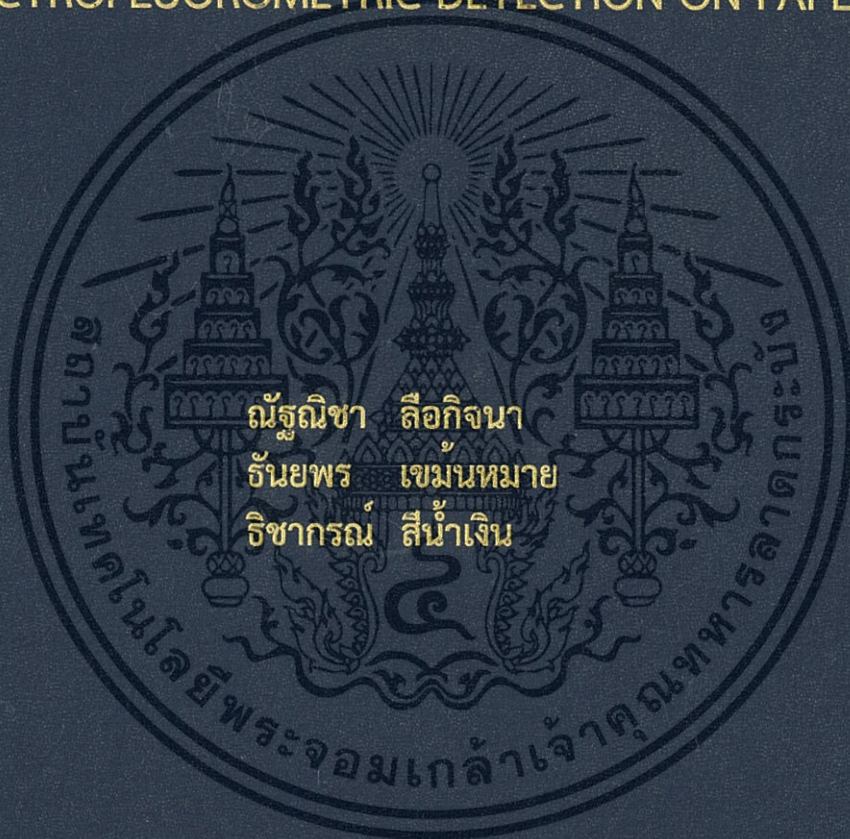


การประยุกต์ใช้นุภาคทองคำโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วย  
วิธีไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณไอโอดेटโดยอาศัยหลักการ  
สเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ

USE OF MICROWAVE-PREPARED GOLD NANOCUSTER  
FOR DETERMINATION OF IODATE BASED ON  
SPECTROFLUOROMETRIC DETECTION ON PAPER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การประยุกต์ใช้อุณหภูมิทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วย  
วิธีไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณไอโอดेटโดยอาศัยหลักการ  
สเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ

USE OF MICROWAVE-PREPARED GOLD NANOCUSTER  
FOR DETERMINATION OF IODATE BASED ON  
SPECTROFLUOROMETRIC DETECTION ON PAPER



ณัฐนิชา ลือภิกษา

ธัญพร เข้มหมาย

ธิดาภรณ์ สีน้าเงิน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USE OF MICROWAVE-PREPARED GOLD NANOCUSTER  
FOR DETERMINATION OF IODATE BASED ON  
SPECTROFLUOROMETRIC DETECTION ON PAPER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACEDMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การประยุกต์ใช้นุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณไอโอดेटโดยอาศัยหลักการสเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ

Use of microwave-prepared gold nanocluster for determination of iodate based on spectrofluorometric detection on paper

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐนิชา ลีอกิจนา รหัสนักศึกษา 57050408  
นางสาวธันยพร เข้มนหมาย รหัสนักศึกษา 57050424  
นางสาวธัชกรณีย์ สีน้าเงิน รหัสนักศึกษา 57050425

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. เอกรัฐ เดชศรี กรรมการ	
ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้อุณหภูมิของนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณไอโอเดตโดยอาศัยหลักการสเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐนิชา	สื่อจินา	รหัสนักศึกษา 57050408
	นางสาวธัญพร	เขม้นหมาย	รหัสนักศึกษา 57050424
	นางสาววิชากรณ์	สิน้ำเงิน	รหัสนักศึกษา 57050425
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ เขิงซัน		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการตรวจวัดปริมาณไอโอเดตด้วยหลักการสเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอโอเดตกับอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่ได้จากวิธีการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ด้วยวิธีไมโครเวฟ ผลการทดลองพบว่า สารละลายอนุภาคของนาโนที่สังเคราะห์ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล และจะเรืองแสงสีแดงเมื่ออยู่ภายใต้แสงยูวี โดยพบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงและค่าการเรืองแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 492 และ 618 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อเติมไอโอเดตลงไป สารละลายอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ พบว่า ค่าความเข้มของการเรืองแสงของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ลดลงตามความเข้มข้นของไอโอเดต พบว่ากราฟมาตรฐานซึ่งพล็อตระหว่าง  $(F_0 - F)/F_0$  กับความเข้มข้นของไอโอเดต มีช่วงความเป็นเส้นตรง 2 ช่วงคือ 0.05-0.80 มิลลิโมลาร์ ( $y = 0.3747x + 0.1947$ ) และ 0.80-5.00 มิลลิโมลาร์ ( $y = 0.0825x + 0.4135$ ) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดลีนใจเท่ากับ 0.9978 และ 0.9863 ตามลำดับ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.81 ถึง 2.93 วิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นในการหาปริมาณไอโอเดตพบว่ามีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเท่ากับ 0.05 มิลลิโมลาร์ และมีแนวโน้มที่จะสามารถประยุกต์ใช้วิธีนี้เพื่อหาปริมาณไอโอเดตในตัวอย่างเกลือได้

**คำสำคัญ :** อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์, ไอโอเดต, สเปกโทรฟลูออโรเมทรี, การตรวจวัดบนกระดาษ

<b>Title</b>	Use of microwave-prepared gold nanocluster for determination of iodate based on spectrofluorometric detection on paper		
<b>Students</b>	Miss Natnicha	Luekijna	Student ID 57050408
	Miss Thanyapohn	Kamenmai	Student ID 57050424
	Miss Thichakorn	Seenamngoen	Student ID 57050425
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2017		
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Nathawut Choengchan		

### Abstract

This work presents the method for spectrofluorometric detection of iodate on a paper-based device. Detection principle is based on the quenching effect of gold nanoclusters (AuNCs) by iodate ion. The AuNCs was synthesis using microwave as the heating source. It was observed that the as-prepared AuNCs provided yellowish brown color and red color (under UV light). The maximum excitation and emission wavelengths were 492 and 618 nm, respectively. In the presence of iodate, fluorescence intensity of the AuNCs were decreased as increasing in the iodate concentrations. The plot between  $(F_0-F)/F_0$  and the standard concentration was found in two linearity ranges which were 0.05 – 0.08 mM ( $y = 0.3747x + 0.1947$ ) and 0.08-5.00 mM ( $y = 0.0825x + 0.4135$ ) with determination coefficients of 0.9978 and 0.9863, respectively. Relative standard deviations were found from 2.81 to 2.93 % The developed iodate sensor was capable of detecting iodate as low as 0.05 mM. It was possible to apply the sensor for the analysis of iodate in iodized salt.

**Keywords:** gold nanoclusters, iodate, spectrofluorometry, a paper-based device.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจทาน แก้ไขโครงการพิเศษ และให้คำแนะนำ เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ และ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี เครื่องแก้ว อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณอาจณรงค์ เมธาวิสรสรเสริญ และ คุณอรฉัตร เลิศอิทธิพร รวมถึงนักศึกษาระดับปริญญาโทและเอกทุกท่านในหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในทุกเรื่อง

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือที่อาคารวิทยาศาสตร์

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนโอกาสทางการศึกษา และเป็นกำลังใจจนโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี รวมถึงบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือโดยไม่ได้กล่าวถึง หากโครงการพิเศษฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ นับเป็นความยินดีอย่างยิ่ง และหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ณัฐนิชา ลือกิจนา

ธันยพร เข้ม้นหมาย

ธิชากรณ์ สีน้าเงิน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ภาวะการขาดไอโอดีน.....	3
2.1.1 ภาวะขาดไอโอดีน.....	3
2.1.2 โรคเอ่อ.....	3
2.1.3 โรคคอพอก.....	4
2.1.4 ปริมาณไอโอดีนที่ควรได้รับ.....	4
2.1.5 แหล่งอาหารที่พบไอโอดีน.....	4
2.1.6 วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณไอโอดีน.....	5
2.1.6.1 วิธีไตเตรชัน.....	5
2.1.6.2 ชุดทดสอบภาคสนาม.....	5
2.2 อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	6
2.2.1 อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	6
2.2.2 การประยุกต์ใช้.....	7
2.3 หลักการของเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี.....	9
2.3.1 ลูมิเนสเซนซ์.....	9
2.3.2 เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์.....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์และการ ประยุกต์ใช้.....	12
2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการหาปริมาณไอโอเดต.....	13
2.5 หลักการตรวจวัดในโรงงานพิเศษนี้.....	14
<b>บทที่ 3</b> วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	15
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	15
3.1.1 สารเคมี.....	15
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	16
3.2 การเตรียมสารละลาย.....	16
3.2.1 การเตรียมสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก.....	17
3.2.2 การเตรียมสารละลายโบวินซีรีมอัลบูมิน.....	17
3.2.3 การเตรียมสารละลาย 2 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์.....	17
3.2.4 การเตรียมสารละลาย 0.1 โมลาร์ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	17
3.2.5 การเตรียมสารละลาย 1 โมลาร์ กรดซัลฟิวริก.....	18
3.2.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไอโอเดต.....	18
3.2.7 การเตรียมสารละลาย 200 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซิติเรต-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7.....	18
3.2.8 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดบนกระดาษ.....	19
3.2.9 การเตรียมตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีน.....	19
3.3 วิธีการทดลอง.....	19
3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	19
3.3.1.1 ศึกษาโปรแกรมการให้ความร้อนในการสังเคราะห์ อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	19
3.3.1.2 ศึกษากำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์ อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	20
3.3.1.3 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1.4 ศึกษาความเข้มข้นของโบวินซีรัมอัลบูมิน (BSA) ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	21
3.3.1.5 ศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	21
3.3.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ จากวิธีดั้งเดิมและแบบไมโครเวฟ.....	21
3.3.2.1 เปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสง.....	21
3.3.2.2 เปรียบเทียบด้านสัณฐานวิทยา.....	22
3.3.2.3 เปรียบเทียบความเสถียรของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	22
3.3.3 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณไอโอเดต.....	22
3.3.3.1 ศึกษาปฏิบัติการตรวจวัดปริมาณไอโอเดต.....	22
3.3.3.2 ศึกษาปฏิบัติการตรวจวัดปริมาณไอโอเดตบนกระดาษ โดยอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด.....	23
3.3.4 ศึกษาคุณลักษณะของการตรวจวัดปริมาณไอโอเดต โดยการใช้ อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์เป็นตัวเซนเซอร์.....	23
3.3.4.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity) .....	23
3.3.4.2 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ).....	24
3.3.4.3 การหาความเที่ยง.....	24
3.3.5 ศึกษาความเป็นไปได้โดยการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ ไอโอเดตบนตัวอย่าง.....	24
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>26</b>
4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคทอง นาโนคลัสเตอร์.....	26
4.1.1 ผลของโปรแกรมการให้ความร้อน.....	26
4.1.2 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อน.....	28
4.1.3 ผลของเวลาที่ให้ความร้อน.....	29
4.1.4 ผลของความเข้มข้นของโบวินซีรัมอัลบูมิน (BSA) .....	30
4.1.5 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	31
4.1.6 ผลการศึกษากลไกการเกิดอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์.....	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์จากวิธีดั้งเดิมและแบบไมโครเวฟ.....	33
4.2.1 เปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสง.....	33
4.2.2 เปรียบเทียบด้านสัณฐานวิทยา.....	34
4.2.3 เปรียบเทียบความเสถียรของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	35
4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ออนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ในการหาปริมาณไอโอเดต.....	36
4.3.1 ผลการศึกษาปฏิกิริยาการตรวจวัด.....	36
4.3.2 ผลการศึกษาการตรวจวัดบนกระดาษ.....	37
4.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะวิธีของการหาปริมาณไอโอเดตด้วยเทคนิคการตรวจวัดบนกระดาษโดยใช้ออนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด.....	39
4.4.1 ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity) .....	39
4.4.2 ผลการศึกษาความเที่ยง (Precision) .....	40
4.4.3 ผลการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ).....	41
4.5 ผลการศึกษาความเป็นไปได้โดยการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณไอโอเดตในตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีน.....	41
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>43</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก ก.....	47
ภาคผนวก ข.....	50
ภาคผนวก ค.....	51
ภาคผนวก ง.....	52
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างแหล่งอาหารที่มีไอโอดีน.....	4
3.1 การเตรียมสารละลายโบวินซีรัมอัลบูมิน ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	17
3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	17
3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอดेटที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	18
4.1 สรุปปัจจัยที่ศึกษาและสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	32
4.2 ค่าความเข้มข้นการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกคววนซ์ด้วย โพแทสเซียมไอโอดेटความเข้มข้น 0.20 และ 5.00 มิลลิโมลาร์, ค่าเฉลี่ย, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์.....	40
ก.1 ผลของโปรแกรมการให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	47
ก.2 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	47
ก.3 ผลของเวลาที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	48
ก.4 ผลของความเข้มข้นโบวินซีรัมอัลบูมินในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	48
ก.5 ผลของความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	49
ข.1 ค่า $F_0-F/F_0$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น $KIO_3$ ต่างๆ.....	50
ค.1 ค่า Fluorescence Intensity ของตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนที่ความเข้มข้น ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	51

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องมือ I-Reader.....	5
2.2 ชุดทดสอบ I-kit.....	5
2.3 อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	6
2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่มีโปรตีนเป็นตัว Stabilize.....	7
2.5 แสดงการประยุกต์ใช้ออนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	7
2.6 แสดง Jablonski's diagram.....	10
2.7 แสดงองค์ประกอบหลักและการจัดเรียงอุปกรณ์ภายในเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์.....	11
2.8 กลไกของการเกิดปฏิกิริยาควอนซิงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ด้วยสาร Oxidative.....	14
3.1 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดบนกระดาษ.....	19
4.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่โปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	26
4.2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่โปรแกรมการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง.....	27
4.3 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน.....	28
4.4 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่เวลาแตกต่างกัน.....	29
4.5 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ความเข้มข้นโบวินซีรัมอัลบูมินแตกต่างกัน.....	30
4.6 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน.....	31
4.7 กลไกการเกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์.....	32
4.8 แสดงสเปกตรัมการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์แบบดั้งเดิมและแบบไมโครเวฟ.....	33
4.9 แสดงภาพ Transmission Electron Microscopy (TEM) ของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์วิธีดั้งเดิมและแบบไมโครเวฟ.....	34
4.10 แสดงค่า Fluorescence intensity ที่ทำการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์	

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงสีของสารละลายอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกผสมกับสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	36
4.12 แสดง Fluorescence spectra ของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์หลังการเติม โพแทสเซียมไอโอเดตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	36
4.13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ ด้วยไมโครเวฟ โดยการตรวจวัดบนกระดาษ.....	37
4.14 รูปถ่ายภายใต้แสงยูวีของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกผสมกับสารละลาย มาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้นแตกต่าง โดยทำตรวจวัดบนกระดาษ.....	38
4.15 แสดง Fluorescence spectra หลังการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยทำตรวจวัดบนกระดาษ.....	38
4.16 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดไอโอเดต ด้วยอุปกรณ์การตรวจวัดบน กระดาษ.....	39
4.17 แสดง Fluorescence spectra ของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ในสารละลาย แบลงค์และเกลือเสริมไอโอดีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร.....	41
4.18 กระดาษกรองในงานเพาะเชื้อ.....	42

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AuNCs	อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์
BSA	โบวีนซีรัมอัลบูมิน
HAuCl <sub>4</sub>	เตตระคลอโรออร์ิก
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
KIO <sub>3</sub>	โพแทสเซียมไอโอเดต
KI	โพแทสเซียมไอโอไดด์
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	กรดซัลฟิวริก
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	กรดซิตริก
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส
mL	มิลลิลิตร
mg/mL	มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
M	โมลาร์
μL	ไมโครลิตร
g	กรัม
LOD	ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด
LOQ	ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ
% RSD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
TEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาวะขาดสารไอโอดีน เป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญของประเทศไทย โดยมักพบปัญหาดังกล่าวกับประชากรที่อาศัยในท้องถิ่นทุรกันดาร ซึ่งอาจไม่ค่อยมีโอกาสดบริโภคอาหารทะเล อันเป็นแหล่งของธาตุไอโอดีน แนวทางในการแก้ปัญหาภาวะขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย คือการเติมไอโอดีน ในรูปของไอโอดेट ลงในเกลือแกง เพื่อนำไปบริโภคทดแทนการบริโภคอาหารทะเล ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดेटในเกลือแกง จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของการควบคุมคุณภาพการผลิต และคุ้มครองผู้บริโภคในเรื่องของปริมาณการได้รับที่เหมาะสมด้วย

วิธีที่นิยมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดेटในเกลือแกง คือวิธีการไทเทรตตามหลักการไอโอดิเมทรี ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ผู้ทดลองไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการไทเทรตนี้ มีข้อจำกัด คือ อาจเกิดความผิดพลาดจากการสังเกตจุดยุติในแต่ละครั้ง ทำให้วิเคราะห์ได้ไม่แม่นยำ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก

ในปัจจุบัน อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ (Gold nanoclusters, AuNCs) ได้รับความสนใจนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ดังปรากฏในงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่พบว่า มีการนำ AuNCs มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ ใช้เป็นเซนเซอร์ทางเคมี สำหรับตรวจวัดสารต่าง ๆ เป็นต้น สาเหตุที่มีการประยุกต์ใช้ AuNCs อย่างกว้างขวาง เป็นเพราะอนุภาค AuNCs มีคุณสมบัติสามารถดูดกลืนแสงและเรืองแสงได้ดี

ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้ จึงมีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้อนุภาค AuNCs เป็นเซนเซอร์การตรวจวัดทางเคมี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดेटในเกลือเสริมไอโอดีน โดยจะทำการสังเคราะห์ AuNCs โดยใช้วิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted synthesis) ซึ่งจะใช้เวลาในการสังเคราะห์รวดเร็วกว่าวิธีการสังเคราะห์แบบดั้งเดิมซึ่งต้องให้ความร้อนนานถึง 12 ชั่วโมง หลักการตรวจวัดจะอาศัยการวัดค่าการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของอนุภาค AuNCs ที่ลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาควENCHING โดยไอโอดेटไอออน โดยในงานวิจัยนี้ จะทำการตรวจวัดบนกระดาษ (Paper-based detection) ซึ่งเป็นวิธีที่มีข้อดีคือทำได้สะดวก รวดเร็ว และประหยัดสารเคมีที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาค AuNCs ด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2) เพื่อศึกษาขนาด รวมถึงสมบัติการดูดกลืนแสง และก้ารเรืองแสงของอนุภาค AuNCs ซึ่งด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดไอโอเดต โดยวัดค่าการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของอนุภาค AuNCs ที่ลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาควENCHING โดยไอโอเดต โดยใช้กระดาษเป็นอุปกรณ์การตรวจวัด

4) เพื่อประยุกต์ใช้และตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น สำหรับหาปริมาณไอโอเดตในเกลือเสริมไอโอดีน

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยนี้เป็นดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาค AuNCs
- 3) ศึกษาขนาด รวมถึงสมบัติการดูดกลืนแสง และการเรืองแสงของอนุภาค AuNCs
- 4) ศึกษาหลักการตรวจวัดไอโอเดต โดยวัดค่าการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของอนุภาค AuNCs ที่ลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาควENCHING โดยไอโอเดต
- 5) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการตรวจวัดไอโอเดต โดยวัดค่าการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของอนุภาค AuNCs โดยใช้กระดาษเป็นอุปกรณ์การตรวจวัด
- 6) ศึกษาคุณลักษณะของวิธีที่พัฒนาขึ้น
- 7) ประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณไอโอเดตในเกลือเสริมไอโอดีนและตรวจสอบความถูกต้องของวิธี
- 8) เผยแพร่ผลงานวิจัย

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีตรวจวัดปริมาณไอโอเดตในเกลือเสริมไอโอดีนที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง และเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และประหยัดปริมาณสารเคมีที่ใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ภาวะการขาดไอโอดีน [1, 2]

#### 2.1.1 ภาวะขาดไอโอดีน (Iodine deficiency)

ภาวะขาดไอโอดีน คือ อาการหรือภาวะผิดปกติของร่างกายที่เกิดจากการได้รับธาตุไอโอดีนไม่เพียงพอ ทำให้ต่อมไทรอยด์ที่ทำหน้าที่สร้างไทรอยด์ฮอร์โมนไม่สามารถสร้างฮอร์โมนได้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งไทรอยด์ฮอร์โมนมีบทบาทสำคัญต่อร่างกายคือ ควบคุมการเจริญเติบโต ควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึม รวมถึงควบคุมกระบวนการเติบโตและพัฒนาการของสมอง ซึ่งไอโอดีนเป็นธาตุอาหารที่ร่างกายสร้างเองไม่ได้ ทำให้เมื่อขาดไอโอดีนจะส่งผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ในหญิงตั้งครรภ์จะส่งผลอย่างรุนแรงกับทารกในครรภ์ คือ ทารกเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือแท้งหรือพิการตั้งแต่กำเนิด ปัญญาอ่อน เมื่อโตขึ้นมีความบกพร่องทางสติปัญญา การเรียนรู้และการเจริญเติบโตของร่างกายช้า ในผู้ใหญ่ที่ขาดไอโอดีนจะมีภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ ทำให้มีอาการเกี่ยวกับคอหอยอ่อนเพลีย

ภาวะขาดไอโอดีนพบได้บ่อยในพื้นที่ที่ห่างไกลจากทะเล หรืออยู่สูงจากระดับน้ำทะเล เนื่องจากแหล่งที่มีไอโอดีนอุดมสมบูรณ์จะเป็นพวกอาหารทะเล สาหร่ายทะเล หรืออาหารที่มีการเติมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน ซึ่งในพื้นที่ที่ห่างไกลทะเลนั้นในอดีตพบว่า มีผู้ป่วยที่ขาดธาตุไอโอดีนเป็นอย่างมาก จนได้มีโครงการพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช (รัชกาลที่ 9) ทรงเห็นถึงปัญหาดังกล่าว เพื่อแก้ปัญหาภาวะการขาดไอโอดีนและเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับประชาชน จึงได้มีการเติมธาตุไอโอดีนลงในเกลือบริโภค ซึ่งธาตุไอโอดีนที่ถูกเติมจะอยู่ในรูปของโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) ซึ่งเป็นรูปที่มีความเสถียรต่อสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

#### 2.1.2 โรคเอื้อ (Cretinism)

สาเหตุของโรคเอื้อที่พบมากที่สุดของเด็ก เกิดจากแม่มีภาวะขาดธาตุไอโอดีนระหว่างการตั้งครรภ์ เพราะธาตุไอโอดีน เป็นธาตุที่สำคัญอย่างมากต่อการสร้างฮอร์โมนของต่อมไทรอยด์ หรือที่เรียกว่า ไทรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งไทรอยด์ฮอร์โมนจะเข้าสู่กระแสเลือด มีหน้าที่ควบคุมอวัยวะต่างๆ ของร่างกายให้ดำเนินไปตามปกติ และช่วยกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของร่างกาย สมอง และระบบประสาท อีกทั้งยังช่วยให้กล้ามเนื้อทำงานได้ดี ซึ่งถ้าหากร่างกายได้รับธาตุไอโอดีนไม่เพียงพอ จะส่งผลทำให้การสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนในร่างกายเกิดปัญหา ทำให้เสียสมดุลในการควบคุมการทำงานของต่อมไทรอยด์ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อภาวะสติปัญญาของเด็ก

### 2.1.3 โรคคอพอก (Goiter)

คือ โรคที่ต่อมไทรอยด์มีขนาดโตขึ้นผิดปกติจนสามารถมองเห็นหรือคลำพบได้ (ในภาวะปกติเราจะมองไม่เห็นและคลำไม่พบต่อมไทรอยด์) ทั้งนี้ เกิดโดยที่การทำงานของต่อมไทรอยด์อาจจะปกติ สูงกว่าปกติ (ต่อมไทรอยด์เป็นพิษ) หรือต่ำกว่าปกติ (ภาวะขาดไทรอยด์ฮอร์โมน) ทั่วโลกส่วนใหญ่สาเหตุที่เป็นโรคคอพอกคือเกิดจากการขาดธาตุไอโอดีน พบสูงสุดประมาณ 200-800 ล้านคน

### 2.1.4 ปริมาณไอโอดีนที่ควรได้รับ

ความต้องการไอโอดีนในแต่ละวัย

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1) หญิงมีครรภ์ หญิงให้นมบุตร | ต้องการประมาณ 250 ไมโครกรัม / วัน |
| 2) เด็กแรกเกิด - 5 ปี        | ต้องการประมาณ 90 ไมโครกรัม / วัน  |
| 3) เด็กอายุ 6 - 12 ปี        | ต้องการประมาณ 120 ไมโครกรัม / วัน |
| 4) เด็กวัยรุ่น - ผู้ใหญ่     | ต้องการประมาณ 150 ไมโครกรัม / วัน |

### 2.1.5 แหล่งอาหารที่พบไอโอดีน

ไอโอดีนพบมากในพืช และสัตว์ทะเล เช่น สาหร่ายทะเล ปลาทะเล กุ้งทะเล เป็นต้น

ตาราง 2.1 ตัวอย่างแหล่งอาหารที่มีไอโอดีน

อาหาร	ปริมาณอาหาร	ปริมาณไอโอดีน(ไมโครกรัม)*
ปลาซีกุน	2 ช้อนกินข้าว	20.7
ปลาทูน่า	2 ช้อนกินข้าว	14.4
ปลากระบอก	2 ช้อนกินข้าว	7.8
กุ้งทะเลตัวเล็ก	2 ช้อนกินข้าว	19.9
สาหร่าย (สำหรับทำแกงจืด)	2 ช้อนกินข้าว	105
ไข่ไก่ (ที่ไม่ได้เสริมไอโอดีน)	1 ฟอง	22
ไข่เป็ด (ที่ไม่ได้เสริมไอโอดีน)	1 ฟอง	26
ไข่เสริมไอโอดีน	1 ฟอง	50
เกลือทะเล (ที่ไม่ได้เสริมไอโอดีน)	1 ช้อนชา	20
เกลือเสริมไอโอดีน	1 ช้อนชา	150
น้ำปลาเสริมไอโอดีน	1 ช้อนชา	12.5

\*หมายเหตุ ข้อมูลจากตารางแสดงคุณค่าอาหารไทย พ.ศ.2544 กองโภชนาการ กรมอนามัย

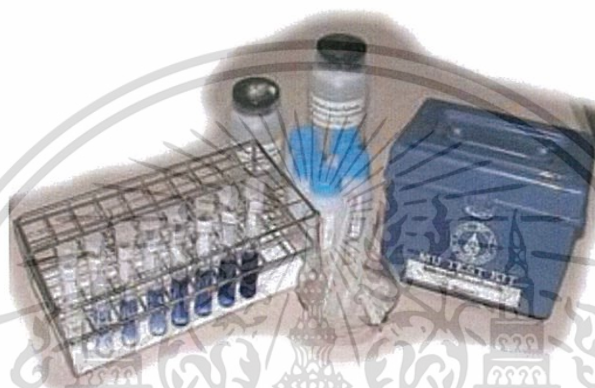
เอกสารนี้เป็นเอกสารกระทรวงสาธารณสุขใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.6 วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณไอโอดีน

### 2.1.6.1 วิธีไตเตรชัน (Titration)

เป็นการหาปริมาณของไอโอดีนในรูปของไอโอเดตที่อยู่ในเกลือโดยให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์ที่มากเกินพอ จนเกิดไอโอดีนจากนั้นไปไทเทรตด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) โดยมีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งน้ำแป้งจะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนเท่านั้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ความถูกต้องสูง แต่ต้องใช้ผู้ปฏิบัติการที่มีความชำนาญ รวมถึงต้องใช้สารเคมีในการทำปฏิกิริยาปริมาณมาก

### 2.1.6.2 ชุดทดสอบภาคสนาม I-Reader และ I-kit



รูปที่ 2.1 เครื่องมือ I-Reader [3]

การวัดปริมาณไอโอดีนในรูปของไอโอเดต ( $\text{IO}_3^-$ ) ที่เสริมอยู่ในเกลือแล้วอ่านค่าด้วยเครื่อง Reader มีวิธีการคือ การผสมน้ำยาสำเร็จรูป (I-reagent) กับเกลือ ถ้าเกลือมีไอโอดีนจะปรากฏสีน้ำเงิน หลักการเกิดสี คือ โมเลกุลของไอโอดีนจะสอดแทรกเข้าไปภายในเกลียวของสารละลายแป้ง เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีสีจากสีน้ำเงินไปจนเป็นสีม่วง จากปฏิกิริยาระหว่างไอโอเดตในเกลือกับน้ำยาวิเคราะห์ได้สารละลายที่มีสีน้ำเงินโดยความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไอโอเดตในช่วง 0-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไอโอดีน วัดได้โดยเครื่อง I-Reader หรือ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร



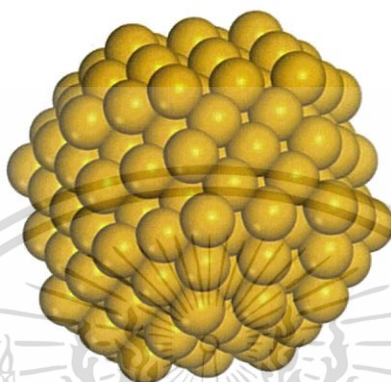
รูปที่ 2.2 ชุดทดสอบ I-kit [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์ทดสอบขนาดเล็ก สามารถให้ค่าไอโอดีนในเกลือบริโภาคได้อย่างแม่นยำรองจากเครื่อง I-Reader เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก และใช้ได้ง่าย

## 2.2 อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ (Gold nanoclusters)

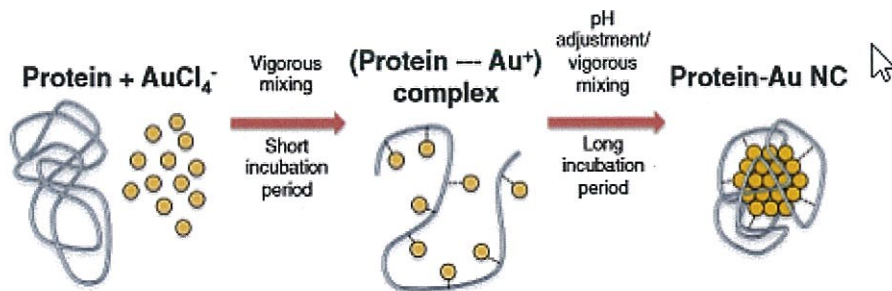
### 2.2.1 อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ (AuNCs)



รูปที่ 2.3 อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ [5]

อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทางด้านนาโนเทคโนโลยี ทั้งนี้เพราะมีขนาดเล็กน้อยกว่า 5 นาโนเมตร การแสดงคุณสมบัติทางเรืองแสงของฟลูออเรสเซนต์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะ และแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางโมเลกุลของอิเล็กตรอนระหว่างระดับพลังงานของ Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) และ Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) เนื่องจากการจับกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคทอง โดยทั่วไปสารละลายอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์จะมีสีเหลืองอมน้ำตาลและเมื่อนำไปส่องภายใต้แสงยูวีจะเกิดการเรืองแสงสีแดง โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเป็นไบโอเซนเซอร์ตรวจจับสารทางชีวภาพต่างๆ และถ่ายภาพถ่ายอนุหรือโมเลกุล (molecular imaging) ภายในเซลล์

โดยทั่วไปโปรตีนมีหน้าที่เป็นตัว Stabilize และตัวรีดิวซ์ ทำให้ทองที่อยู่ในรูปสารละลายกลายเป็นอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ความเสถียรของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโปรตีน, อุณหภูมิ และสภาวะเบสที่เหมาะสม มีโปรตีนหลายชนิดที่ใช้เป็น Stabilize เช่น โบวีนซีรัมอัลบูมิน ไลโซไซม์ เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้โบวีนซีรัมอัลบูมิน เพราะเป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้และมีความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ กลไกการเกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ โดยใช้โบวีนซีรัมอัลบูมินเป็นตัว Stabilize สามารถแสดงได้ดังรูป 2.4

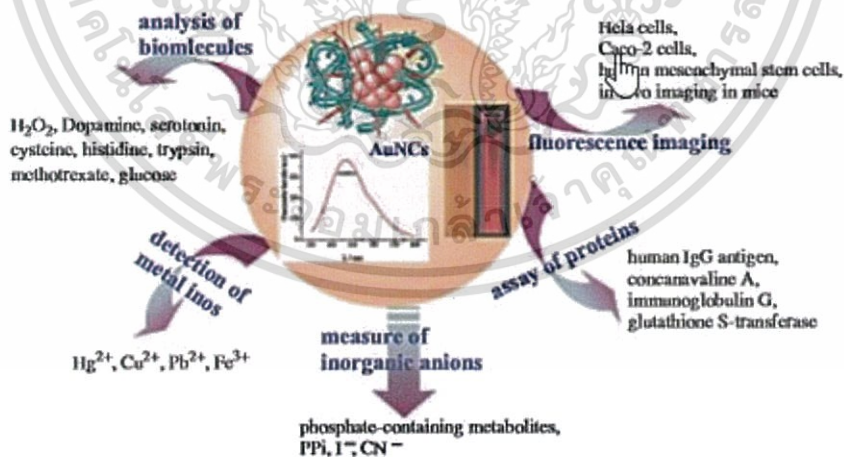


รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่มีโปรตีนเป็นตัว Stabilize [5]

การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่มีความละเอียดสูง เพราะจะต้องตรวจจับอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ (AuNCs) ที่มีเล็กกว่าอนุภาคนาโน (NPs)

### 2.2.2 การประยุกต์ใช้ [6]

อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์เป็นวัสดุนาโนสำหรับการตรวจวัดไบโโมเลกุล, การถ่ายภาพทางชีวภาพและการติดตามมลภาวะ เนื่องด้วยความเข้ากันทางชีวภาพ, ความเป็นพิษที่ต่ำและความคงทนต่อแสง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการประยุกต์ใช้อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ [6]

#### 1) การตรวจวัดหาปริมาณโลหะไอออน

โลหะหนักส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและร่างกายของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น พรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ )

เอดพบได้ในน้ำและระบบทางชีวภาพ ที่ได้รับความสนใจเนื่องจากปรอทมีความเป็นพิษสูงและเกิดการรบกวน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะสมอยู่ในทางชีวภาพ เมื่อใช้อุณหภูมิของนาโนคลัสเตอร์เป็นตัวเซนเซอร์ในการตรวจวัดหาปรอทซึ่งเป็นวิธีที่เร็ว มีความไวและความจำเพาะต่อปรอท กลไกของตัวเซนเซอร์ขึ้นกับปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์และปรอทโดยการเกิดพันธะระหว่างปรอทและหมู่ซัลเฟอร์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโพลีเมอร์อัลบูมิน ทำให้อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ถูกควENCH ตามสัดส่วนของปริมาณปรอท เป็นต้น โลหะหนักชนิดอื่นเช่น คอปเปอร์ ( $\text{Cu}^{2+}$ ), ตะกั่ว ( $\text{Pb}^{2+}$ ) และเหล็ก ( $\text{Fe}^{3+}$ ) สามารถใช้กับวิธีนี้ได้

## 2) การตรวจวัดหาปริมาณสารอนินทรีย์ประจุลบ

การตรวจวัดหาปริมาณไฟโรฟอสเฟตจากการจับทองแดงโดยใช้อุณหภูมิของนาโนคลัสเตอร์ กลไกปฏิกิริยาควENCH เริ่มต้น เมื่อคอปเปอร์ ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ใกล้เคียงกับกลุ่มของไกลซีนที่อยู่ในโพลีเมอร์อัลบูมินทำให้การเรืองแสงลดลง และการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์จะคืนกลับมากี่ต่อเมื่อมีการเติมไฟโรฟอสเฟตไอออน และสารอนินทรีย์ประจุลบตัวอื่น เช่น ไอโอไดด์และไซยาไนด์สามารถถูกตรวจวัดได้โดยใช้อุณหภูมิของนาโนเป็นตัวเซนเซอร์

## 3) การตรวจวัดหาปริมาณสารชีวโมเลกุล

สารชีวโมเลกุลในร่างกายมนุษย์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งของปฏิกิริยาเอมไซม์ออกซิเดส, โดพามีน, ทริปซิน, กลูโคส และกรดยูริก เป็นต้น ตัวอย่างเช่นการตรวจวัดหากรดยูริก โดยเอมไซม์ยูริเคสจะออกซิไดซ์กรดยูริกเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาควENCH กับอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ทำให้ค่าการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ลดลง

## 4) การตรวจวัดหาปริมาณโปรตีน

การทดสอบกระบวนการทางแสงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสำหรับวิเคราะห์โปรตีน โดยการวิเคราะห์แอนติเจน IgG ด้วยการทดสอบโดยใช้แอนติเจนขึ้นกับแอนติบอดีโพลีโคลนอล, coated-derived anti-human IgG แอนติบอดี โดยใช้อุณหภูมิของนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกห่อหุ้มด้วยโพลีอะมีโนเอมีน (PAMAM G2-OH) แอนติบอดีสามารถเกิดแรงไฟฟ้าสถิตกับอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ และค่าความเข้มการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ลดลงขึ้นกับการเติมแอนติเจน IgG พฤติกรรมการถูกควENCH สันนิษฐานว่ามาจากการเกาะกลุ่มของลูมิโนฟอร์จากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนแอนติเจน-แอนติบอดี

## 5) การถ่ายภาพทางชีวภาพ

ขนาดอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่มีขนาดเล็กสามารถเป็นอุปกรณ์ถ่ายภาพในร่างกายได้ ภาพถ่ายเรืองแสงได้ผิวหนังของหนูที่แสดงความเข้มของการเรืองแสงที่แตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ฉีดเข้า อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ฉีดเข้าไปสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อได้ลึก อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพภายในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 หลักการของเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี [7]

### 2.3.1 ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence)

เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลถูกกระตุ้นและมีการสั่นภายใน ทำให้โมเลกุลจากระดับชั้นพลังงานสถานะพื้น (Ground state) เคลื่อนที่ไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น (Excited state) โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้นจะไม่มีคามเสถียร จึงมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปของโฟตอน (Photon emission) และตกลงมาในระดับพลังงานที่ต่ำกว่า พลังงานที่โมเลกุลปลดปล่อยจากระดับชั้นพลังงาน ณ ค่าพลังงานที่กระตุ้นที่จำเพาะของสารแต่ละชนิด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ลูมิเนสเซนซ์”

ขั้นตอนของการเกิดปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์เป็นดังนี้



ประเภทของลูมิเนสเซนซ์มีหลายประเภทแต่ประเภทโฟโตลูมิเนสเซนซ์ นิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างกว้างขวาง โดยจะกล่าวถึงหลักการและรายละเอียดของลูมิเนสเซนซ์ประเภทนี้ ในหัวข้อต่อไป

### โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)

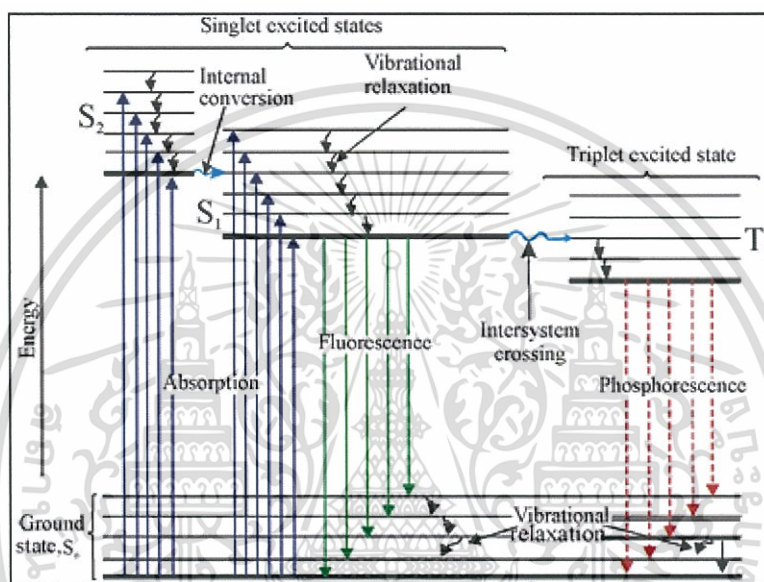
เป็น Emission process ที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้นโดยการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วกลับสู่สถานะพื้นโดยปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของโฟตอน ถ้า Emission process เกิดขึ้นเกือบทันทีที่ใช้เวลา  $10^{-5}$  วินาที หรือน้อยกว่า เรียกว่า การฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) และถ้า Emission process ใช้เวลาในการเกิดมาก เป็นนาที่หรือชั่วโมง เรียกว่า การเรืองแสง หรือ ฟอสฟอเรสเซนซ์ (phosphorescence)

กระบวนการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เกิดจากอิเล็กตรอนที่อยู่เป็นคู่ในสถานะพื้น (Ground state,  $S_0$ ) เมื่อได้รับพลังงานจากแสงความยาวคลื่นสั้น ทำให้อิเล็กตรอนเดี่ยวมีพลังงานสูงขึ้นและกระโดดไปอยู่ในออร์บิทัล (Orbital) ที่สูงขึ้นตามระดับของพลังงานที่ได้รับ ( $S_1, S_2, \dots$ ) เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับความยาวคลื่นที่ดูดกลืนเข้าไป (Resonance fluorescence) แต่เนื่องจากการกลับเข้าสู่สถานะพื้นของอิเล็กตรอนของอะตอมของสารเปล่งแสง มีการสูญเสียพลังงานไปส่วนหนึ่งเนื่องจากการชน (Collision), การสั่น (Vibration) ของอะตอม และการถ่ายเทพลังงานให้สารละลาย จึงทำให้แสงที่เปล่งออกมาขณะกลับเข้าสู่สถานะพื้นมีความยาวคลื่นแสงมากกว่าแสงที่ถูกดูดกลืน (Direct line fluorescence) แสงดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ ( $10^{-7} - 10^{-9}$  วินาที) หลังจากหยุดส่องแสงตกกระทบ เรียกการเปล่งแสงชนิดนี้ว่า

“การฟลูออเรสเซนซ์”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบางชนิดมีอิเล็กตรอนพลังงานสูง ( $S_1$ ) เปลี่ยนไปเป็นอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่มีระดับพลังงานใกล้เคียงกัน ( $T_1$ , Triplet state) หลังจากเกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วน อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้นพร้อมกับเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าออกมา แต่เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะจาก triplet state มาสู่สถานะพื้นใช้เวลามากกว่า  $10^{-9}$  วินาที จนถึงหลายวินาที ทำให้มองเห็นแสงที่เปล่งมาเป็นเวลานาน ถึงแม้จะหยุดส่องแสงตกกระทบแล้วก็ตาม เรียกกระบวนการนี้ว่า “การเรืองแสง” กระบวนการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์สามารถแสดงด้วย แผนภาพแสดงระดับพลังงาน (Jablonski's diagram) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง Jablonski's diagram [8]

### 2.3.2 เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

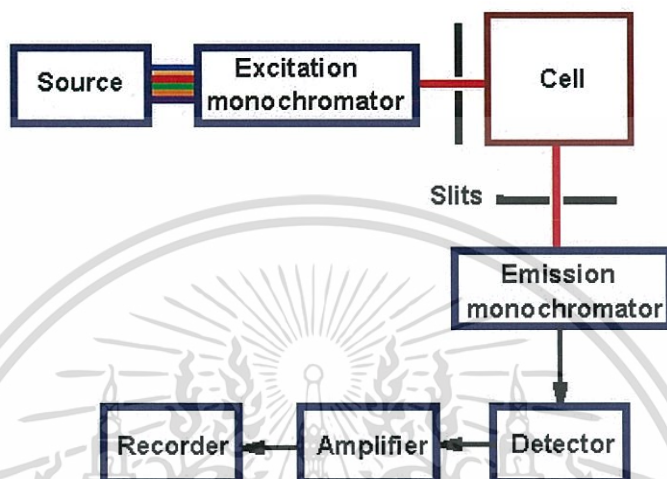
เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของสาร ได้แก่ วิเคราะห์หา Excitation และ Emission wavelength ของสาร โดยการอาศัยการดูดกลืนในช่วงรังสียูวีและวิสิเบิลที่ส่งผลให้โมเลกุลถูกกระตุ้นและมีการสั่นภายในโมเลกุลจากระดับชั้นพลังงานสถานะพื้น (Ground state) ไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น (Excited state) ทำให้เกิดสเปกตรัมในช่วง ฟลูออเรสเซนซ์ ณ ค่าพลังงานที่กระตุ้นที่จำเพาะของสารแต่ละชนิดในรูปสารละลาย เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามชนิดของตัวแยกแสง คือ

1) เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้ฟิลเตอร์ (Filter fluorometer) โดยจะใช้ฟิลเตอร์เป็นตัวแยกแสง เหมาะสำหรับการวัดปริมาณที่ต้องการความไวสำหรับการวัดสารประกอบที่เฉพาะเจาะจง ง่ายต่อการใช้งานและมีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้เกรตติง (Spectrofluorometer) จะใช้ตัวแยกแสง Monochromator แทนฟิลเตอร์สามารถเลือกการใช้งานได้ที่ความยาวคลื่นหลายค่า การทำงานจึงสามารถตรวจสอบองค์ประกอบได้ในหลายความยาวคลื่น

ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ เป็นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบหลักและการจัดเรียงอุปกรณ์ภายในเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ [9]

### องค์ประกอบภายในเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ มีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับที่พบในเครื่องวัดการดูดกลืนแสงดังนี้

#### 1) แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

ทำหน้าที่ปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ หลอดไฟซินอน หลอดไอปรอท เลเซอร์ และ LED

#### 2) ส่วนแยกความยาวคลื่น (Excitation and emission monochromator)

ส่วนแยกความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น (excitation monochromator) มีหน้าที่เลือกความยาวคลื่นที่เราต้องการใช้สำหรับการกระตุ้นโมเลกุลให้ขึ้นไปอยู่ในสภาวะเร้า และส่วนแยกความยาวคลื่นแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่โมเลกุลของสารคายแสงออกมา (emission monochromator) มีหน้าที่เลือกเฉพาะความยาวคลื่นแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เราต้องการจะวัด

#### 3) ภาชนะใส่สารละลาย (Cell หรือ cuvette)

เป็นคิวเวทท์ที่ทำจากควอทซ์และมีด้านใสทั้งสี่ด้าน เพื่อให้แสงกระตุ้นผ่านเข้ามาแล้ววัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ออกมาในแนวตั้งฉาก (90 องศา) คิวเวทท์ที่ใช้มีทั้งชนิดทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชนิดสีเหลือง คิวเวทซ์ชนิดสีเหลืองมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่า เนื่องจากลดการกระเจิงของแสงตกกระทบ (light scattering) ได้มากกว่าคิวเวทซ์ชนิดกระบอก

#### 4) ตัวตรวจวัดหรือดีเทคเตอร์ (Detector)

แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่โมเลกุลของสารคายออกมาจะอยู่ในช่วงยูวีหรือช่วงแสงที่เห็นได้อยู่แล้ว ตัวตรวจวัดจึงใช้แบบเดียวกับในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้เลย แต่แสงฟลูออเรสเซนซ์จะมีความเข้มต่ำมาก ดังนั้นจำเป็นต้องมีตัวขยายสัญญาณ (amplifier) จำนวนมาก

#### 5) ตัวบันทึกสัญญาณ (Recorder)

ทำหน้าที่แปรผลสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ให้ออกมาอยู่ในรูปตัวเลขหรือดิจิทัล

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์และการประยุกต์ใช้

Saravanan Govindaraju และคณะ [10] รายงานถึงความคงตัว ไม่เป็นพิษและการเรืองแสงสีแดงของโบรินซีรั่มอัลบูมิน-อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่จำเพาะกับการตรวจวัดโดพามีนในน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของการสังเคราะห์โบรินซีรั่มอัลบูมิน-อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์พบว่าอนุภาคมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 4-6 นาโนเมตร และมีการกระจายตัวที่ดี การตรวจวัดโดพามีนจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาควอนซิงอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ถ้าความเข้มข้นโดพามีนมากขึ้นจะทำให้ความเข้มของการเรืองแสงอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ลดลง ซึ่งให้ช่วงความเป็นเส้นตรง คือ 0-10 นาโนโมลาร์ และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 0.62 และ 0.83 นาโนโมลาร์ตามลำดับ

Krishnendu Chatterjee และคณะ [11] ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโรแพมพิซิน ที่ใช้ในการรักษาโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบและวัณโรค โดยเสนอวิธีที่ง่าย มีประสิทธิภาพและประหยัดสำหรับตรวจวัดหาปริมาณโรแพมพิซินที่เหลืออยู่ในตัวอย่างปัสสาวะโดยใช้โบรินซีรั่มอัลบูมิน-สตาปีไลซ์-อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ที่ถูกดูดซับและตรึงบนกระดาษ ซึ่งความเข้มข้นของโรแพมพิซินในปัสสาวะสามารถถูกตรวจวัดโดยปฏิกิริยาควอนซิงอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ความเข้มของสีทดสอบโดยการจับภาพด้วยกล้องดิจิทัลและทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจตต่อไป ซึ่งตรวจวัดในช่วง 0.5-823 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

Pingping Xu และคณะ [12] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดในการหาปริมาณกรดยูริก โดยอาศัยปฏิกิริยาการควอนซิงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ เริ่มต้นจากกรดยูริกจะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอมไซม์ยูริเคส เกิดเป็นอันลานโทอินและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำลายพันธะของ Au-S ของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ทำให้ค่าการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ลดลง การพัฒนาวิธีการตรวจวัดหาปริมาณยูริกพบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงของกรดยูริกคือ 0.7-80 ไมโครโมลาร์ ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดกรดยูริกคือ 120 นาโนโมลาร์ และสามารถหาปริมาณกรดยูริกในเลือดได้แล้วยังมีคาร์้อยละการคืนกลับเป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lei Yan และคณะ [13] ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ด้วยวิธีไมโครเวฟ โดยทำการผสมเตตระคลอโรอริก โบวินซีรุ่มอัลบูมิน และโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์สูงเกินไป เพราะถ้าความร้อนสูงเกินไปจะทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและไม่แสดงคุณสมบัติการเรืองแสง และสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเมื่อนำไปส่องภายใต้แสงยูวีเกิดการเรืองแสงสีแดง ให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ 510 และ 645 นาโนเมตรตามลำดับ วิธีการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) โดยอาศัยหลักการของปฏิกิริยาควอนซิงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ด้วยไนโตรเจนออกไซด์

T. Zhao และคณะ [14] ได้สังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่มีโบวินซีรุ่มอัลบูมินเป็นตัว Stabilize และใช้สำหรับการตรวจหาไนตริกออกไซด์ ทำการเตรียม BSA-AuNCs โดยนำ 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก 12.5 มิลลิลิตร เติมน้ำ 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรโบวินซีรุ่มอัลบูมิน 12.5 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงเติม 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 มิลลิลิตร โดยมีพีเอชประมาณ 12 พร้อมกับปั่นกวนที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สารละลายที่สังเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาล อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.5 นาโนเมตร และเกิดการเรืองแสงสีแดงเข้มออกมาพร้อมกับให้ค่าการเรืองแสงสูงสุดที่ 640 นาโนเมตร ความเข้มของการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ลดลงเมื่อไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น และขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.017

#### 2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการหาปริมาณไอโอเดต

Ruiping L และคณะ [15] อธิบายถึงการตรวจวัดที่มีความจำเพาะเจาะจงและความไวในการตรวจวัดไอโอเดตโดยใช้อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ทำในสภาวะที่มีไอโอเดตมากเกินไป ไอโอเดตจะถูกออกซิไดซ์ด้วยไอโอเดตเกิดเป็นไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะไปรวมกับไอโอเดตที่เหลืออยู่เกิดเป็นไตรไอโอเดตเข้าไปทำปฏิกิริยาและกีดร่อนอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ส่งผลให้ค่าการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ลดลง ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของไอโอเดตกับค่าการเรืองแสงอยู่ในช่วง 10 นาโนโมลาร์ – 1 ไมโครโมลาร์ การพัฒนาการตรวจวัดไอโอเดตนี้ พบว่ามีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 2.8 นาโนโมลาร์ และสามารถประยุกต์ใช้กับตัวอย่างได้และให้ค่าร้อยละการคืนกลับที่นำพึงพอใจ

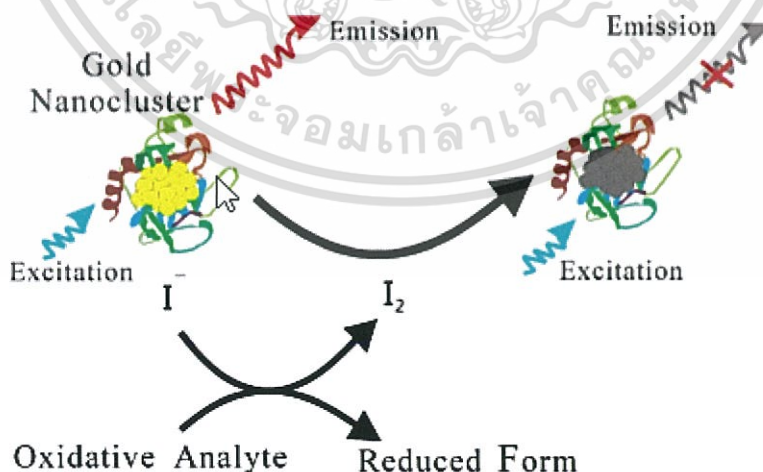
Ruiping Li และคณะ [16] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดหาปริมาณสารออกซิเดทีฟ โดยสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์โดยมีโบวินซีรุ่มอัลบูมินเป็นตัว Stabilize เพื่อนำมาเป็นตัวเซนเซอร์ในการตรวจวัด โดยไอโอเดตจะถูกออกซิไดซ์ด้วยสารออกซิเดทีฟ เกิดเป็นไอโอดีน โดยไอโอดีนที่ทำหน้าที่เป็นตัว Oxidizing agent จะออกซิไดซ์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์กลายเป็นสารละลายทองที่มีประจุซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ทำให้ค่าความเข้มของการเรืองแสงของอนุภาคทองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนคลัสเตอร์ลดลง เมื่อนำมาตรวจวัดหาปริมาณสารออกซิเดทีฟ เช่น ไนโตรท์, โบรเมต และ เปอร์ไอโอเดต ได้ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดคือ 11.7, 1.7 และ 1.5 ไมโครโมลาร์ วิธีการตรวจวัดที่พัฒนามีข้อดีคือใช้ปริมาณสารน้อยและสะดวกกว่าวิธีมาตรฐาน

Xue-Ling Cao และคณะ [17] กล่าวถึงการประยุกต์ใช้อุณหภูมิของนาโนคลัสเตอร์เป็นตัวตรวจวัดที่มีความไวและมีความจำเพาะเจาะจงสำหรับตรวจหาไอโอดีน โดยมีการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ พบว่าอนุภาคนาโนคลัสเตอร์มีค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 610 นาโนเมตร เมื่อมีการทดลองเติม KI-I<sub>2</sub> เพื่อดูการเรืองแสงของอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ พบว่าเมื่อ KI-I<sub>2</sub> มีความเข้มข้นมากขึ้นหรือปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มของการเรืองแสงของอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ลดลง ความเข้มข้นของไอโอดีนต้องอยู่ในช่วง 1.8 นาโนโมลาร์ ถึง 30 ไมโครโมลาร์ โดยเป็นเทคนิคที่เชื่อถือได้ รวดเร็ว และคุ้มค่าสำหรับการตรวจหาไอโอดีนในตัวอย่าง

## 2.5 หลักการตรวจวัดในโครงการพิเศษนี้

การหาปริมาณไอโอเดต (IO<sub>3</sub><sup>-</sup>) บนกระดาษด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ มีวิธีการ คือ การผสมไอโอเดตกับไอโอดีนที่มากเกินพอและกรดซัลฟิวริก ทำให้ไอโอดีน (I<sup>-</sup>) ถูกออกซิไดซ์ด้วย ไอโอเดตในสภาวะกรด เกิดเป็นไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ปริมาณไอโอดีนที่มากเกินพอจะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนที่เกิดขึ้นเกิดเป็นไตรไอโอดีน (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) จากนั้นไตรไอโอดีน/ไอโอดีนเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารละลายอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ ทำให้เกิดการควENCHING ของอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ตามสัดส่วนของปริมาณไอโอเดต วัดได้ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร



รูปที่ 2.8 กลไกของการเกิดปฏิกิริยาควENCHING ของอนุภาคนาโนคลัสเตอร์ด้วยสาร Oxidative [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

##### 3.1.1 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
โบวีนซีรัมอัลบูมิน (Bovine serum albumin)	-	Across, USA
กรดเตตระคลอโรอริก (Tetrachloroauric (III) acid)	$\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Sigma-Aldrich, USA
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	$\text{NaOH}$	Carlo Erba Analytical Reagent, Spain
โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium iodate)	$\text{KIO}_3$	Ajax Finechem
โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide)	$\text{KI}$	Sigma-Aldrich, Switzerland
สารละลายกรดซัลฟิวริก (>95%) (Sulfuric acid)	$\text{H}_2\text{SO}_4$	Fisher Chemical, UK
กรดซิตริก (Citric acid)	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	Ajax Finechem
ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส (Di-Sodium Hydrogen Phosphate Anhydrous)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	Carlo Erba Analytical Reagent, Spain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

1) ขวดวัดปริมาตร	ขนาด	10	มิลลิลิตร
	ขนาด	25	มิลลิลิตร
	ขนาด	100	มิลลิลิตร
2) ไมโครปิเปต	ขนาด	100	ไมโครลิตร
	ขนาด	1000	ไมโครลิตร
	ขนาด	5	มิลลิลิตร
3) ไมโครปิเปตทิป	ขนาด	5	มิลลิลิตร
	ขนาด	1000	ไมโครลิตร
	ขนาด	100	ไมโครลิตร
4) ปีกเกอร์	ขนาด	25	มิลลิลิตร
5) หลอดทดลองพร้อมจุกยาง			
6) แท่งแก้วคนสาร			
7) ช้อนตักสาร			
8) หลอดหยด			
9) ขวดสีขาพร้อมฝาปิด	ขนาด	15	มิลลิลิตร
10) กระจกกรองเบอร์ 2 - Advantec			
11) ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ (Universal Indicator)			
12) เครื่องปั่นเหวี่ยง - Vortex-Genie2, USA			
13) เครื่องชั่งสาร - Ohaus Model: PA214, USA			
14) เครื่อง Spectrofluorometer – Jasco FP6300			
15) เครื่อง Spectrofluorometer – Jasco V630			
16) ไมโครเวฟ Samsung - รุ่น ME81KS-1 ความจุ 23 ลิตร กำลังไฟ 800 วัตต์ หมายเลข เครื่อง OBD27WBK200155K			
17) เครื่อง Transmission Electron Microscopy – TECNAI G <sup>2</sup>			
18) ปากกาหมึกกันน้ำสีดำ (Multimark Permanent) – Faber Castell			

### 3.2 การเตรียมสารละลาย

สารละลายทุกตัวเตรียมจากน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่ได้จากเครื่อง ZENEER UP 900 ยี่ห้อ Human corporation และสารเคมีทุกตัวเป็นชนิดเกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การเตรียมสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก (10 mM HAuCl<sub>4</sub>)

ซึ่งเตตระคลอโรอริก 0.0849 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

### 3.2.2 การเตรียมสารละลายโบวีนซีรัมอัลบูมิน (Bovine Serum Albumin)

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารละลายโบวีนซีรัมอัลบูมิน ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น BSA (mg/mL)	น้ำหนักที่ชั่ง (g)	ปริมาตรน้ำกลั่นปราศจากไอออน (mL)
30	0.0600	2
50	0.1000	
65	0.1300	
80	0.1600	
90	0.1800	

### 3.2.3 การเตรียมสารละลาย 2 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (2 M NaOH)

ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 0.8 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นดังตารางด้านล่าง

ตาราง 3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ปริมาตรของ 2 M NaOH (μL)	ความเข้มข้นของ NaOH ที่เตรียม (M)	ปริมาตรสุดท้าย (mL)	สารละลายที่ใช้ปรับปริมาตร
250	0.50	10	น้ำกลั่นปราศจากไอออน
500	1.00	10	
750	1.50	10	

### 3.2.4 การเตรียมสารละลาย 0.1 โมลาร์ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (0.1 M KI)

ซึ่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) มา 0.1660 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 การเตรียมสารละลาย 1 โมลาร์ กรดซัลฟิวริก (1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

ดวงสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนได้ 10 มิลลิลิตร

### 3.2.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไอโอเดต

ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต 0.0535 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO<sub>3</sub>) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตที่ความเข้มข้นต่างๆ

ปริมาตรของ 10 mM KIO <sub>3</sub> (μL)	ความเข้มข้นของ KIO <sub>3</sub> ที่เตรียม (mM)	ปริมาตรสุดท้าย (mL)	สารละลายที่ใช้ปรับ ปริมาตร
10	0.01	10	น้ำกลั่นปราศจาก ไอออน
20	0.02	10	
50	0.05	10	
100	0.10	10	
200	0.20	10	
500	0.50	10	
800	0.80	10	
1000	1.00	10	
3000	3.00	10	
5000	5.00	10	

### 3.2.7 การเตรียมสารละลาย 200 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซิเตรต-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 (200 mM Sodium citrate-phosphate buffer pH7)

สารละลาย A: เตรียมสารละลาย 0.10 โมลาร์ กรดซิตริก (citric acid) โดยชั่งกรดซิตริก 0.96 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

สารละลาย B: เตรียมสารละลาย 0.20 โมลาร์ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮไดรส์ (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) โดยชั่งไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮไดรส์ 1.4196 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมสารละลายทั้งสองโดยปิเปตสารละลาย A 6.50 มิลลิลิตร และสารละลาย B 43.60 มิลลิลิตร ได้สารละลายผสมจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

### 3.2.8 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดบนกระดาษ

ใช้ปากกาหมึกกัมน้ำสีดำวาดเส้นวงกลมบนกระดาษกรองเบอร์ 2 เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร และวาดวงกลมด้านในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร พร้อมทั้งระบายสีดำด้วยปากกาหมึกกัมน้ำบริเวณขอบระหว่างวงกลมทั้งสอง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญหนึ่งบาท ดังรูป 3.1



รูป 3.1 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดบนกระดาษ

### 3.2.9 การเตรียมตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ซึ่งเกลือเสริมไอโอดีนมา 7.5000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

## 3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์

3.3.1.1 ศึกษาโปรแกรมการให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์

1) การสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ด้วย Microwave ให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง

ปิเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา ปิเปตสารละลาย 65 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรัมอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตรใส่ขวดสีชา เท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายผสม เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พร้อม

กำหนดกำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) เป็นเวลา 6 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

## 2) การสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ด้วย Microwave ให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

ปีเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา ปีเปตสารละลาย 65 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรัมอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา เท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายผสม เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพร้อมกำหนดกำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) เป็นเวลา 3 นาที และหยุดเป็นเวลา 3 นาที แล้วให้กำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) ต่ออีกเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

### 3.3.1.2 ศึกษา กำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์

ปีเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา ปีเปตสารละลาย 65 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรัมอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา เท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายผสม เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพร้อมกำหนดกำลังไฟฟ้า (90 วัตต์) เป็นเวลา 3 นาที และหยุดเป็นเวลา 3 นาที แล้วให้กำลังไฟฟ้า (90 วัตต์) ต่ออีกเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนเป็น 100, Defrost (180), 300 และ 450 วัตต์ ให้ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

### 3.3.1.3 ศึกษา เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์

ปีเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพร้อมกำหนดกำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) เป็นเวลา 1 นาที หยุดให้ความร้อนเป็นเวลา 1 นาที ช่วงที่หยุดให้ความร้อน ปีเปตสารละลาย 65 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรัมอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา และเท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ตามลงไป ในสารละลายผสม เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนต่อด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ สำหรับเวลาในการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่ 2, 3, และ 4 นาที ให้ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

### 3.3.1.4 ศึกษาความเข้มข้นของ โบวินซีรัมอัลบูมิน (BSA) ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์

ปิเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรออร์ิก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพร้อมกำหนดกำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) เป็นเวลา 3 นาที หยุดให้ความร้อนเป็นเวลา 3 นาที ช่วงที่หยุดให้ความร้อน ปิเปตสารละลาย 30 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรัมอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา และเท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ตามลงไป ในสารละลายผสมเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนต่อด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ สำหรับความเข้มข้นความเข้มข้นของโบวินซีรัมอัลบูมิน 50, 65, 80 และ 90 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ให้ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

### 3.3.1.5 ศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์

ปิเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรออร์ิก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพร้อมกำหนดกำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) เป็นเวลา 3 นาที หยุดให้ความร้อนเป็นเวลา 3 นาที ช่วงที่หยุดให้ความร้อน ปิเปตสารละลาย 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรัมอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา และเท 0.5 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ตามลงไป ในสารละลายผสมเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนต่อด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ สำหรับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1, 1.5, และ 2 โมลาร์ ให้ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

## 3.3.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์จากวิธีดั้งเดิมและแบบไมโครเวฟ

### 3.3.2.1 เปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสง

#### 1) สังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ด้วยวิธีดั้งเดิม

ปิเปตสารละลาย 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ฮิวเมนซีรัมอัลบูมิน 10 มิลลิลิตร ใส่ปิ๊กเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรออร์ิก 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร และ เท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงในปิ๊กเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร 10 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งหมดไปให้อุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว ค่อยๆ หยุด 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ฮิวเมนซีรัมอัลบูมิน ลงในสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรออร์ิก จนครบ 10 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนตลอดเวลาในที่มืด ปั่นกวนทิ้งไว้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลา 2 นาที พร้อมควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นเท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงไป และวัดพีเอชสารละลายด้วยพีเอชมิเตอร์และปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับ 12 จากนั้นปั่นจนทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในที่มืดตลอดการทดลอง เมื่อครบ 12 ชั่วโมง วัดพีเอชสารละลายอีกครั้งด้วยพีเอชมิเตอร์แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

## 2) สังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ด้วยไมโครเวฟ

ปีเปตสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ เตตระคลอโรอริก 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพร้อมกำหนดกำลังไฟฟ้า (100 วัตต์) เป็นเวลา 3 นาที หยุดให้ความร้อนเป็นเวลา 3 นาที ช่วงที่หยุดให้ความร้อน ปีเปตสารละลาย 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โบวินซีรั่มอัลบูมิน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา และเท 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 มิลลิลิตร ตามลงไปในสารละลายผสมเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ นำไปให้ความร้อนต่อด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

### 3.3.2.2 เปรียบเทียบด้านสัณฐานวิทยา

เตรียมตัวอย่างโดยการหยดตัวอย่างลงบนกริดประมาณ 10 ไมโครลิตร และรอให้สารละลายแห้งก่อนตรวจวัดกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope)

### 3.3.2.3 เปรียบเทียบความเสถียรของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์

เตรียมตัวอย่างโดยเทตัวอย่างสารละลายอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดั้งเดิมลงในควอตซ์คิวเวทสำหรับฟลูออเรสเซนซ์ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ เป็นเวลา 10 วัน ทำตามขั้นตอนข้างต้นโดยเปลี่ยนเป็นสารละลายอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ

## 3.3.3 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณไอโอดีน

### 3.3.3.1 ศึกษาปฏิกิริยาการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน

ปีเปต 0.01 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไอโอดีน 10 ไมโครลิตร และ 0.1 โมลาร์ โพแทสเซียมไอโอดีน 10 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง จับเวลา 1 นาที แล้วจึงเติม 1 โมลาร์ กรดซัลฟิวริก 10 ไมโครลิตร นำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร 1 นาที ในกล่องมืด และเก็บสารละลายไว้ในตู้มืด 8 นาที จากนั้นเติมอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ 10 ไมโครลิตร จับเวลา 1 นาที แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 1 มิลลิลิตร ด้วย 200 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซิเตรต-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 นำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร 1 นาที ในกล่องมืด และเก็บสารละลายไว้ในตู้มืด 18 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเอกซเรย์เป็นเอกซเรย์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยกำหนดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร สำหรับความเข้มข้นเป็น 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 0.80, และ 1.00 มิลลิโมลาร์ ให้ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

### 3.3.3.2 ศึกษาปฏิกิริยาการตรวจวัดปริมาณไอโอเดตบนกระดาษ โดยอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด

Auto Zero เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ด้วยอากาศก่อนทำการวัด นำกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่เตรียมไว้วางลงบน Solid sample holder จากนั้นปิเปต 0.01 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไอโอเดต ปริมาตร 10 ไมโครลิตร และ 0.1 โมลาร์ โพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองจากนั้นตั้งทิ้งไว้ จับเวลา 1 นาที แล้วจึงหยด 1 โมลาร์ กรดซัลฟิวริก 10 ไมโครลิตร และนำสารละลายเก็บในตู้มืด 9 นาที จากนั้นเติมอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ 10 ไมโครลิตร จับเวลา 1 นาที แล้ว จึงหยด 200 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซิเตรต-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 70 มิลลิลิตร และเก็บสารละลายไว้ในตู้มืด 19 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยกำหนดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร สำหรับความเข้มข้นเป็น 0, 0.05, 0.20, 0.50, 0.80, 3.00, และ 5.00 มิลลิโมลาร์ ให้ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

### 3.3.4 ศึกษาคุณลักษณะของการตรวจวัดปริมาณไอโอเดต โดยการใช้อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์เป็นตัวเซนเซอร์

#### 3.3.4.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐาน โดย Auto Zero เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ด้วยอากาศก่อนทำการวัด นำกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่ตัดเป็นวงกลมไว้วางลงบน Solid sample holder จากนั้นปิเปต 0.01 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไอโอเดต ปริมาตร 10 ไมโครลิตร และ 0.1 โมลาร์ โพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองจากนั้นตั้งทิ้งไว้ จับเวลา 1 นาที แล้ว จึงหยด 1 โมลาร์ กรดซัลฟิวริก 10 ไมโครลิตร และนำสารละลายเก็บในตู้มืด 9 นาที จากนั้นเติมอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ 10 ไมโครลิตร จับเวลา 1 นาที แล้วจึงปิเปต 200 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซิเตรต-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 70 มิลลิลิตร และเก็บสารละลายไว้ในตู้มืด 19 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยกำหนดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร ทำซ้ำจนครบทุกความเข้มข้น ( 0.05, 0.20, 0.50, 0.80, 3.00, และ 5.00 มิลลิโมลาร์ และนำมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง linear relationship  $((F_0-F)/F_0)$  กับความเข้มข้นมาตรฐาน โพแทสเซียมไอโอเดต จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

### 3.3.4.2 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ)

ดำเนินการสร้างกราฟมาตรฐานแล้วคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ  $S_{y/x}$  ได้จากสูตรในสมการ (3.1) และคำนวณค่า LOD และ LOQ ได้จากสมการ (3.2)

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{n-2}} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

เมื่อ  $S_{y/x}$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟ  
 $y_i$  คือ ค่าสัญญาณที่อ่านได้จริงจากเครื่องมือ  
 $\hat{y}$  คือ ค่าสัญญาณที่ควรจะเป็น (ได้จากการแทนค่า  $x$  ลงในสมการถดถอยเชิงเส้น)

$$\text{LOD} = y_B + 3S_{y/x} \quad \text{และ} \quad \text{LOQ} = y_B + 10S_{y/x} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

เมื่อ  $y_B$  คือ จุดตัดแกน  $y$  บนกราฟมาตรฐาน

### 3.3.4.3 การหาความเที่ยง

ทำการวิเคราะห์ค่าการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์เมื่อคววนซิงสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.2 และ 5 มิลลิโมลาร์ ซ้ำๆ เป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยตรวจวัดบนกระดาษ จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, % RSD) ตามสมการดังนี้ (3.3)

$$\% \text{ RSD} = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

เมื่อ  $SD$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย

### 3.3.5 ศึกษาความเป็นไปได้โดยการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณไอโอเดตบนตัวอย่าง

นำกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่เตรียมไว้วางลงบน Solid sample holder จากนั้นเปิดสารตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 10 ไมโครลิตร และ 0.1 โมลาร์ โพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรอง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ จับเวลา 1 เอกสนาที แล้วจึงหยด 1 ไมลาร์ กรดซัลฟิวริก 10 ไมโครลิตร และนำสารละลายเก็บในตู้มืด 9 นาที รวค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเติมอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ 10 ไมโครลิตร จับเวลา 1 นาที แล้วจึงเปิด 200 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซัลเฟต-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ พีเอช 7 70 มิลลิลิตร และเก็บสารละลายไว้ในตู้มืด 19 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยกำหนดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าความเข้มของการเรืองแสงไปหาความเข้มข้นและปริมาณไอเดตในตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

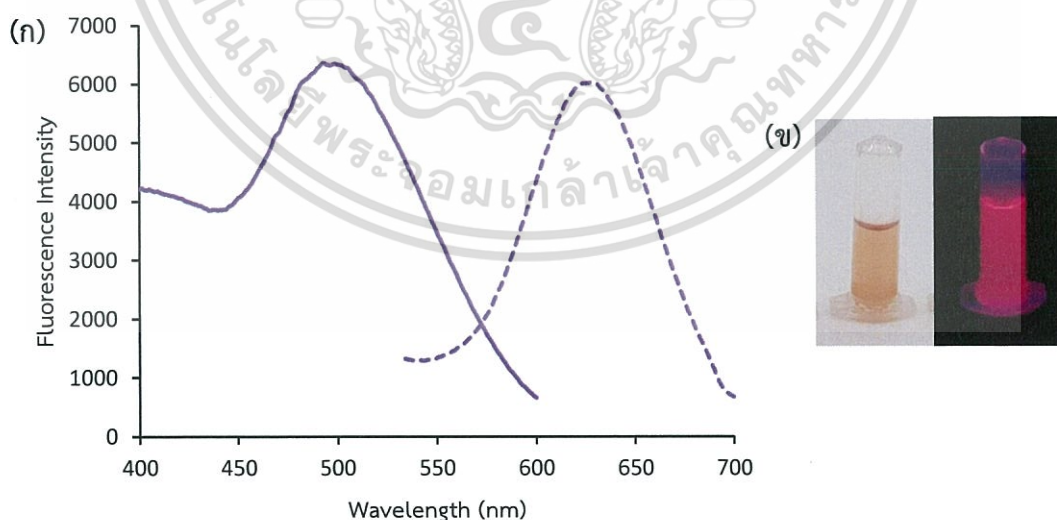
ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ และได้ทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์จากวิธีดั้งเดิมและจากวิธีแบบไมโครเวฟ รวมทั้งได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ออนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์จากวิธีแบบไมโครเวฟในการหาปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดบนกระดาษ

#### 4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์

ในส่วนนี้จะศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อสเปกตรัมการเรืองแสงและผลิตภัณฑ์ควอนตัมของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ เพื่อให้ได้อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่เสถียรและเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณไอโอดีน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามีดังนี้

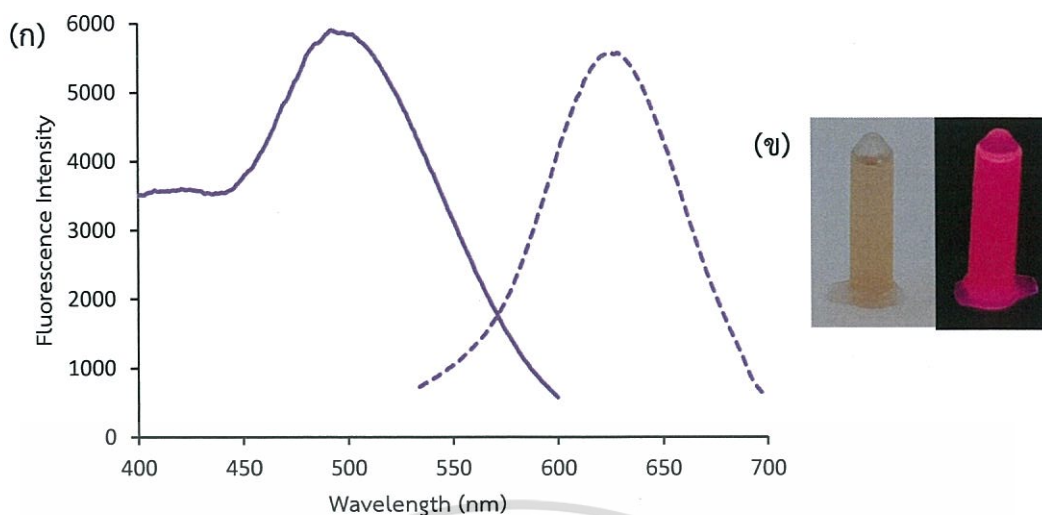
##### 4.1.1 ผลของโปรแกรมการให้ความร้อน

ได้ทำการศึกษาโปรแกรมการให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง โดยได้ศึกษา 2 แบบ คือ โปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องและโปรแกรมการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่โปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องโดยกำหนดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ (Sensitivity mode: high) และ (ข) แสดงสีของสารละลายหลังสังเคราะห์ที่มองด้วยตาเปล่าและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารภายใต้แสงยูวีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่โปรแกรมการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องโดยกำหนดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ (Sensitivity mode: high) และ (ข) แสดงสีของสารละลายหลังสังเคราะห์ที่มองด้วยตาเปล่าและภายใต้แสงยูวี

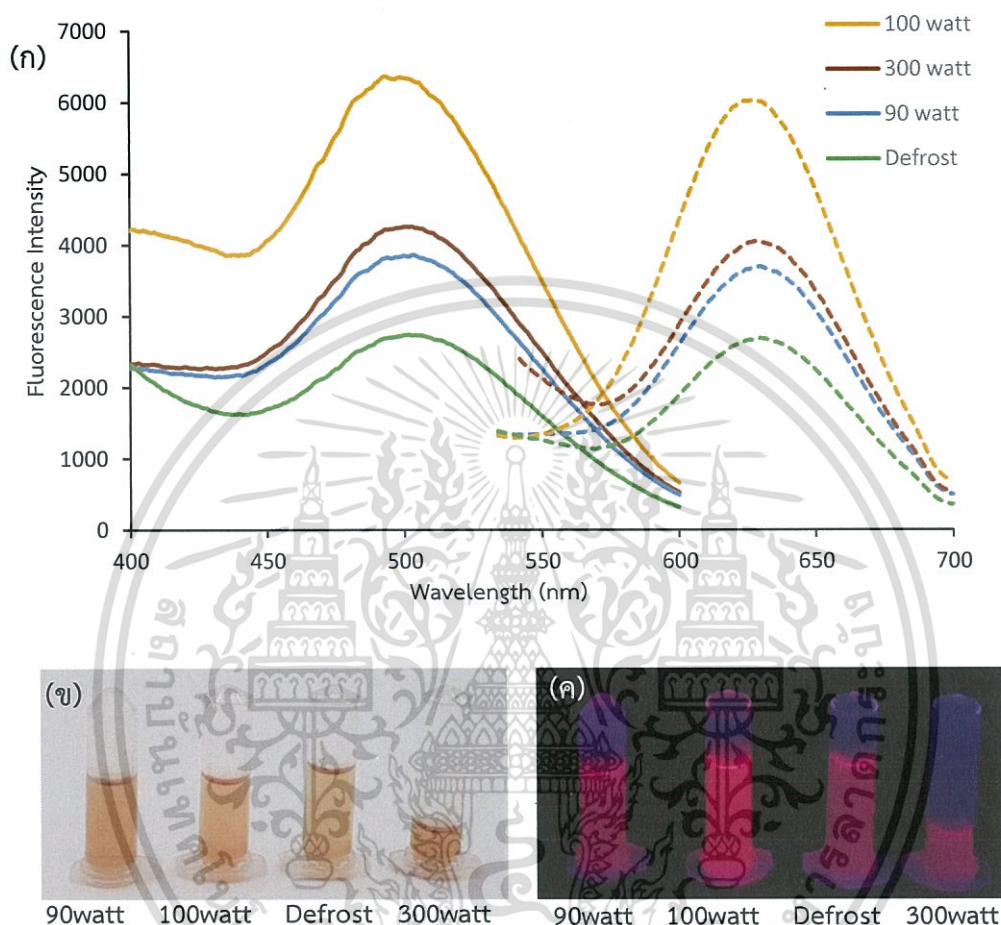
จากรูป 4.1 พบว่าโปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยกำหนดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เมื่อนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเป็น 494 และ 628 นาโนเมตรตามลำดับ

จากรูป 4.2 พบว่าโปรแกรมการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง โดยกำหนดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เมื่อนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเป็น 498 และ 626 นาโนเมตรตามลำดับ

จากการศึกษาการใช้โปรแกรมการให้ความร้อนที่แตกต่างกันคือ 1. ไม่ต่อเนื่อง และ 2. ต่อเนื่อง โดยกำหนดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เมื่อนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดใกล้เคียงกับสมบัติของความเป็นอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ โดยเปรียบเทียบจากงานวิจัยของ Lei Yan และคณะ [13] ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง มีค่า Fluorescence Intensity สูงกว่าแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ถ้าให้ความร้อนต่อเนื่องนานขึ้น จะทำให้อนุภาคใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นอนุภาคทองนาโนที่ไม่มีสมบัติการเรืองแสง จึงเลือกใช้โปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง มาทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรอื่นต่อไป

#### 4.1.2 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อน

ได้ทำการศึกษากำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่เหมาะสม โดยกำหนดกำลังไฟฟ้าเป็น 90, 100, Defrost (180), 300 และ 450 วัตต์ พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



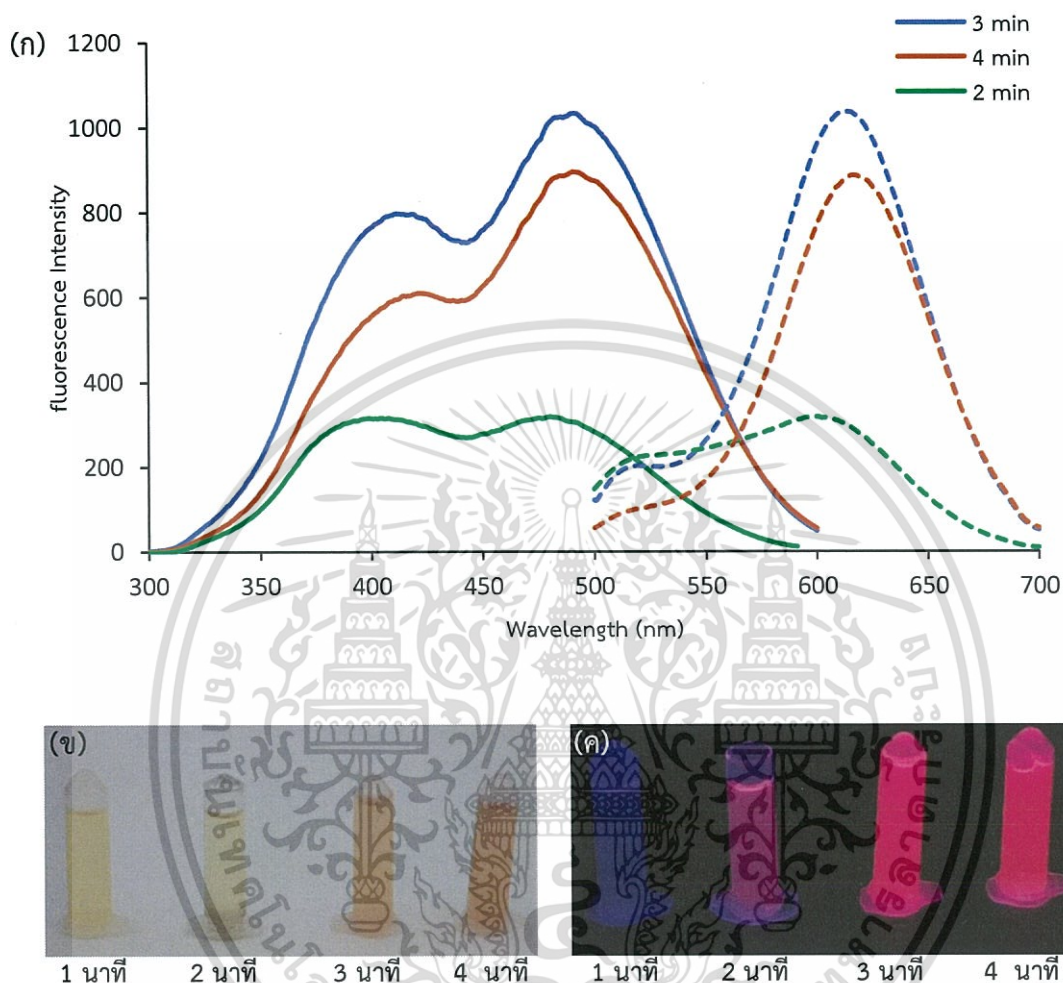
รูปที่ 4.3 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (Sensitivity mode: medium) (ข) แสดงสีของสารละลายหลังสังเคราะห์ที่มองด้วยตาเปล่า และ (ค) สีของสารละลายหลังสังเคราะห์ภายใต้แสงยูวี

จากการทดลองการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ พบว่าที่ 450 วัตต์ สารละลายที่สังเคราะห์ได้ระเหยแห้งจนหมดไม่สามารถนำมาตรวจวัดได้ จากรูปที่ 4.3 (ข) เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ที่สังเคราะห์ได้ เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างๆ ไปส่องภายใต้แสงยูวี จะสังเกตได้ว่าที่ 100 วัตต์ เกิดการเรืองแสงสีแดงที่มากที่สุด และมีค่าการเรืองแสงมากที่สุด ส่วนที่ 90 วัตต์, Defrost และ 300 วัตต์ เกิดการเรืองแสงสีแดงน้อยกว่า และ ที่ 300 วัตต์ หลังจากสังเคราะห์แล้วเหลือสารละลายน้อยมากจึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน จึงเลือกกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เป็นกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ยังคงคุณสมบัติความเป็นอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลของเวลาที่ให้ความร้อน

ได้ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่เหมาะสมโดยกำหนดเวลาเป็น 1, 2, 3 และ 4 นาที พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



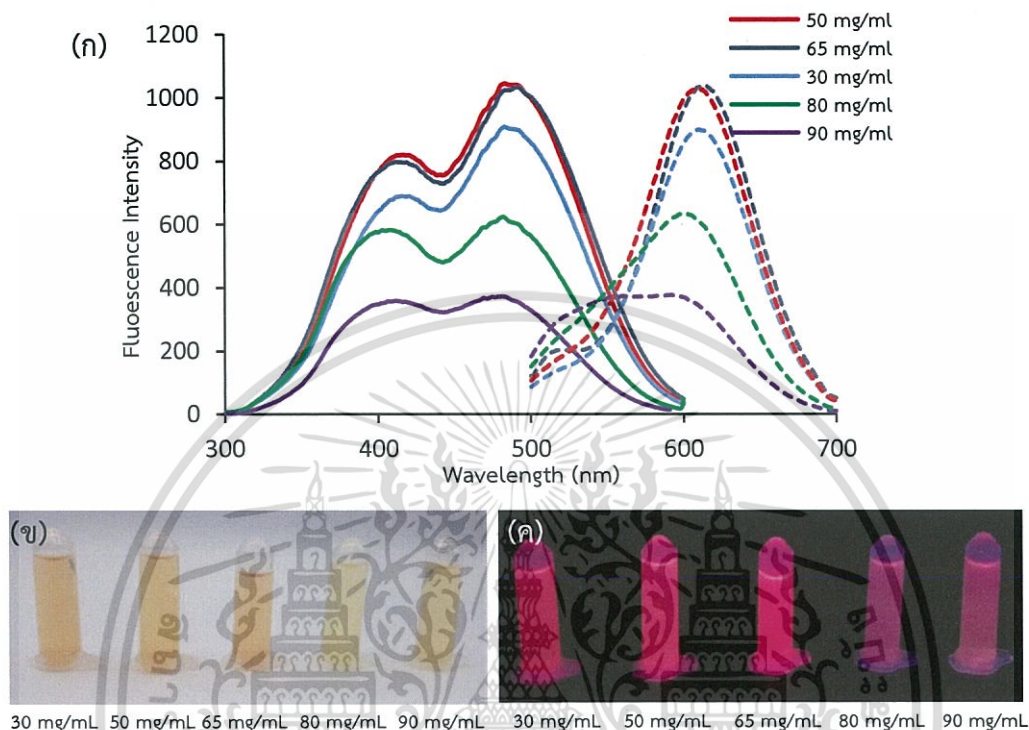
รูปที่ 4.4 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่เวลาแตกต่างกัน (Sensitivity mode: medium) (ข) แสดงสีของสารละลายหลังสังเคราะห์ที่มองด้วยตาเปล่า และ (ค) สีของสารละลายหลังสังเคราะห์ภายใต้แสงยูวี

จากการศึกษาผลของเวลาที่ให้ความร้อน พบว่าที่เวลา 3 นาที ให้ค่า Fluorescence intensity มากที่สุด โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเป็น 492 และ 613 นาโนเมตร ตามลำดับ ส่วนที่ 1 นาที สารละลายไม่เกิดการเรืองแสงสีแดง และที่ 4 นาทีเกิดการเรืองแสงที่น้อยกว่า 3 นาที เนื่องจาก ถ้าให้ความร้อนนานเกินไปจะทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันมีขนาดใหญ่มากขึ้น จึงแสดงคุณสมบัติการเรืองแสงสีแดงลดลง จึงเลือกใช้เวลาที่ 3 นาที มาทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ผลของความเข้มข้นของโบวีนซีรัมอัลบูมิน (BSA)

ทำการศึกษาความเข้มข้นของ BSA ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ โดยกำหนดความเข้มข้นเป็น 30, 50, 65, 80 และ 90 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5

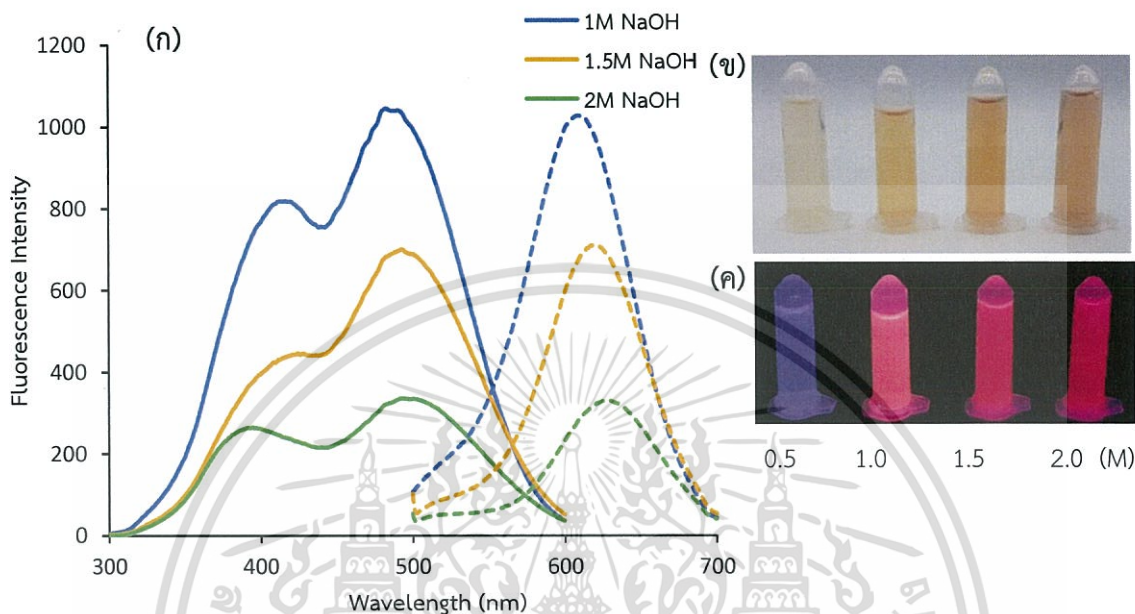


รูปที่ 4.5 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ที่ความเข้มข้นโบวีนซีรัมอัลบูมินแตกต่างกัน (Sensitivity mode: medium) (ข) แสดงสีของสารละลายหลังสังเคราะห์ที่มองด้วยตาเปล่า และ (ค) สีของสารละลายหลังสังเคราะห์ภายใต้แสงยูวี

จากการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของ BSA ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ พบว่าที่ BSA ความเข้มข้น 50 และ 65 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ให้ค่า Fluorescence intensity มากที่สุดและใกล้เคียงกัน จึงเลือกความเข้มข้นของ BSA ที่ 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ และนำศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอื่นต่อไป เพราะใช้ปริมาณที่น้อยกว่า สาเหตุที่ความเข้มข้นของ BSA น้อย แล้วให้ค่าการเรืองแสงต่ำ อาจเป็นเพราะ BSA นอกจากทำหน้าที่เป็น stabilizer แล้ว ยังทำหน้าที่เป็น reducing agent เปลี่ยน Au (III) ให้เป็นอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์อีกด้วย หากใช้ความเข้มข้น BSA น้อยไป อาจทำให้เกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์น้อย จึงมีค่าการเรืองแสงน้อย และความเข้มข้น BSA มากเกินไป จะทำให้ประจุลบบน BSA เกิดการผลึกกัน ทำให้มี BSA เพียงบางส่วนเข้าไปรีดิวซ์อะตอมทอง เกิดเป็นอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ลดลง ค่าการเรืองแสงจึงลดลง

#### 4.1.5 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่เหมาะสมโดยกำหนดความเข้มข้นเป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 โมลาร์ พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนและการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน (Sensitivity mode: medium) (ข) แสดงสีของสารละลายหลังสังเคราะห์ที่มองด้วยตาเปล่า และ (ค) สีของสารละลายหลังสังเคราะห์ภายใต้แสงยูวี

จากการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ให้ค่า Fluorescence intensity มากที่สุด ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ไม่เกิดการเรืองแสง ส่วนที่ 1.5 และ 2.0 โมลาร์ ให้ค่า Fluorescence intensity น้อยกว่าที่ 1 โมลาร์ จึงเลือกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม ที่ความเข้มข้นนี้ จะทำให้หมู่ Phenolic ของ tyrosine ที่อยู่บนโปรตีนโบวินซีรัมอัลบูมิน จะเกิดการแตกตัวและทองจะถูกรีดิวซ์ได้ในสภาวะเบส และถ้าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินไปจะทำให้เกิดการควอนอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ได้ [13]

จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้นทั้งหมดตั้งแต่หัวข้อ 4.1.1 ถึงหัวข้อ 4.1.5 สามารถสรุปปัจจัยที่ศึกษาและสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ได้ดังตารางที่ 4.1 และจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด พบว่าให้ค่าผลิตภัณฑ์ควอนตัมของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์เป็น 0.9836

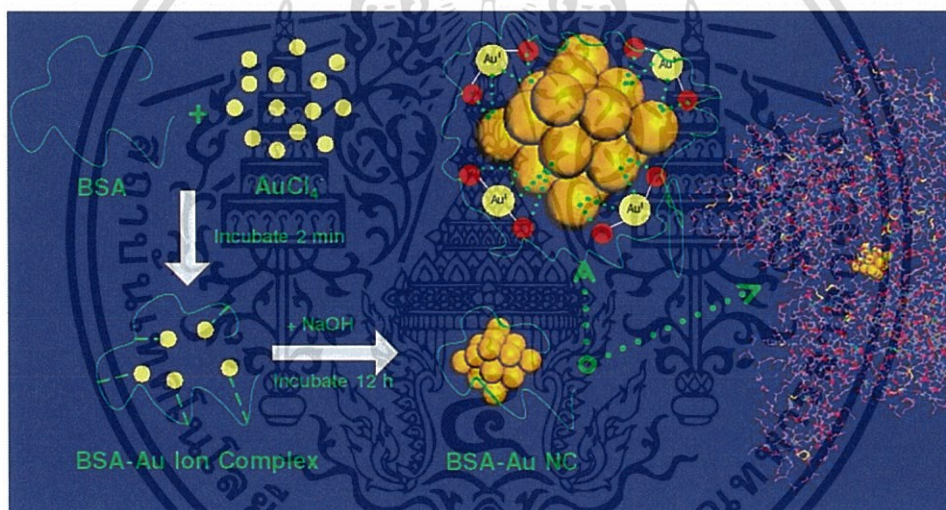
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปปัจจัยที่ศึกษาและสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์

ปัจจัยที่ศึกษา	ตัวแปร / ช่วงที่ศึกษา	ค่าที่เลือก
โปรแกรมที่ใช้ให้ความร้อน	ไม่ต่อเนื่อง , ต่อเนื่อง	ไม่ต่อเนื่อง
กำลังไฟฟ้า	90-450 วัตต์	100 วัตต์
เวลา	1-4 นาที	3 นาที
ความเข้มข้นของโบวีนซีรัมอัลบูมิน	30-90 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร	50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	0.5-2.0 โมลาร์	1.0 โมลาร์

#### 4.1.6 ผลการศึกษากลไกการเกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์

ได้ศึกษากลไกการเกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์จากงานวิจัยของ Jianping Xie และคณะ [18] พบว่าได้ผลการศึกษาดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 กลไกการเกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ [18]

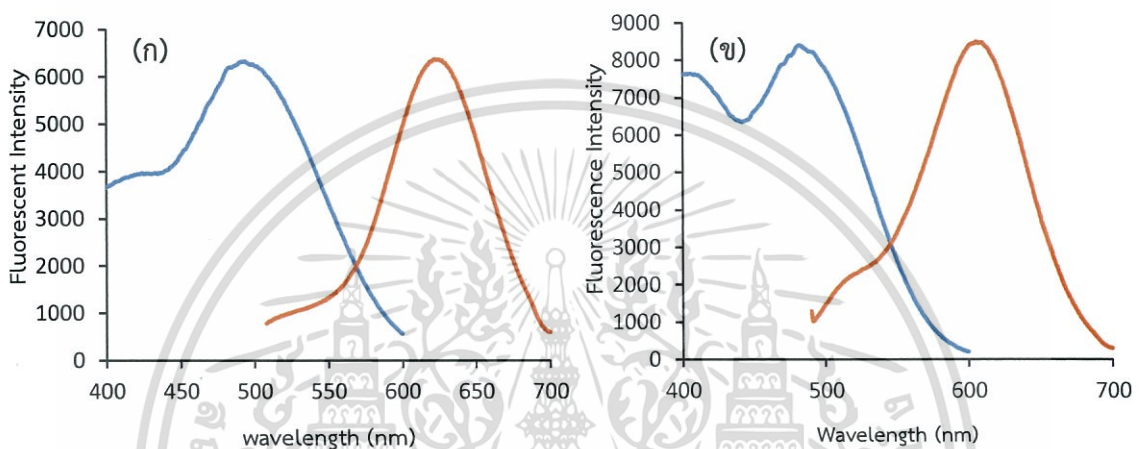
จากรูป 4.7 พบว่าโบวีนซีรัมอัลบูมินเป็นตัว stabilizing agent และ reducing agent โดยหมู่ phenolic group ของไทโรซีนบนโปรตีนโบวีนซีรัมอัลบูมิน ในสภาวะเบส ทำหน้าที่รีดิวซ์ Au<sup>3+</sup> เป็น Au<sup>0</sup> และเป็นตัว stabilizing agent โดยซัลเฟอร์หรือหมู่ไทออลบนโปรตีนเกิดพันธะกับ Au เกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ และการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์เกิดจาก charge transfer หรือ electron delocalize จากหมู่อัลคิลบนโปรตีนผ่านพันธะ Au-S ทำให้เกิดคุณสมบัติการเรืองแสงสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์จากวิธีดั้งเดิมและแบบไมโครเวฟ

### 4.2.1 เปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสง

ได้ทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดั้งเดิมและด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟตามสภาวะที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.8

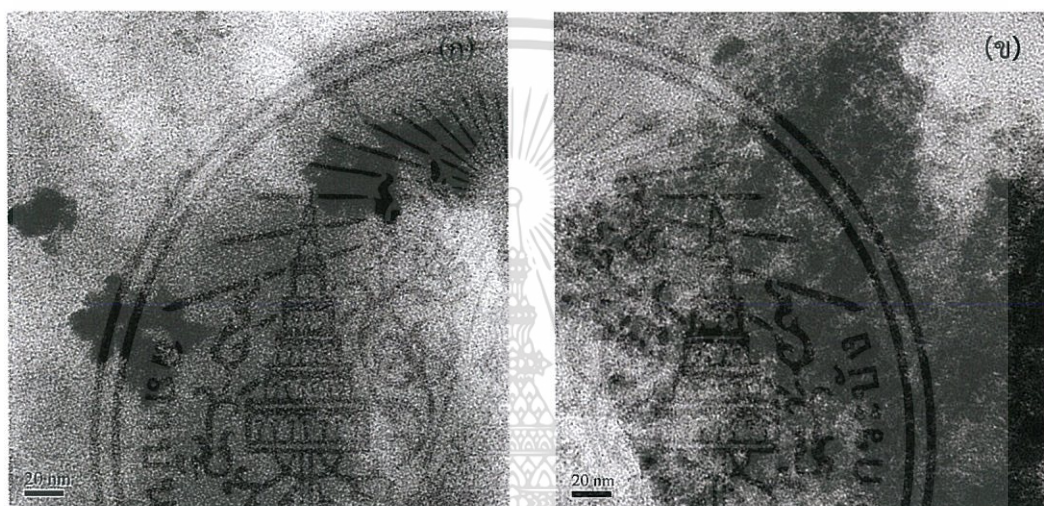


รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ได้จาก (ก) การสังเคราะห์แบบดั้งเดิม (ข) การสังเคราะห์แบบไมโครเวฟ (Sensitivity mode: high)

จากรูป (ก) พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์แบบดั้งเดิม มีค่าการดูดกลืนแสงและค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเป็น 494 และ 623 นาโนเมตร ตามลำดับ รูป (ข) การสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์แบบไมโครเวฟ มีค่าการดูดกลืนแสงและค่าการเรืองแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเป็น 492 และ 618 นาโนเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่า วิธีการสังเคราะห์แบบใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อน จะทำให้เกิดอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่มีค่าความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงใกล้เคียงกับอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดั้งเดิม แต่จะให้ค่า Fluorescence intensity สูงกว่าเล็กน้อย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า สามารถสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ โดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ได้เป็นผลสำเร็จ และยังมีข้อดีกว่าวิธีสังเคราะห์แบบดั้งเดิม คือ ใช้เวลาในการสังเคราะห์น้อยกว่ามากๆ โดยใช้เวลาเพียง 9 นาที ในขณะที่วิธีการสังเคราะห์แบบวิธีดั้งเดิมใช้เวลาในการสังเคราะห์นานถึง 12 ชั่วโมง

#### 4.2.2 เปรียบเทียบด้านสัณฐานวิทยา

นอกจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ความเป็นอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ด้วยการวัดความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ รวมถึงการนำสารที่สังเคราะห์ได้ นำไปส่องภายใต้แสงยูวีแล้วเรืองแสงสีแดง บ่งบอกถึงคุณลักษณะของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์แล้ว ยังได้ทำการพิสูจน์คุณลักษณะด้านสัณฐานวิทยาของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดั้งเดิมและด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.9

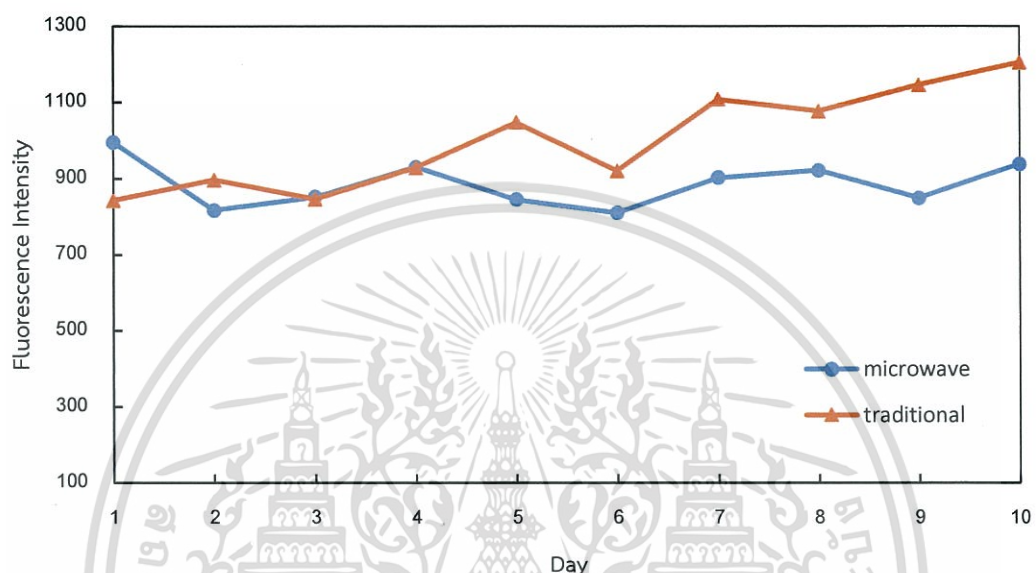


รูปที่ 4.9 ภาพ Transmission Electron Microscopy (TEM) ของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ (ก) แสดงรูปร่างของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์วิธีดั้งเดิม และ (ข) จากการสังเคราะห์แบบไมโครเวฟ

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ทั้งสองแบบมีการจับกันเป็นกลุ่มก้อน แต่วิธีแบบไมโครเวฟ อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์มีการกระจายตัวสม่ำเสมอมากกว่าแบบวิธีดั้งเดิม อย่างไรก็ตามพบว่าทั้งรูป (ก) และ (ข) ไม่คมชัดเท่าที่ควร ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะกล้อง TEM ที่ใช้มีกำลังขยายไม่เพียงพอ

### 4.2.3 เปรียบเทียบความเสถียรของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์

ได้ทำการเปรียบเทียบความเสถียรของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยติดตามค่าการเรืองแสงเป็นเวลา 10 วัน พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.10



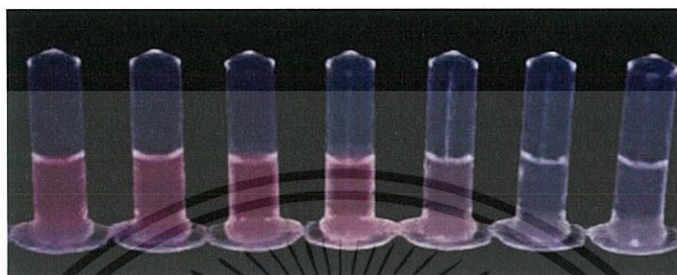
รูปที่ 4.10 แสดงค่า Fluorescence intensity ที่ทำการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์

พบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีแบบไมโครเวฟและวิธีดั้งเดิม จะให้ค่า Fluorescence intensity ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีการสังเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ทำให้อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ มีความเสถียรที่ดี ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตาม ควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาความเสถียรให้นานขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการเก็บรักษาอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพ

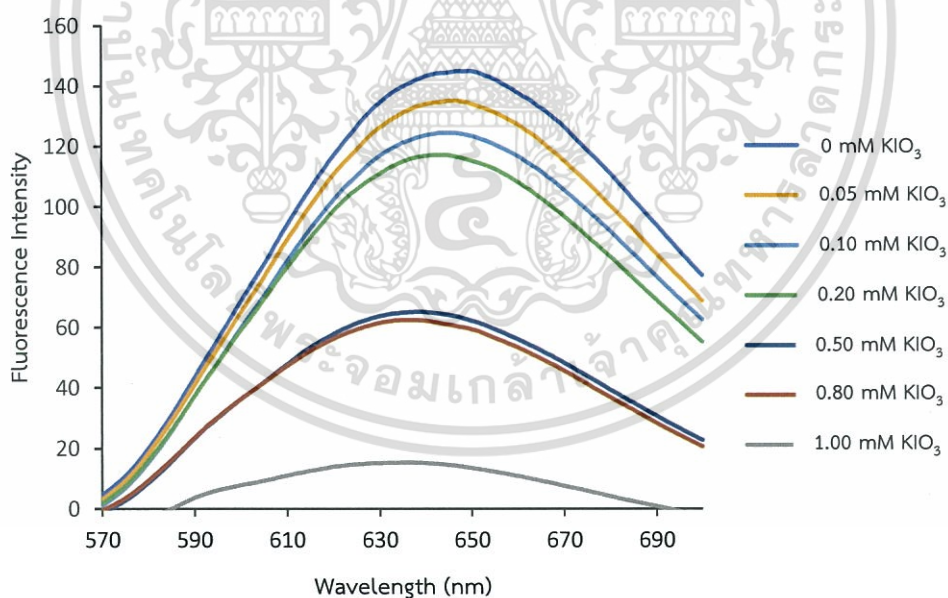
### 4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ออนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ในการหาปริมาณไอโอดีน

#### 4.3.1 ผลการศึกษาปฏิกิริยาการตรวจวัด

ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ เมื่ออนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์เกิดปฏิกิริยากับไอโอดีน พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงสีของสารละลายอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ที่ถูกผสมกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอดีนความเข้มข้นแตกต่างกัน จากซ้ายไปขวา คือ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 0.8 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ เมื่อนำไปส่องภายใต้แสงยูวี



รูปที่ 4.12 แสดง Fluorescence spectra ของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ หลังการเติมโพแทสเซียมไอโอดีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยใช้ Citrate-phosphate buffer pH7 ที่ excitation wavelength เท่ากับ 492 นาโนเมตร (Sensitivity mode: medium)

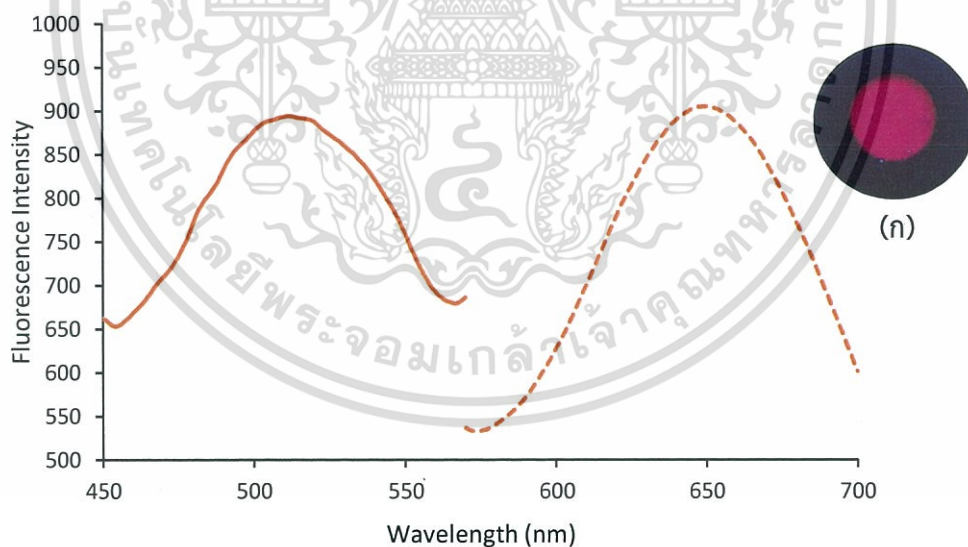
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงให้เห็นว่า อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตลงไป ไอโอไดด์ ( $I^-$ ) ที่มากเกินไปจะถูกออกซิไดซ์ด้วยไอโอเดต ( $IO_3^-$ ) จะเกิดเป็นไอโอดีน ( $I_2$ ) ไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะไปรวมกับไอโอไดด์ที่มากเกินไป เกิดเป็นไตรไอโอไดด์ ( $I_3^-$ ) ซึ่งไตรไอโอไดด์จะเกิดปฏิกิริยาควENCHON อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ดังนั้นเมื่อมีไอโอเดตมาก จะทำให้ค่าการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ลดลง โดยมีปฏิกิริยาการตรวจวัดดังสมการตามลำดับดังต่อไปนี้ [17]



#### 4.3.2 ผลของการตรวจวัดบนกระดาษ

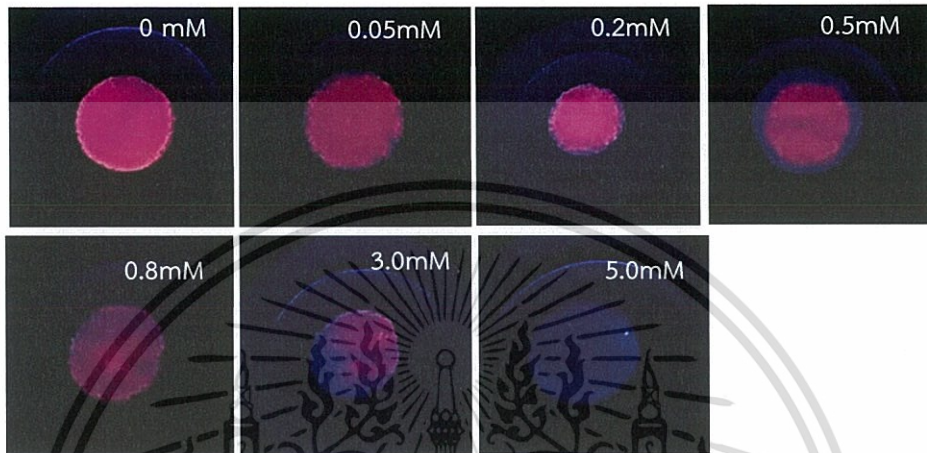
ได้ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ โดยการตรวจวัดบนกระดาษ ได้ผลการทดลองดังรูป 4.13



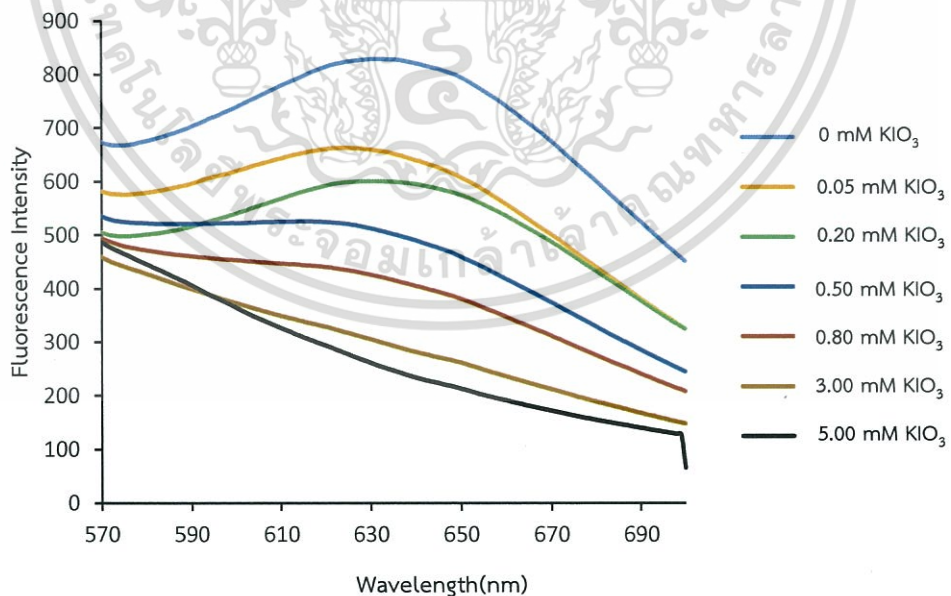
รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ โดยการตรวจวัดบนกระดาษ (ก) สีของสารละลายบนกระดาษเมื่อนำไปส่องภายใต้แสงยูวี

จากผลการทดลองพบว่าอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ตรวจวัดบนกระดาษให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 504 และ 650 นาโนเมตร ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่าใกล้เคียงกับอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ตรวจวัดในคิวเวทท์ จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟ เพื่อหาปริมาณไอโอดีน โดยอาศัยหลักการสเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ โดยได้เตรียมอุปกรณ์การตรวจวัดบนกระดาษตามวิธีดังแสดงในหัวข้อ 3.2.8 และได้ศึกษากับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอดีนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05-5.00 มิลลิโมลาร์ ได้ผลการทดลองดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 รูปถ่ายภายใต้แสงยูวีแสดงสีของสารละลายอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกผสมกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอดีนความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยทำตรวจวัดบนกระดาษ



รูปที่ 4.15 แสดง Fluorescence spectra หลังการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยใช้ Citrate-phosphate buffer pH 7 ที่ excitation wavelength เท่ากับ 492 นาโนเมตร โดยทำตรวจวัดบนกระดาษ (Sensitivity mode:

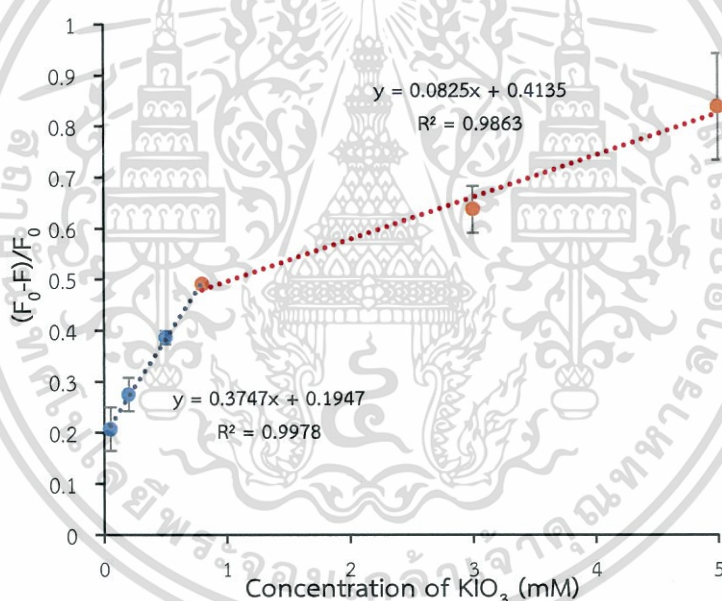
เอกสารนี้เป็นเอกสาร high) วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 เมื่อทำการตรวจวัดบนกระดาษ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกผสมกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตที่ความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ค่าการเรืองแสงลดลง ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับการตรวจวัดในหลอดทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะตรวจวัดหาปริมาณไอโอเดต โดยการติดตามค่าการเรืองแสงที่ลดลงของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ โดยใช้เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์และกระดาษเป็นอุปกรณ์การตรวจวัด

#### 4.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะวิธีการของการหาปริมาณไอโอเดตด้วยเทคนิคการตรวจวัดบนกระดาษโดยใช้อนุภาคของนาโนคลัสเตอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด

##### 4.4.1 ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ได้ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดไอโอเดต พบว่าได้ผลการทดลองดังรูป 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดไอโอเดต ด้วยอุปกรณ์การตรวจวัดบนกระดาษ

จากรูปที่ 4.16 พบว่า มีความเป็นเส้นตรง 2 ช่วง คือช่วง 0.05-0.80 มิลลิโมลาร์ และ 0.80-5.00 มิลลิโมลาร์ ในช่วง 0.05-0.80 มิลลิโมลาร์ ให้สมการเส้นตรงเป็น  $y = 0.3747x + 0.1947$  และช่วง 0.80-5.00 มิลลิโมลาร์ ให้สมการเส้นตรงเป็น  $y = 0.0825x + 0.4135$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.9978 และ 0.9863 ตามลำดับ จัดว่ามีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ทั้งสองช่วง ที่แบ่งช่วงความเป็นเส้นตรงได้ 2 ช่วง เนื่องจาก ถ้าเป็นช่วงความเป็นเส้นตรงช่วงเดียว คือ 0.05-5.00 มิลลิโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าน้อยกว่า เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอเดตในตัวอย่างอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดได้

#### 4.4.2 ผลการศึกษาความเที่ยง (Precision)

ได้ทำการศึกษาความเที่ยงของการตรวจวัดหาปริมาณไอโอดेटโดยใช้อุภาคทองนาโนคลัสเตอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด โดยทำการทดลองกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอดेटความเข้มข้น 0.20 และ 5.00 มิลลิโมลาร์ ในการทดลองแต่ละความเข้มข้น ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง (n=10) ได้ผลการทดลองดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มการเรืองแสงของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่ถูกควนด้วยโพแทสเซียมไอโอดेटความเข้มข้น 0.20, และ 5.00 มิลลิโมลาร์, ค่าเฉลี่ย, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ความเข้มข้น KIO <sub>3</sub> ครั้งที่ (mM)	0.20	5.00
1	631.165	283.641
2	602.445	281.985
3	648.561	280.034
4	626.776	277.519
5	607.881	298.599
6	596.091	274.304
7	598.969	285.969
8	634.698	284.090
9	616.886	281.414
10	600.130	268.405
ค่าเฉลี่ย	616.355	281.596
SD	18.089	7.924
% RSD	2.93	2.81

จากตาราง 4.2 ได้ทำการศึกษาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของวิธีการตรวจวัด เมื่อทำการตรวจวัดค่า Fluorescence Intensity ของอนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่โพแทสเซียมไอโอดेटความเข้มข้น 0.20 และ 5.00 มิลลิโมลาร์ จำนวน 10 ครั้ง พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 2.93 และ 2.81 ซึ่งมีค่าไม่สูงมาก จึงจัดได้ว่าวิธีวิเคราะห์นี้ เป็นวิธีที่มีความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

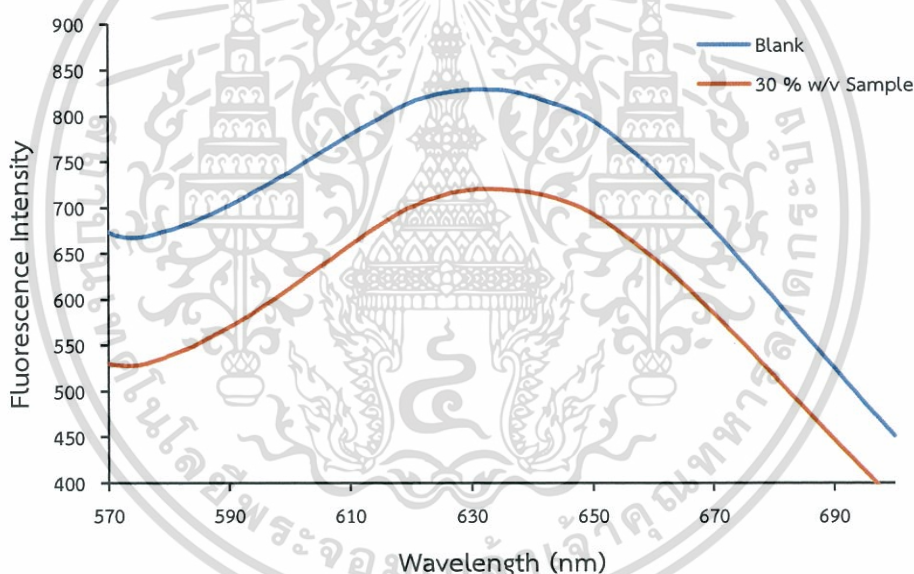
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.3 ผลการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ในการหาปริมาณไอโอเดตด้วยเทคนิคการตรวจวัดบนกระดาษ

แทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและจุดตัดแกน y ลงในสูตร โดยอาศัยข้อมูลจากกราฟมาตรฐาน ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการตรวจวัดของการตรวจหาปริมาณไอโอเดตเท่ากับ 0.05 มิลลิโมลาร์ และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 0.19 มิลลิโมลาร์

#### 4.5 ผลการศึกษาความเป็นไปได้โดยการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณไอโอเดตในตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีน

ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้อุณหภูมิของนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณไอโอเดตในตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยอาศัยหลักการสเปกโทรฟลูออโรเมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาษ ได้ผลกระทลงดังรูป 4.16



รูปที่ 4.17 แสดง Fluorescence spectra ของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ ในสารละลายแบบลค์ และเกลือเสริมไอโอดีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ excitation wavelength เท่ากับ 492 นาโนเมตร โดยทำตรวจวัดบนกระดาษ (Sensitivity mode: high)

จากรูป 4.17 พบว่าค่า Fluorescence Intensity ของอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ ในสารละลายเกลือเสริมไอโอดีน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับสารละลายแบบลค์ ซึ่งเป็นไปตามหลักการตรวจวัด ดังนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงมีแนวโน้มที่จะใช้ตรวจวัดหาปริมาณไอโอเดตในสารละลายตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนได้ แต่พบว่าเมื่อทำซ้ำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองมีค่าไม่คงที่ เนื่องมาจากขณะทำการทดลองนำกระดาษกรองใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีฝาปิด หลังการหยดสารละลายกรดซัลฟิวริกทำให้เกิดไอโอดีนขึ้น ก่อนทำการตรวจวัด มีการเปิดปิดฝาเพื่อเติมรีเอเจนต์ และมีการ incubate ในที่มืด ทำให้ไอโอดีนเกิดการระเหยออกจากกระดาษ ดังนั้นปริมาณไตรไอโอไดต์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับอนุภาคของนาโนคลัสเตอร์ได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะขนาดพื้นที่หน้าตัดของจานเพาะเชื้อมีขนาดใหญ่มากเกินไป ดังรูป 4.18 อาจเป็นสาเหตุให้ไอโอดีนที่เกิดขึ้นระเหยออกไปได้มากและไม่เท่ากัน ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.18 กระดาษกรองในจานเพาะเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ โดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้ คือ ใช้โปรแกรมการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง, กำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนเท่ากับ 100 วัตต์, ทำการสังเคราะห์ที่เวลา 3 นาที, ความเข้มข้นของโบวินซีรัมอัลบูมินเป็น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1 โมลาร์

การหาปริมาณไอโอดีตด้วยเทคนิคการตรวจวัดบนกระดาษ สามารถทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยได้ช่วงความเป็นเส้นตรง 2 ช่วง คือ 0-0.80 มิลลิโมลาร์ มีสมการเส้นตรงเป็น  $y = 0.3747x + 0.1947$  ( $R^2 = 0.9978$ ) และ 0.80-5.00 มิลลิโมลาร์ มีสมการเส้นตรงเป็น  $y = 0.0825x + 0.4135$  ( $R^2 = 0.9863$ ) ตามลำดับ และได้ทำการศึกษาความเที่ยงโดยเลือกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอดีต 2 ความเข้มข้นคือ 0.20 และ 5.00 มิลลิโมลาร์ พบว่าให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เป็น 2.93 และ 2.81 ตามลำดับ ซึ่งมีไม่สูงมากนัก จึงจัดได้ว่าวิธีนี้มีความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 0.05 มิลลิโมลาร์ และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 0.19 มิลลิโมลาร์

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาเรื่องความมีรุกรุ่นของกระดาษกรองที่นำมาใช้ในการตรวจวัด รวมถึงออกแบบแม่พิมพ์สำเร็จรูปลักษณะวงกลมที่ใช้เป็นขอบเขตการตรวจวัดเพื่อประหยัดเวลาในการทดลอง
- 2) หลังการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ควรเก็บไว้ในที่เย็นและก่อนการทดลองควรนำสารเคมีมาวางทิ้งไว้ให้อยู่ในอุณหภูมิห้องทุกครั้ง
- 3) ควรทำการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ครั้งละหลายๆ เพื่อลดเวลาการทดลองครั้งต่อไป ไม่จำเป็นต้องเสียเวลาสังเคราะห์ใหม่และลดความคลาดเคลื่อนจากการสังเคราะห์แต่ละครั้งได้อีกด้วย
- 4) ควรใช้คิ้วเวทอย่างระมัดระวัง หลังจากล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น ควรใช้สำลีชนิดก้านพันกับกระดาษทิชชูและนำไปเช็ดภายในบริเวณคิ้วเวทที่ให้แห้งก่อนนำมาทดลองครั้งต่อไป
- 5) ภาชนะสำหรับวางกระดาษกรองควรมีพื้นที่หน้าตัดที่ไม่มากจนเกินไป เพื่อป้องกันการระเหยของไอโอดีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2558. **แนวทางการดำเนินงานการควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน**. [Online]. Available : [http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/files/iodene\\_new\\_concep.pdf](http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/files/iodene_new_concep.pdf). Search : 04 May 2018
- [2] ศาสตราจารย์เกียรติคุณ แพทย์หญิงพวงทอง ไกรพิบูลย์. 2560. **ภาวะขาดไอโอดีน (Iodine deficiency)**. [Online]. Available : <http://haamor.com/th/%E0%B8%99/>. Search : 04 May 2018
- [3] มหาวิทยาลัยมหิดล. [Online]. **นํ้ายาสำเร็จรูป สำหรับวัดปริมาณไอโอดีนในเกลือ (I-Reagent)**. Available : [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine/chapter3/i\\_reag.html](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine/chapter3/i_reag.html). Search : 06 May 2018
- [4] หน่วยเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัยด้านอาหาร กองควบคุมอาหาร สำนักคณะกรรมการอาหารและยา. 2553. **คู่มือการเฝ้าระวังเกลือเสริมไอโอดีน**. [Online]. Available : <http://www.lpho.go.th/letsgo/attachments/article/574/24.pdf>. Search : 07 May 2018
- [5] Daniel M. Cherie, Amares Chatt and Peng Zhang. 2012. “**Properties and applications of protein-stabilized fluorescent gold nanoclusters.**” Journal of Nanophotonics. 6 : 064504-1-7.
- [6] Malin Cui, Yuan Zhao and Qijun Song. 2014. “**Synthesis, optical properties and applications of ultra-small luminescent gold nanoclusters.**” Trend in Analytical Chemistry. 57 : 73-82.
- [7] ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2561. **เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์**. [Online]. Available : <https://home.kku.ac.th/chuare/12/fluorometer.pdf>. Search : 11 April 2018
- [8] Suzanka Bett. 2561. **Jablonski diagram**. [Online]. Available : <https://www.quora.com/What-is-the-Jablonski-diagram>. Search : 11 May 2018
- [9] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2561. **องค์ประกอบภายในเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์**. [Online]. Available : [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4\\_5.html](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_5.html). Search : 12 May 2018
- [10] Saravanan Govindaraju, Seshadri Reddy Ankireddy, Buddolla Viswanath, Jongsung Kim and Kyusik Yun. 2017. “**Fluorescent Gold Nanoclusters for Selective Detection of Dopamine in Cerebrospinal fluid.**” Scientific reports. 7 : 1-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Krishnendu Chatterjee, Chiung Wen Kuo, Ann Chen and Peilin Chen. 2015. "Detection of residual rifampicin in urine via fluorescence quenching of gold nanoclusters on paper." *Journal Nanobiotechnol.* 13 : 1-9.
- [12] Pingping Xu, Ruiping Li, Yifeng Tu และ Jilin Yan. 2015. "A gold nanoclusters-based sensor for sensitive uric acid detection." *Talanta.* 144 : 704-709.
- [13] Lei Yan, Yuqing Cai, Baozhan Zheng, Hongyan Yuan, Yong Guo, Dan Xiao and Martin M. F. Choi. 2011. "Microwave-assisted synthesis of BSA-stabilized and HSA-protected gold nanoclusters with red emission" *Journal of Materials Chemistry.* 22 : 1000-1005
- [14] T.Zhao, Z.-Q. Xuan, A. Wan and R.Gui. 2016. "Bovine serum albumin template synthesis of fluorescent gold nanoclusters for nitric oxide detection in vitro." *Material Technology.* 31 : 341-347.
- [15] Ruiping Li, Pingping Xu, Jun Fan, Junwei Di, Yifeng Tu and Jilin Yan. 2014. "Sensitive iodate sensor based on fluorescence quenching of gold nanocluster." *Analytical Chimica Acta.* 827 : 80-85.
- [16] Ruiping Li, Pingping Xu, Yifeng Tu and Jilin Yan. 2016. "Albumin-stabilized gold nanoclusters as viable fluorescent probes in non-titrimetric iodometry for detection of oxidizing analytes." *Microchim Acta.* 183 : 497-502.
- [17] Xue-Ling Cao, Ya-Nan Luo, Li-Li Lian, Yu-Qing Wu and Da-Wei Lou. 2015. "Selective Detection of Iodine/Iodide Using BSA-Stabilized Gold Nanoclusters-based Fluorescence Probe." *Chem. Lett.* 2015, 44 : 1392-1394.
- [18] Jianping Xie, Yuangang Zheng, and Jackie Y. Ying\*. 2009. "Protein-Directed synthesis of Highly Fluorescent gold Nanoclusters" *J.AM. CHEM. SOC.* 131 : 888-889.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ค่า Quantum yield ของอนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์

ตารางที่ ก.1 ผลของโปรแกรมการให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาตรรวม 2.1 mL และ สารละลายหลังสังเคราะห์ได้มี pH = 11

โปรแกรมการให้ความร้อน	วัตต์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (Watt)	Fluorescence Detection				Quantum yield
		Excitation		Emission		
		intensity	$\lambda_{\max}$	intensity	$\lambda_{\max}$	
ไม่ต่อเนื่อง	100	6357.96	494	6026.99	628	0.95
ต่อเนื่อง	100	5864.08	498	5573.36	626	0.95

ตารางที่ ก.2 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาตรรวม 2.1 mL และ สารละลายหลังสังเคราะห์ได้มี pH = 11

วัตต์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (วัตต์)	Fluorescence Detection				Quantum yield	หมายเหตุ
	Excitation		Emission			
	intensity	$\lambda_{\max}$	intensity	$\lambda_{\max}$		
90	3858.55	503	3694.74	630	0.96	
100	6357.96	494	6026.99	628	0.95	
Defrost	2739.01	502	2687.22	630	0.98	
300	4258.64	503	4094.18	629	0.96	
450	-	-	-	-	-	สารละลายระเหยแห้งจนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลของเวลาที่ให้ความร้อนในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาตรรวม 2.1 mL และ สารละลายหลังสังเคราะห์ที่ได้มี pH = 11

เวลาในการให้ความร้อน (นาทีก)	Fluorescence Detection				Quantum yield	หมายเหตุ
	Excitation		Emission			
	intensity	$\lambda_{\max}$	intensity	$\lambda_{\max}$		
1	-	-	-	-	-	ไม่วาวแสงสีแดง
2	318.09	481	317.63	601	0.99	0.99
3	1033.10	492	1037.67	613	1.00	1.00
4	895.32	491	886.70	618	0.99	0.99

ตารางที่ ก.4 ผลของความเข้มข้นโบวีนซีรัมอัลบูมินในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนคลัสเตอร์ ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาตรรวม 2.1 mL และ สารละลายหลังสังเคราะห์ที่ได้มี pH = 11

ความเข้มข้น BSA (mg/ml)	Fluorescence Detection				Quantum yield
	excitation		emission		
	intensity	$\lambda_{\max}$	intensity	$\lambda_{\max}$	
30	907.45	483	895.32	614	0.99
50	1044.19	483	1027.06	609	0.98
65	1033.10	492	1032.02	617	1.00
80	623.60	482	633.16	600	1.00
90	372.54	481	369.92	599	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลของความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนคลัสเตอร์ ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาตรรวม 2.1 mL

ความเข้มข้น NaOH (M)	Fluorescence Detection				Quantum yield	ค่าพีเอชที่วัดได้	หมายเหตุ
	excitation		emission				
	intensity	$\lambda_{\max}$	intensity	$\lambda_{\max}$			
0.5	-	-	-	-	-	7	ไม่วาวแสง สีแดง
1.0	1044.19	483	1027.06	609	0.98	11	
1.5	699.95	493	709.98	620	1.01	11	
2.0	335.64	493	330.32	629	0.98	12	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## กราฟมาตรฐานของการตรวจวัดหาปริมาณไอโอเดตบนกระดาษ

ตารางที่ ข.1 ค่า  $F_0-F/F_0$  และส่วนเบี่ยงมาตรฐานของกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น  $KIO_3$  ต่างๆ

ความเข้มข้น $KIO_3$ (mM)	Fluorescence Intensity $\lambda_{max}=632$ nm			$F_0-F/F_0$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
0	853.900	804.284	829.092	n.e.*	n.e.*
0.05	646.957	667.560	657.259	0.207	0.043
0.2	599.022	603.038	601.030	0.275	0.032
0.5	523.591	493.912	508.752	0.386	0.013
0.8	457.257	387.274	422.266	0.491	0.009
3	370.117	231.191	300.654	0.637	0.046
5	268.220	245.185	134.110	0.838	0.105

\*n.e. คือ non-evaluate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีน

ตารางที่ ค.1 ค่า Fluorescence Intensity ของตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ความเข้มข้น ของเกลือเสริม ไอโอดีน (%w/v)	Fluorescence Intensity $\lambda_{\text{max}} = 632\text{nm}$					SD	% RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย		
30	717.597	964.689	891.152	856.028	857.367	89.72	10.46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และ  
ขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

จากการศึกษาความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบนกระดาษ แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $F_0 - F/F_0$  กับ ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตของช่วงใช้งาน 2 ช่วง คือ 0.05-0.80 และ 0.80-5.00 มิลลิโมลาร์ ในช่วง 0.05-0.80 มิลลิโมลาร์ ให้สมการเส้นตรงเป็น  $y = 0.3747x + 0.1947$  และช่วง 0.80-5.00 มิลลิโมลาร์ ให้สมการเส้นตรงเป็น  $y = 0.0825x + 0.4135$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.9978 และ 0.9863 ตามลำดับ

แทนค่า  $x = 0$  ลงในสมการ  $y = 0.3747x + 0.1947$  ได้ค่า  $y_B = 0.1947$

ความเข้มข้น สารละลายมาตรฐาน KIO <sub>3</sub> (mM)	$y_i$	$\hat{y}$	$(y_i - \hat{y})^2$
0.05	0.2073	0.2134	$3.8192 \times 10^{-5}$
0.2	0.2751	0.2696	$2.9528 \times 10^{-5}$
0.5	0.3864	0.3821	$1.8705 \times 10^{-5}$
0.8	0.4907	0.4945	$1.4220 \times 10^{-5}$

คำนวณ  $S_{y/x}$  จากสมการ 3.1 คือ

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{n-2}}$$

- เมื่อ  $S_{y/x}$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟ  
 $y_i$  คือ ค่าสัญญาณที่อ่านได้จริงจากเครื่องมือ  
 $\hat{y}$  คือ ค่าสัญญาณที่ควรจะเป็น (ได้จากการแทนค่า  $x$  ลงในสมการถดถอยเชิงเส้น)

จากการแทนค่าในสมการ 3.1 จำได้  $S_{y/x} = 0.0071$

แทนค่า  $y_B$  และ  $S_{y/x}$  ลงในสมการที่ 3.2 คือ  $LOD = y_B + 3S_{y/x}$  และ  $LOQ = y_B + 10S_{y/x}$   
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก  $LOD = y_B + 3S_{y/x}$  ดังนั้น ค่า  $LOD = 0.1947 + 3(0.0071) = 0.2160$  คิดเป็นความเข้มข้นจากสมการเส้นตรง  $y = 0.3747x + 0.1947$  ได้ค่า LOD ในหน่วยความเข้มข้น มิลลิโมลาร์เท่ากับ 0.05 มิลลิโมลาร์

จาก  $LOQ = y_B + 10S_{y/x}$  ดังนั้น ค่า  $LOQ = 0.1947 + 10(0.0071) = 0.2656$  คิดเป็นความเข้มข้นจากสมการเส้นตรง  $y = 0.3747x + 0.1947$  ได้ค่า LOD ในหน่วยความเข้มข้น มิลลิโมลาร์เท่ากับ 0.19 มิลลิโมลาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 20 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาวณัฐนิชา ลีอกิจนา รหัสนักศึกษา 57050408  
นางสาวธัญพร เข้ม้นหมาย รหัสนักศึกษา 57050424  
นางสาวธิดาภรณ์ สีน้าเงิน รหัสนักศึกษา 57050425

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี  
ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การประยุกต์ใช้นาโนภาคทองนาโนคลัสเตอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี  
ไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณไอโอดेटโดยอาศัยหลักการสเปกโทรฟลูออโร  
เมทรีร่วมกับการตรวจวัดบนกระดาศ

ชื่อภาษาอังกฤษ Use of microwave-prepared gold nanocluster for determination  
of iodate based on spectrofluorometric detection on paper

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน  
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม  
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ 0.08 %

ลงชื่อ.....นางณัฐนิชา ลีอกิจนา..... ลงชื่อ.....ธัญพร เข้ม้นหมาย..... ลงชื่อ.....ธิดาภรณ์ สีน้าเงิน.....  
(นางสาวณัฐนิชา ลีอกิจนา) (นางสาวธัญพร เข้ม้นหมาย) (นางสาวธิดาภรณ์ สีน้าเงิน)  
นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของ  
นักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้  
เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....  
(ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น)  
อาจารย์ที่ปรึกษา