

การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชันภายใต้สภาวะการฉายแสงยูวี SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES BY REDUCTION UNDER UV IRRADIATION

ยุวพร อุปปะ^{1*}, ณัฐมน หนูพวก¹ และ วิเชียร แสงอรุณ¹

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

*Corresponding Author: Yuwaporn.up@rmuti.ac.th, 091-419-9653

Received 29 April 2024; Received in revised form 17 June 2024; Accepted 28 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนโดยใช้โซเดียมซิเตรท ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) เป็นตัวรีดิวซ์ในการเกิดรีดักชันของกรดคลอโรอริก (HAuCl_4) ภายใต้สภาวะการฉายแสงยูวี (UV irradiation) ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณของตัวรีดิวซ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีผลต่อการเกิดและขนาดของอนุภาคทองคำระดับนาโน โดยความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวีที่ กำลังไฟ 10 วัตต์ คือ 38.8 มิลลิโมลาร์ ที่ปริมาตร 0.3 และ 0.6 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตาม สภาวะดังกล่าวนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ

คำสำคัญ: อนุภาคทองคำระดับนาโน โซเดียมซิเตรท การฉายแสงยูวี

Abstract

This research presents a synthesis of gold nanoparticles by using sodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) as a reducing agent for the reduction of chloroauric acid (HAuCl_4) under UV irradiation. The results showed that the content of sodium citrate in the synthesis had an effect on the formation and size of gold nanoparticles. The optimal concentration of sodium citrate for the synthesis of gold nanoparticles under UV irradiation at 10 W in this work was 38.8 mM with volumes of 0.3 and 0.6 mL. However, such conditions were not suitable for the synthesis of gold nanoparticles under natural light.

Keywords: gold nanoparticles, sodium citrate, UV irradiation

บทนำ

ทองคำขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร พบว่าจะมีสีที่แตกต่างจากทองคำโดยทั่วไปที่มีสีเหลืองทอง เนื่องมาจากการดูดกลืนแสงในช่วงสีน้ำเงิน แต่ทองคำอนุภาคระดับนาโนเมตรซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ขนาดของความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบ จึงทำให้เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon

Resonance, SPR) ซึ่งทำให้ทองคำที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรดูดกลืนแสงในช่วงสีเขียว (มีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 520 นาโนเมตร) ส่งผลทำให้อนุภาคทองคำระดับนาโนเมตรมีสีแดงจนถึงม่วงและสีฟ้า ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคโดยอนุภาคทองคำที่มีขนาดเล็กที่สุดจะมีสีแดง และจะเรียงลำดับขึ้นมาเรื่อยๆ จนถึงสีม่วง สีฟ้า และเป็นสีเหลืองทอง [1-2]

อนุภาคทองคำระดับนาโน (gold nanoparticles, AuNPs) เป็นผลผลิตหนึ่งที่ได้จากนวัตกรรมทางนาโนเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทในงานด้านเคมีวิเคราะห์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ ทองคำในขนาดที่เป็นอนุภาคนาโน จะทำให้คุณสมบัติมีความโดดเด่น ได้แก่ คุณสมบัติเชิงแสงและอิเล็กทรอนิกส์ จากสมบัติเหล่านี้จะทำการมองเห็นสีที่แตกต่างกันออกไป เมื่อขนาดของอนุภาคนาโนทองคำมีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัตินี้มักจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้การเปลี่ยนสี ที่มีประสิทธิภาพและความไวสูง [3-4]

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวได้นำนักวิจัยนำอนุภาคทองคำระดับนาโนนี้ไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันของทองคำอนุภาคในระดับนาโนเมตร ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคทองคำในระดับนาโนเมตรมีความแตกต่างกันตามไปด้วย จึงทำให้การประยุกต์ใช้งานมีความหลากหลายเป็นอย่างมาก ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอนุภาคทองคำระดับนาโนเมตร เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [5], ชีววิทยาและการแพทย์ (Biology and Medicine) [6] และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) [7] กระบวนการสังเคราะห์อนุภาคทองคำในระดับนาโนเมตร มีวิธีการสังเคราะห์ 3 วิธีหลักๆ คือ วิธีการสังเคราะห์ทางกายภาพ [1, 5], วิธีการทางชีวภาพ [1, 8] และวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี [1, 9] ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยส่วนใหญ่นิยมใช้โซเดียมซิเตรทเป็นตัวรีดิวส์ เนื่องจากเป็นสารเคมีพื้นฐาน หาง่าย ราคาไม่แพง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีที่ง่ายในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน โดยอาศัยการเกิดรีดักชันภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงยูวี โดยการเกิดอนุภาคทองคำระดับนาโนจะพิจารณาจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสีของสารละลาย ศึกษาอิทธิพลของตัวรีดิวส์ที่มีต่อการเกิดอนุภาค เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน

โนนี้ นอกจากนี้นี้ยังได้นำสภาวะที่ได้นี้มาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ โดยอนุภาคทองคำระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาสารปนเปื้อนในอาหาร และสิ่งแวดล้อมในลำดับต่อไป

วิธีดำเนินงาน

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายกรดคลอโรอริก (HAuCl_4 ; (Sigma-Aldrich, USA)) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ซึ่งกรดคลอโรอริก 0.0339 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายโซเดียมซิเตรท ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$; (Sigma-Aldrich, USA)) ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ซึ่งโซเดียมซิเตรท 1.0013 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. หาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำในระดับนาโน

2.1 สภาวะการสังเคราะห์ภายใต้แสงยูวี เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 – 1.5 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็กภายใต้แสงยูวี จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 30 นาที โดยเบื้องต้นทำการสังเกตสีของสารละลายที่สังเคราะห์ได้ สุดท้ายถ้าพบว่าสีของสารละลายที่ได้มีสีออกแดง จะนำสารละลายนั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงต่อไป

ตารางที่ 1 สภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน

การสังเคราะห์	HAuCl_4 1 mM (mL)	Sodium citrate 38.8 mM (mL)	สภาวะการสังเคราะห์
1	5	1.5	ได้แสง UV
2	5	0.6	ได้แสง UV
3	5	0.3	ได้แสง UV
4	5	0.6	ได้แสงธรรมชาติ



2.2 สภาวะการสังเคราะห์ภายใต้แสงธรรมชาติ
เติมสารละลายกรดคลอโรอริก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดำเนินการด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็กภายใต้แสงธรรมชาติ จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 30 นาที โดยทำการสังเกตสีของสารละลายที่สังเคราะห์ได้ จากนั้นก็นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเบื้องต้นทำการสังเกตสีของสารละลายที่สังเคราะห์ได้ สุดท้ายถ้าพบว่าสีของสารละลายที่ได้มีสีออกแดง จะนำสารละลายนั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงต่อไป



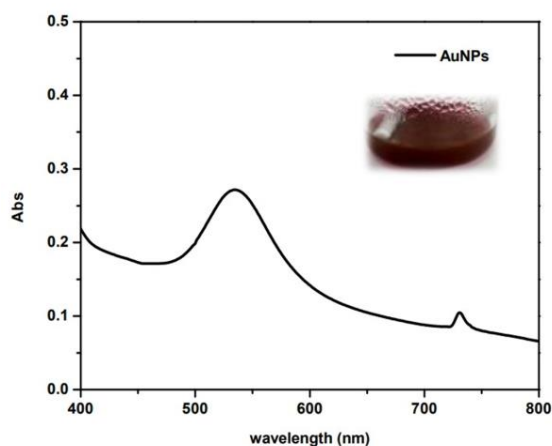
รูปที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน โดยใช้โซเดียมซิติเรทเป็นตัวรีดิวซ์ เพื่อเปลี่ยนไอออนของทองคำ (Au^{3+}) เป็นอะตอมของทองคำ (Au) จากนั้นอะตอมทองคำรวมตัวหลายๆ อะตอมจนกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดทองคำระดับนาโนซึ่งจะเป็นสารละลายสีแดงเข้ม

1. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าผ่านไป

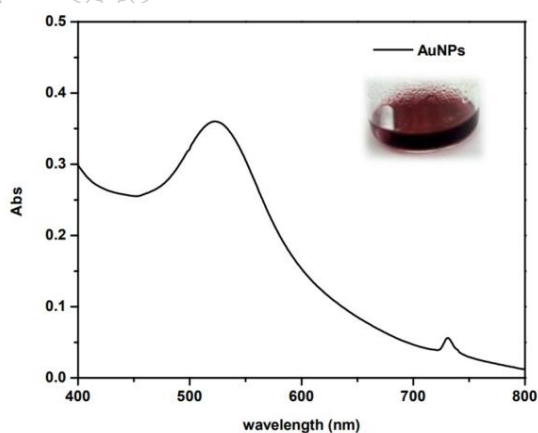
30 นาที เปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนๆ เป็นสีม่วง ผ่านไป 60 นาที เปลี่ยนเป็นสีแดงอมม่วง ผ่านไป 90 นาที เปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม ที่เวลา 210 นาที เปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มขึ้นเล็กน้อย และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกจนครบเวลา 240 นาที ปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 540 นาโนเมตร (รูปที่ 2) ซึ่งไม่ใช่อนุภาคทองคำระดับนาโนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2 สีของสารละลายและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิติเรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 240 นาที

2. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าเวลาผ่านไป 150 นาที สารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม และสุดท้ายที่เวลา 180 นาที สีของสารละลายไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติม ปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3 ที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของอนุภาคทองคำระดับนาโน



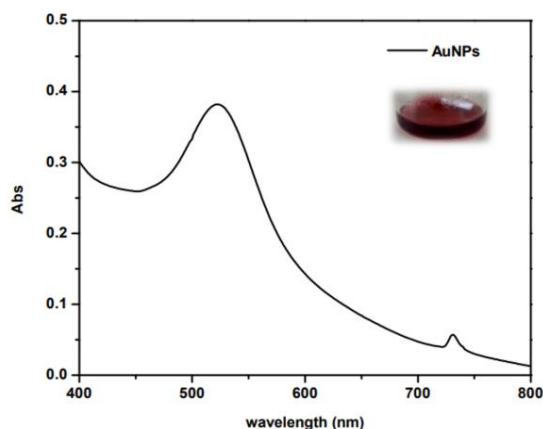


รูปที่ 3 สีของสารละลายและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 180 นาที

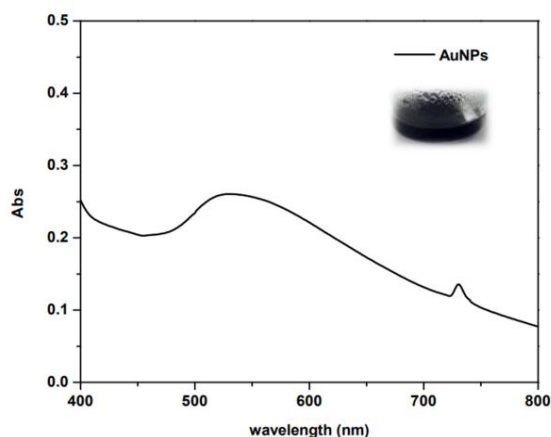
3. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าเวลาผ่านไป 30 นาที สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม และสุดท้ายจนเวลาผ่านไป 120 นาที สีของอนุภาคทองคำในระดับนาโนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร (รูปที่ 4) ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของอนุภาคทองคำระดับนาโน

4. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร (เปรียบเทียบกับสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี การเลือกทดสอบใช้ปริมาตรของสารละลายโซเดียมซิเตรท 0.6 มิลลิลิตร เนื่องจากการสันนิษฐานการทดลองว่าภายใต้แสงธรรมชาติที่ไม่มีแสงยูวีในการสังเคราะห์ อาจจะยังมีแนวโน้มทำให้เกิดอนุภาคทองคำระดับนาโนได้มากกว่าใช้ 0.3 มิลลิลิตร) สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าเปลี่ยนจากสี

เหลืองอ่อนๆ เป็นสีน้ำเงิน เวลาผ่านไป 60 นาที เปลี่ยนจากสีน้ำเงินใสเป็นสีน้ำเงินขุ่น ผ่านไป 90 นาที เวลา 150 นาที เปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้ม และสุดท้ายจนเวลาผ่านไป 270 นาที สีของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4 สีของสารละลายและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 120 นาที



รูปที่ 5 สีของสารละลายและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 270 นาที

สรุปผลการทดลอง

จากผลการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมซิติเรต ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ต่างกัน ทำให้เกิดอนุภาคทองคำขนาดที่แตกต่างกันโดยสังเกตสีของสารละลาย และการวัดค่าการดูดกลืนแสง เมื่อสังเคราะห์ภายใต้แสงที่แตกต่างกันก็ยิ่งส่งผลทำให้การสังเคราะห์แตกต่างกันด้วย จากสภาวะการทดลองในงานนี้การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสภาวะที่ใช้โซเดียมซิติเรต ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 และ 0.6 มิลลิลิตร จะได้อนุภาคทองคำระดับนาโนตรงตามสมบัติที่ต้องการ คือ สารละลายมีสีแดงเข้ม มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร แต่ในสภาวะการสังเคราะห์ดังกล่าวไม่เหมาะในการทำภายใต้แสงธรรมชาติ อาจเป็นไปได้ว่าที่สภาวะการใช้โซเดียมซิติเรต ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นสูงเกินไป จนมีผลทำให้อนุภาคทองคำระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเปลี่ยนหรือรูปร่างเปลี่ยนจึงทำให้ไม่ได้สมบัติเชิงแสงตามต้องการ ข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถใช้เวลาในการสังเคราะห์สั้นเพียงระยะเวลาแค่ 30 นาที เป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ง่ายไม่ยุ่งยาก มีการประหยัดพลังงานความร้อนเนื่องจากโดยปกติการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนด้วยการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซิติเรตต้องให้ความร้อนสูงกับสารละลายในขณะสังเคราะห์ และอนุภาคทองคำระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาสารปนเปื้อนในอาหาร และสิ่งแวดล้อมในลำดับต่อไป

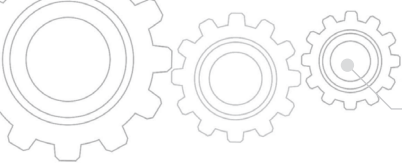
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ได้อนุมัติทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ปี 2563 และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต

ขอนแก่น ที่เอื้อเพื่อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิมพ์ทอง ทองนพคุณ และคณะ (2558). การป้องกันการหมองของเครื่องประดับเงินด้วยอนุภาคทองคำระดับนาโนเมตร, DSpace Repository, *Research Report 2015*.
- [2] Ludovico, C. and Geoffrey, A.O. (2009). Concepts of Nanochemistry, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [3] Rojanathanes, R. and Sereemasapun, A. (2009). Gold nanoparticle: a novel tool for DNA and protein detection, *Chulalongkorn Medical Journal*, vol. 53, pp. 465-475.
- [4] Lulu, T., Yimeng, Z., Hong, Q., Yonghui, L., Jingyan, S., Liangyu, H. and Zhengbo, C. (2016). A sensitive Hg(II) colorimetric sensor based on synergistic catalytic effect of gold nanoparticles and Hg, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol.229, pp.686-691.
- [5] Fars, K.A., Awwad, A.R. and Ibrahim, A.A. (2010). Biopharmaceutical applications of nanogold, *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol.18, pp. 179-183.
- [6] Sajanlal, P.R., Subramaniam, C., Sasanpour, P., Rashidian, B. and Pradeep, T. (2010). Electric field enhancement and concomitant Raman spectral effects at the edges of a nanometre-thin gold mesotriangle, *Journal of Materials Chemistry*. vol.20, pp. 2108-2113.
- [7] Jessica, W. (2007). Gold Nanoparticle Biosensor. University of Wisconsin Materials



Research Science and Engineering Center.
pp. 1-5.

[8] Javad, K.A., Hojjatollah, K., Sasan, M. and Afsaneh S. (2011). Biosynthesis Of Gold Nanoparticles Using Dried Flowers Extract of *Achillea Wilhelmsii* Plant, *Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 6, pp. 1011-1017.

[9] Tapan, K.S., Anjali, P., N.R. Jana, Z.L. Wang and Tarasankar P. (2001). Size controlled synthesis of nanoparticles using photochemically prepared seed particles. *Journal of Nanoparticles Research*, vol.3, pp. 257-261.

