoparticles in ionic liquids: synthesis and application in multiphase catalysis. [Internet]. 2013 [cited 2018 February 19] available from : <https://www.degruyter.com/view/j/ntrev.2013.2.issue-5/ntrev-2013-0019/ntrev-2013-0019.xml> (in Thai).
- [7] Nazara, N., Bibia, I., Kamalb, S., Iqbalc, M., Nourend, S., Jilanie, K., Umaira, M. & Ata, S. Cu nanoparticles synthesis using biological molecule of P. granatumseeds extract as reducing and capping agent: Growth mechanism and photo-catalytic activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018; 106 : 1203-1210.
- [8] Devatha, C.P., Thalla, A.K., & Katte, S.Y. Green synthesis of iron nanoparticles using different leaf extracts for treatment of domestic waste water. *Journal of Cleaner Production*. 2016; 139 : 1425-1435.
- [9] Wei, Y., Fanga, Z., Zhenga, L., Tana, L. & Tsangb, E.P. Green synthesis of Fe nanoparticles using Citrus maxima peels aqueous extracts. *Materials Letters*. 2016; 185 : 384-386.
- [10] Ma, L.M., Ding, Z.G., Gao, T.Y., Zhou, R.F., Xu, W.Y. & Liu, J. Discoloration of methylene blue and wastewater from a plant by a Fe/Cu bimetallic system. *Chemosphere*. 2004; 55 : 1207-1212.
- [11] Wen-ying, X. & Ting-yao G. Dechlorination of carbon tetrachloride by the catalyzed Fe-Cu process. *Journal of Environmental Sciences*. 2007; 19 : 792-799