

**การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้เซรัมจากหางน้ำยางเคลือบบน  
ผิวอนุภาคพอลิเอทิลีน**  
(synthesis of copper nanoparticles on polyethylene particles surface using  
serum from skim natural rubber latex)

แพร แยมวงค์, ภาณุ ตำนวนิชกุล  
โครงการเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Pare Yamwong, Panu Danwanichakul  
Energy and Environmental Management Technology Program, Department of Chemical  
Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University  
E-mail : Pareyamwong1707@gmail.com

**บทคัดย่อ**

ในงานวิจัยนี้อนุภาคนาโนทองแดงถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้หางน้ำยางธรรมชาติที่เป็นผลพลอยได้จากการปั่นเหวี่ยงในการผลิตน้ำยางข้น จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับหางน้ำยางจากนั้นนำไปจับก้อนยางออกด้วยสารพอลิอะคริลาไมด์ (PAM) จะได้เซรัมที่มีพอลิเมอร์หลงเหลืออยู่ จากนั้นนำเซรัมที่ได้ไปผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.3, 1.2 และ 2.4 มิลลิโมลาร์ เมื่อนำไปตรวจค่าการดูดกลืนแสง (Visible Adsorption) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต พิกซ์ของการดูดกลืนแสงจะเพิ่มมากขึ้นโดยพิกซ์ของค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดคือ สารละลายความเข้มข้น 2.4 มิลลิโมลาร์ จากนั้นจึงเลือกค่าความเข้มข้นที่ 2.4 มิลลิโมลาร์ เพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงพร้อมไปกับการเคลือบบนผิวพอลิเอทิลีน และสังเคราะห์อนุภาคนาโนก่อนแล้วจึงไปเคลือบบนผิวของพอลิเอทิลีน โดยใช้เวลาในการเคลือบนาน 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวพอลิเอทิลีนจำเป็นต้องเคลือบด้วยพอลิโดพามีนก่อนจึงจะทำให้การเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงติดดีขึ้น จากผลการทดลองอนุภาคพอลิเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ไว้ก่อนนานโดยใช้เวลาเคลือบนาน 12 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายเมทิลีนบลูภายใต้แสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 72.29 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 4 ชั่วโมง

**คำสำคัญ :** อนุภาคนาโนทองแดง, หางน้ำยางธรรมชาติ, การสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, การเคลือบอนุภาคนาโน, การเร่งปฏิกิริยด้วยแสง

**Abstract**

This project is about the synthesis of copper nanoparticles using green synthesis in which skim natural rubber latex, which is a by-product from concentrated rubber latex production, was used so its value could be boosted. Then, the rubber coagulated with polyacrylamide (PAM) was

removed and the serum with remaining PAM was obtained. The serum was mixed with copper sulfate solution at 0.1, 0.3, 1.2 and 2.4 mM. The formation of copper nanoparticles was detected via spectrophotometry. When the concentration of the copper sulfate solution was increased, the absorbance peak was increased. Therefore, 2,4 mM solution was chosen in the nanoparticles synthesis by either synthesis at the same time of coating on polyethylene (PE) particles or synthesis first and then coating on PE particles. The time for nanocoating was varied to be 1, 6, 12, and 24 h. It was essentially found that that prior to nanocoating, PE particles had to be coated with polydopamine to enhance nanocoating process. It was also found that samples from the latter coating process when coating time was 12 h gave the best results of methylene blue photodegradation. The removal efficiency was 77.29% within 4 h.

**Keywords:** nanoparticles, natural rubber latex, green synthesis, nanocoating, Photocatalysis

## 1. บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพบว่าราคายางพารามีแนวโน้มปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่องจึงมีการส่งเสริมการวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบจากต้นยางพารา หนึ่งในแนวทางดังกล่าวคือการเพิ่มมูลค่าของยางน้ำยางธรรมชาติซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น งานวิจัยเล็งเห็นว่าในน้ำเซรัมของยางน้ำยางธรรมชาติดังมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ และสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะได้

ปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนแบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยปรับเปลี่ยนการใช้สารเคมีมาใช้สารที่ได้จากธรรมชาติกำลังเป็นที่สนใจเป็นอย่างมากเนื่องจาก เป็นกระบวนการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดของเสีย ลดระยะเวลาในการสังเคราะห์อนุภาคนาโน รวมถึงลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายและปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้เซรัมจากยางน้ำยาง อนุภาคนาโนทองแดงมีประโยชน์หลากหลาย เช่น สามารถทนความร้อนได้ดี นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าอนุภาคนาโนทองแดงมีสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการย่อยสลายสารเคมีด้วยแสง แต่การนำอนุภาคนาโนไปใช้ในการบำบัดน้ำในกระบวนการดังกล่าวโดยตรงอาจไม่สะดวกนัก เพราะอนุภาคนาโนมีขนาดเล็กอาจหลุดลอดสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงประยุกต์โดยนำอนุภาคนาโนทองแดงไปเคลือบบนผิวของอนุภาคพอลิเมอร์ของแข็ง ในที่นี้คือพอลิเอทิลีน (Polyethylene หรือ PE) โดยข้อดีของการเคลือบนาโนคือสามารถเก็บรักษาวัสดุเคลือบได้ง่าย พร้อมใช้งาน เป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมรวมทั้งเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มอัตราการนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และนำอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบแล้วนำไปประยุกต์ใช้โดยงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการย่อยสลายสีเมทิลีนบลู (Methylene Blue) ด้วยวิธีโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic) ซึ่งเป็นสิ่งที่นิยมใช้ในการย้อมเส้นใยในอุตสาหกรรมย้อมฟอกย้อม ซึ่งสีเหล่านี้มักตกค้างอยู่ในน้ำทิ้งและบำบัดได้ยาก

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงจากเซรัมของยางน้ำยาง

2. เพื่อเปรียบเทียบการเคลือบอนุภาคแบบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงก่อนเคลือบและแบบสังเคราะห์อนุภาคทองแดงขณะเคลือบกับระยะเวลา รวมถึงเปรียบเทียบผลในการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงบนพื้นผิวของอนุภาคพอลิเอทิลีน

3. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากอนุภาคนาโนทองแดงที่เคลือบบนพื้นผิวของพอลิเอทิลีน

### 1.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำยางพารา (Latex) เป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลือง ชุ่มชื้นมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ

1) เนื้อยางประมาณ 35 % : เป็นอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำยางและเป็นสารประกอบพอลิไอโซพรีนคาร์บอนมีความหนาแน่น 0.92 ไม่ละลายน้ำจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารจำพวกไขมันและสารจำพวกโปรตีน

2) ส่วนที่ไม่ใช่ยางประมาณ 65 % : ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำหรือเรียกว่า ซีรัม (Serum) : มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 ประกอบด้วยสารพวกคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโน

2.2 ส่วนของลูตอยด์ (Lutoid) : เรียกว่า ปี-ซีรัม ที่มีส่วนของสารละลายกรด, เกลือ, โปรตีน, น้ำตาล และโพลีฟีนอลออกซิเดสซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

ปัจจุบันอนุภาคนาโนได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวและการใช้งานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นซึ่งอนุภาคนาโนทองแดงก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจเพราะมีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก [1] งานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ความสนใจเกี่ยวกับการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายกับทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมาใช้สารจากธรรมชาติเช่น การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้สารสกัดจากเมล็ดทับทิมและเกลือกอลด์ของทองแดง โดยตรวจสอบลักษณะอนุภาคนาโนทองแดงที่สังเคราะห์ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีรูปร่างทรงกลมกระจายตัวสม่ำเสมอ จากนั้นนำมาทดสอบการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลู (150 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้การฉายรังสีจากแสงอาทิตย์ 3 ชั่วโมงสามารถย่อยสลายได้ถึง 87.11 เปอร์เซ็นต์ [2] รวมถึงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์จากหางน้ำยางพบว่าโปรตีนในน้ำยางสามารถควบคุมการโตของอนุภาคได้ด้วยการทำหน้าที่เป็นตัวสร้างความเสถียร [3] รวมถึงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้หางน้ำยาง โดยใช้สารพอลิอะคริลาไมด์ (PAM) เป็นสารในการจับก้อนน้ำยางออกจะได้เซรัมที่มีโพลิเมอร์หลงเหลืออยู่ซึ่งสามารถช่วยในการคุมขนาดอนุภาคได้ จากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติของอนุภาคนาโนทองแดงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (visible spectrophotometer) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิสชัน (TEM) จากการตรวจสอบพบพีคของค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 437 - 445 นาโนเมตร และจากการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้นของเซรัมและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา พีคของการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นซึ่งบ่งบอกว่าเกิดอนุภาคนาโนทองแดงมากขึ้น จากงานวิจัยนี้ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงคือ การทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 1.2 mM และเซรัมจากหางน้ำยางที่มี % Alkalinity, กลูโคส, และโปรตีน เท่ากับ 0.2429%, 0.0288g/ml หรือ 3%BRIX และ 4 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำอนุภาคนาโนทองแดงที่สังเคราะห์ได้มาย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูพบว่า สามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูได้ถึง 79.19% ในเวลา 3 ชั่วโมง [4] ถึงแม้การสังเคราะห์จะประสบความสำเร็จ แต่ยังมีปัญหาการประยุกต์ใช้งานอนุภาคนาโนบางประการ อาทิเช่น ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก รวมถึงการเก็บอนุภาคนาโนให้พร้อมสำหรับการใช้งานได้ง่าย จึงมีแนวทางแก้ไขโดยการนำอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ทำการเคลือบบนอนุภาคของแข็งที่มีรูพรุนเพื่อเพิ่มความ

ทนทาน ง่ายต่อการใช้งานและการนำกลับมาใช้ใหม่ ที่ผ่านมามีงานวิจัยบางงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลือบอนุภาคนาโนบนผิวของแข็ง เช่น การเคลือบอนุภาคนาโนทองคำบน Polystyrene (PS)/Polydopamine (PDA) ซึ่งก่อนการเคลือบผิวพอลิเมอร์ได้มีการปรับพื้นผิววัสดุโดยใช้ Polydopamine (PDA) มาช่วยเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของอนุภาคให้ดีขึ้น โดย PDA สามารถสร้างฟิล์มโพลิเมอร์ที่บางและสามารถยึดติดกับพื้นผิววัสดุเกือบทุกชนิด และช่วยในการเชื่อมโครงสร้างที่มีขนาดสม่ำเสมอและกระจายตัวได้ดี โดยตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงเห็นโครงสร้างแผ่นฟิล์ม PDA ultrathin ที่เชื่อมต่อระหว่าง Polystyrene กับอนุภาคนาโนของทองคำและผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าผลึกอนุภาคนาโนของทองคำช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนได้ดีขึ้น [5] ทั้งยังมีการศึกษาการทำ hydrophilization และ heparization ที่มีรูพรุนของ PE โดยในงานวิจัยนี้ได้ยืนยันว่าการใช้โพลิพามีนสามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์และเชื่อมโยงกับพื้นผิวของ PE ที่มีรูพรุนในสารละลายโพลิโพิพามีนสามารถสร้างชั้นปฏิกิริยาที่เสถียรซึ่งยึดติดกับเมมเบรนช่วยเพิ่มโอกาสในการปรับเปลี่ยนพื้นผิวและการปรับฟังก์ชันการทำงาน [6] และได้มีการประยุกต์ใช้ในการเคลือบอนุภาคของแข็งอื่น อาทิเช่น ซิลิกาเจล

## 2. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

### 2.1 การเตรียมเซรัมจากหางน้ำยางธรรมชาติ

เตรียมสารละลายแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ (Cationic polyacrylamide, C-PAM) ความเข้มข้น 0.5 %W/V ปริมาตร 360 มิลลิลิตร ต่อมานำสารละลายที่ได้เติมลงในหางน้ำยางธรรมชาติปริมาตร 500 มิลลิลิตร กวนจนเนื้อยางจับก้อนนำมารองด้วยผ้ากรองเพื่อแยกเนื้อยางออก

### 2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดง (Copper nanoparticles) ในเซรัมจากหางน้ำยางธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง

ผสมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 8 mM กับเซรัมจากหางน้ำยางที่ใช้เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ จนได้สารละลายปริมาตร 11 mL ที่มีความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เท่ากับ 0.1, 0.3, 1.2 และ 2.4 mM และเซรัมจากหางน้ำยาง ในขณะที่กวนสารละลายด้วยแท่งแก้วที่อุณหภูมิห้อง โดยทันทีที่ผสมสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอ่อนเป็นสีน้ำตาลแดงที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ จากนั้นทิ้งสารละลายไว้เป็นเวลา 0, 15, 30 และ 60 นาที และตรวจสอบอนุภาคนาโนทองแดงที่เกิดขึ้นโดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

### 2.3 การเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงบนอนุภาคพอลิเอทิลีน (PE)

ชั่ง PE 1 กรัมแล้วเติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งสาร Dopamine hydrochloride 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันแล้วเติมสารละลายแอมโมเนีย 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้าง PE ด้วยเอทานอลและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

จากนั้นจึงเคลือบอนุภาค PE โดยนำเซรัมจากหางน้ำยางปริมาตร 7.7 มิลลิลิตร ผสมกับอนุภาค PE ตามด้วยการเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร จากนั้นคนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

### 2.4 การทดสอบประสิทธิภาพการการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลู

นำอนุภาคของแข็งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนทองแดงปริมาณ 0.5 มิลลิกรัม ใส่ลงใน 10 มิลลิลิตรของสารละลายเมทิลีนบลู แล้วทิ้งไว้ภายใต้แสงอาทิตย์ จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60 และ 120 นาที ช่วงละ 100 ไมโครลิตร พร้อมกับการเติมน้ำกลั่น 900 ไมโครลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

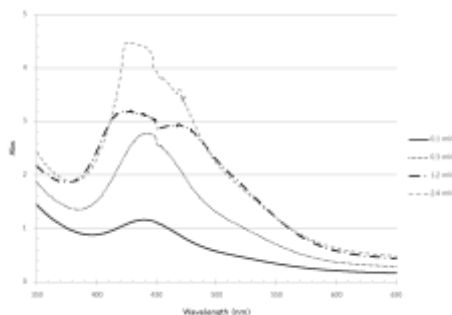
ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร และเปรียบเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลูที่ทำเตรียมไว้

### 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงโดยใช้เซิร์มจากหางน้ำยางธรรมชาติที่มีสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่มาก สารจำพวกน้ำตาลสามารถเป็น reducing agent นอกจากนี้ยังมีพอลิอะคริลาไมด์ (PAM) หลงเหลืออยู่บางส่วนจาก กระบวนการจับก้อนยางออกไปก่อนหน้านี้ รวมถึงโปรตีนซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็น stabilizing agent ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนได้ ผลของปัจจัยในการสังเคราะห์ต่าง ๆ เป็นดังนี้

#### 3.1 ผลความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

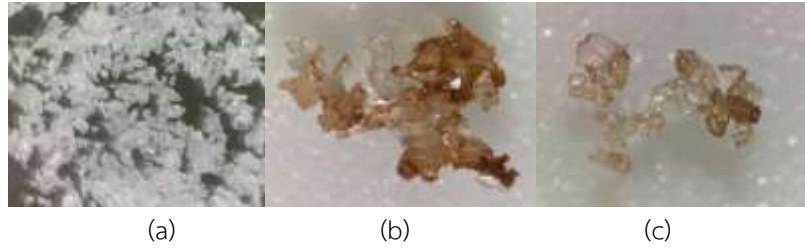
จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงจากหางน้ำยางผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.1, 0.3, 1.2 และ 2.4 มิลลิโมลาร์ พบว่าพื้นที่ผสมสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าอ่อนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่าเกิดอนุภาคนาโนทองแดงขึ้น มีหมู่คาร์บอนิลของกลุ่มกรดอะมิโนที่มาสสร้างพันธะกับคอปเปอร์ ออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวช่วยควบคุมขนาด จากนั้นตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตมากขึ้น โดยจากภาพที่ 1 กราฟที่ความเข้มข้น 2.4 มิลลิโมลาร์ มีค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มที่สูงที่สุดเป็นการบ่งชี้ว่าเกิดอนุภาคนาโนทองแดงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในระบบมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ของคอปเปอร์ที่เป็นอนุภาคนาโนทองแดงมากขึ้น



ภาพที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น  
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

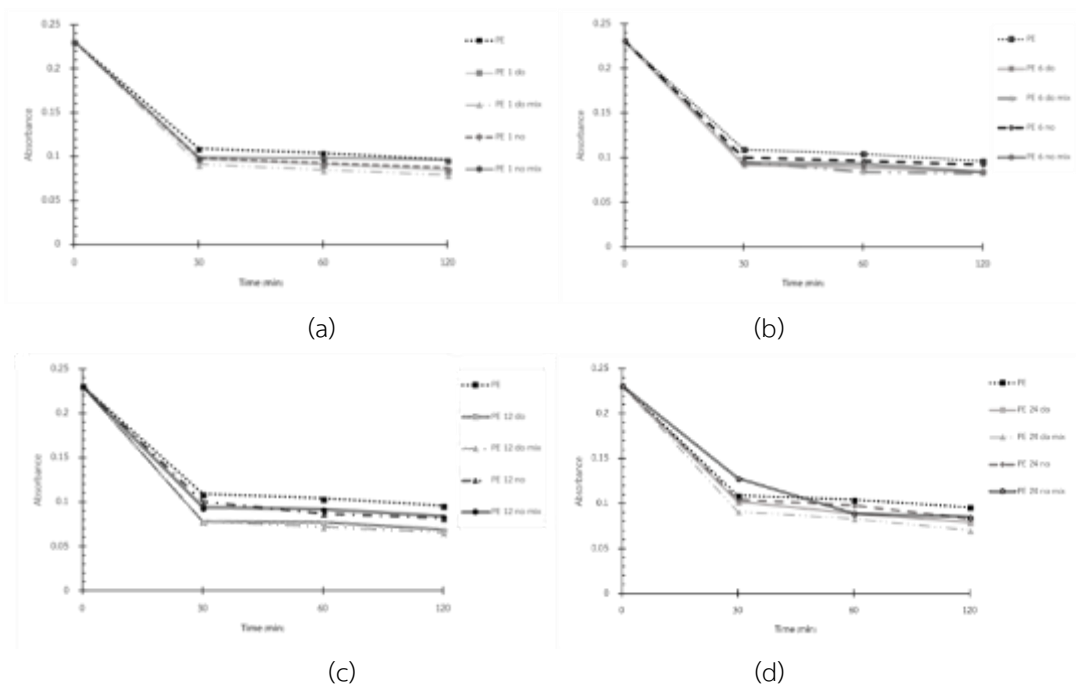
#### 3.2 ผลการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงบนพื้นผิวอนุภาคพอลิเอทิลีน

จากการทดลองขั้นตอนเมื่อได้ค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทองแดงที่เหมาะสมแล้วจึงนำค่าที่ได้เคลือบบนอนุภาคของของแข็งโดยเปรียบเทียบวิธีการเคลือบแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ 1) การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงก่อนเคลือบ 2) การสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงขณะเคลือบกับระยะเวลาที่ใช้ในการเคลือบ รวมถึงเปรียบเทียบผลของการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงบนพื้นผิว PE โดยเมื่อนำ PE ที่ผ่านการเคลือบแล้วไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สโตริโอ พบว่าสีของผลึกเข้มขึ้นแสดงว่ามีการเคลือบติดของอนุภาคนาโนทองแดงบนพื้นผิว PE ดังแสดงในภาพที่ 2 (b) และ (c)



**ภาพที่ 2** ตัวอย่างอนุภาคของ PE (a) อนุภาคของ PE ก่อนทำการเคลือบการเคลือบ (b) อนุภาคของ PE ที่สังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงก่อนเคลือบ (c) อนุภาคของ PE ที่สังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงขณะเคลือบ

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนทองแดงที่นำไปเคลือบบนอนุภาค PE ในการย่อยสลายเมทิลีนบลู หลังจากอนุภาคพอลิเอทิลีนถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนทองแดงที่ระยะเวลาต่าง ๆ แล้ว จึงนำอนุภาคพอลิเอทิลีนที่ถูกเคลือบแล้ว 0.5 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตรของสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 10 ppm จากนั้นเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร โดยวัดเพื่อเทียบกราฟมาตรฐาน (calibration curve) เทียบกับเมทิลีนบลู เพื่อทดสอบการย่อยสลายสีตามชนิดตัวอย่าง โดยค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป



**ภาพที่ 3** กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบด้วยเวลาต่างกัน (a) 1 ชั่วโมง, (b) 6 ชั่วโมง, (c) 12 ชั่วโมง และ (d) 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 3 (a) เปรียบเทียบการใช้อนุภาคพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้เคลือบพอลิโดพามีนก่อนแต่เคลือบอนุภาคนาโนทองแดงในขณะที่สังเคราะห์อนุภาค (PE 1 no) การเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงที่สังเคราะห์ไว้ก่อน (PE 1 no mix) การใช้อนุภาคพอลิเอทิลีนที่เคลือบพอลิโดพามีนก่อนจึงเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงในขณะที่สังเคราะห์เลย

(PE 1 do) และเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงที่สังเคราะห์ไว้ก่อน (PE 1 do mix) จะเห็นว่า การใช้ฟอลิโดพามีนเคลือบอนุภาค PE ก่อนและการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงในแบบที่สังเคราะห์อนุภาคไว้ก่อนจะให้ผลที่ดีกว่า ซึ่งในการทดลองที่ให้เวลาในการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงนาน 1 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายที่ดีที่สุดคือ 67.97 เปอร์เซ็นต์ กราฟ (b) แสดงผลการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงนาน 6 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการย่อยสลายสีของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 65.37 เปอร์เซ็นต์

จากกราฟ (c) การย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบนาน 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสีของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 72.29 เปอร์เซ็นต์

จากกราฟ (d) การย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบนาน 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายสีของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 72.29 เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ 3 กราฟที่ a-d แสดงให้เห็นว่าอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนทองแดงสามารถย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูได้โดยจะมีการทดลอง 2 ชุดคือชุดที่ 1 เป็นการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูโดย PE ที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงภายใต้แสงอาทิตย์ ชุดที่ 2 เป็นการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูโดย PE ที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงแบบไม่ใช้แสงอาทิตย์ (ทำในที่มืด) เพื่อยืนยันว่า PE ที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนทองแดงสามารถย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูได้ด้วยกระบวนการ Photocatalysis และพบว่า การย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูด้วยอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงภายใต้แสงอาทิตย์ ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าลดลงตามเวลา โดยอนุภาค PE ที่ใช้ระยะเวลาในการเคลือบนาน 12 ชั่วโมงสามารถย่อยสลายสีได้ถึง 72.29 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลาเพียงแค่ 4 ชั่วโมง เท่านั้น



**ภาพที่ 4** กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนทองแดงนาน 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง

จากกราฟที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบนาน 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายสีของอนุภาค PE ที่ผ่านการเคลือบอนุภาคด้วยสารฟอลิโดพามีนเกิดออกซิเดชันภายใต้สภาวะต่างอ่อนทำให้เกิดโดพามีนพอลิเมอร์ไรเซชัน (dopamine polymerization) ที่ช่วยในเพิ่มการยึดเกาะระหว่างรูพรุนของ PE และอนุภาคนาโนทองแดง

จากนั้นเคลือบอนุภาคแบบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงก่อนเคลือบที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 72.29 เปอร์เซ็นต์

#### 4. สรุป

งานวิจัยนี้สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงจากทางน้ำยาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2.4 มิลลิโมลาร์ มีค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มที่สูงที่สุดเป็นการบ่งชี้ว่าเกิดอนุภาคนาโนทองแดงเพิ่มมากขึ้น จากนั้นจึงนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2.4 มิลลิโมลาร์ เคลือบบนอนุภาคอนุภาคพอลิเอทิลีนที่ผ่านการเคลือบอนุภาคด้วยสารพอลิโดพามีนจากนั้นเคลือบอนุภาคแบบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองแดงก่อนเคลือบที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 72.29 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเพียง 4 ชั่วโมง ด้วยกระบวนการแบบใช้แสง (Photocatalysis)

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ojha, N., Grigory V., Majee, A., Valery N. Charushin, Oleg N. & Santra, S. Copper nanoparticles as inexpensive and efficient catalyst: A valuable contribution in organic synthesis. *Coordination Chemistry Reviews*. 2017; 353 : 1–57.
- [2] Nazara, N., Bibia, I., Kamal, S., Iqbal, M., Nourend, S., Jilani, K., Umaira, M., & Ata, S. Cu nanoparticles synthesis using biological molecule of *P. granatum* seeds extract as reducing and capping agent: Growth mechanism and photo-catalytic activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018; 106 : 1203–1210.
- [3] Suwatthanarak, T., Than-ardna, B., Danwanichakul, D. and Danwanichakul, P., Synthesis of silver nanoparticles in skim natural rubber latex at room temperature. *Material Letter*. 2016; 31-35.
- [4] ชัญญานุช ชนะกิจการโชค และนภดาว หริพัฒน์กุล. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงโดยใช้ทางน้ำยา และการประยุกต์ใช้ [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2559.
- [5] Xu, T., Yalong Qj, Zhao, X., Zhang, Q. Controlled fabrication of nanostructures by assembling Au nanoparticles on functionalized polymeric spheres. *Colloids and Surface A : Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016; 139-145.
- [6] Jiang, J., Zhu, L., Li, X., Xu, Y., Zhu, B. Surface modification of PE porous membranes based on the strong adhesion of polydopamine and covalent immobilization of heparin. *Journal of Membrane Science*. 2010; 194-202.