

การดูดกลืนแสงของไฮบริดไมโครเจลที่สามารถเปลี่ยนสี
กลับไปได้

Study of light absorption of Hybrid Microgels with
Reversibly Changeable Multiple Brilliant Color



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of light absorption of Hybrid Microgels with Reversibly Changeable Multiple Brilliant Color



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดูดกลืนแสงของไฮบริดไมโครเจลที่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปมาได้

Study of light absorption of Hybrid Microgels with Reversibly Changeable Multiple Brilliant Color

ชื่อนักศึกษา

นางสาววิศราภรณ์ จันทโพธิ์

รหัสนักศึกษา5851137

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2561

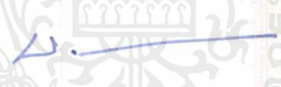

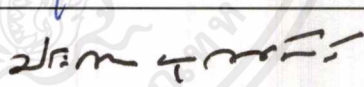

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.อัชฌา กอบวิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
อ.สุรชาติ กมลติลก กรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.อัชฌา กอบวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การดัดกลืนแสงของไฮบริดไมโครเจลที่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปมาได้	
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิศราภรณ์ จันทโพธิ์	รหัสนักศึกษา 58051137
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2561	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.อชฌา กอบวิทยา	

บทคัดย่อ

การศึกษาการสังเคราะห์และดัดกลืนแสงของไฮบริดไมโครเจลที่ประกอบด้วยโครงสร้างนาโนโลหะให้มีความสามารถเปลี่ยนสีกลับไปมาได้ เพื่อประยุกต์ใช้งานด้านเซ็นเซอร์ ปัจจุบันมีการนำอนุภาคนาโนโลหะไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายด้าน ด้วยคุณสมบัติทางแสงที่โดดเด่นของโครงสร้างระดับนาโนของโลหะ โดยงานวิจัยนี้สนใจศึกษาอนุภาคนาโนทองคำ ที่มีคุณสมบัติเป็นอนุภาคนาโนพลาสมอนิก ซึ่งหมายถึง อนุภาคนาโนที่มีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าของแสงที่เข้ามาได้ ในงานวิจัยนี้จะทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำ 2 รูปแบบ คือ อนุภาคนาโนทองคำแบบกลมกับอนุภาคนาโนทองคำแบบแท่ง เพื่อเลือกยานการดัดกลืนแสงที่เหมาะสม และศึกษากระบวนการเคลือบอนุภาคนาโนทองคำด้วยชั้นซิลิกา ที่เป็นพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมิ ก่อนจะพัฒนากระบวนการเป็นชั้นเจล นอกจากนี้กระบวนการการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเจลทรงกลมเหลี่ยมได้ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ด้วย อนุภาคนาโนทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้รับการตรวจสอบด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer, Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA) และเครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) เพื่อดูคุณสมบัติทางแสง ขนาด และอนุภาคนาโน ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะสามารถนำมาประยุกต์ทำตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างง่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดในด้านอื่นๆโดยเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับตัวตรวจวัด และสามารถต่อยอดเป็นเซ็นเซอร์แบบยืดหยุ่นได้อีกด้วย

คำสำคัญ : การสังเคราะห์ฟิวอนุภาค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ไมโครเจลแบบผสม อนุภาคทองคำระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of light absorption of Hybrid Microgels with Reversibly Changeable Multiple Brilliant Color
Students	Miss Waridsaraporn Jantapo Student ID 58051137
Degree	Bachelor of Science (Applied physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Asst.Prof.Dr.Prathan Buranasiri
Co-advisor	Dr.Atcha Kopwittthaya

Abstract

In this study, we mainly focus on synthesis and light absorption of hybrid microgel consisting of metal nanostructures that can reversibly changeable color to apply in sensors. Currently, metal nanoparticles are utilized in many applications due to their unique optical property. The metal or plasmonic nanoparticles are nanostructures with free electrons that can move along the electric field of incoming light. In This work, we synthesize gold nanoparticles and gold nanorods for studying the light properties. Next, we study the encapsulating process of gold nanoparticles with silica layers in order to understand and apply to encapsulating process using temperature sensitive polymer. Moreover, process of synthesized microgel nanoparticles with hexagon shape has also carried out. All synthesized nanoparticles has been characterized by UV/VIS Spectrophotometer, Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA) and Transmission Electron Microscope (TEM) for observing their absorption spectrum, hydrodynamic size and morphology. The reported nanostructure can apply to temperature sensor. Furthermore, these results can be applied to other sensing platform by changing type of polymer depending on observing substance and also can be modified to be flexible sensor.

Keywords : Surface Plasmon Resonance (SPR), transmission electron microscope (TEM), Gold hybrid microgels, nanoparticles (GNP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ไม่สามารถดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้หากปราศจากบุคคลต่อไปนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.อัชมา กอบวิทยา ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้เข้ามาทำโครงการพิเศษ ณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ทั้งคอยให้คำปรึกษา ดูแล และให้ความรู้ในเรื่องใหม่ๆหรือเรื่อง que ผู้วิจัยไม่สามารถทำความเข้าใจได้ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้มาทำหัวข้อโครงการพิเศษนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และให้ใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ ตลอดจนการอำนวยความสะดวกต่างๆที่ผู้วิจัยได้รับ

ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านและคอยให้กำลังใจ รวมถึงเพื่อน พี่ ที่คอยให้คำปรึกษา และคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ตลอดจนคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในโครงการพิเศษครั้งนี้ที่คอยสนับสนุนและช่วยเหลือทุกอย่างอย่างให้กับผู้วิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

วริศราภรณ์ จันทโพธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ต่อ)	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญ (ต่อ)	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	ซ
สารบัญรูป (ต่อ)	ฌ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 Surface Plasmon Resonance (SPR).....	3
2.2 การกระเจิง (scattering).....	5
2.3 การดูดกลืน (absorption).....	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย.....	11
3.1.1. UV/VIS Spectrophotometer.....	11
3.1.2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge).....	12
3.1.3 เครื่องกวาดสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน.....	13
3.1.4 Transmission electron microscope (TEM)	14
3.1.5 Nanoparticle tracking Analysis (NTA)	15
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.3.1 Gold nano particle (GNP).....	16
3.3.2 Coat Silica – Gold nanoshells	19
3.3.3 Microgels PNIPAM.....	21
3.3.4 Coat microgels PNIPAM.....	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	24
4.1 การสังเคราะห์ Gold nanoparticles.....	24
4.2 การ coat Silica – Gold nanoshells.....	26
4.3 การสังเคราะห์ PNIPAM.....	30
4.4 Coat microgels – gold nanoshells.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	37
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง	38

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1.1 แผนดำเนินการวิจัย 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพประกอบของการกระตุ้นของ Surface Plasmon Resonance (SPR).....	3
2.2 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน.....	4
2.3 ภาพประกอบของการกระตุ้น LSPR สำหรับ spheroid prolate การแกว่งของอิเล็กตรอน ที่ plasmon bands ตามยาวและตามขวางนั้นส่งผลให้ plasmonic spectra แตกต่างกัน.	5
2.4 คลื่นแสงเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอากาศ.....	5
2.5 สเปกตรัมของแสง.....	6
2.6 รูปแบบเส้นการเดินทางของแสงในตอนเช้าและเย็น.....	7
2.7 วงล้อสี.....	8
2.8 ลักษณะการดูดกลืนแสงของสารและการเกิดฟิสิก.....	9
3.1 เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer.....	12
3.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge).....	13
3.3 เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Hotplate and Stirrer)	14
3.4 เครื่อง Transmission electron microscope (TEM).....	14
3.5 เครื่อง Nanoparticle Tracking Analysis (NTA).....	15
3.6 Precursor Au ³⁺	16
3.7 ใส Surfactant CTAB ในน้ำ 100 ml ลงไปใน Au ³⁺	17
3.8 เมื่อใสตัวจ่ายอิเล็กตรอนอย่างอ่อนลงไป ใน Au ³⁺ จะทำให้กลายเป็น Au ⁺	17
3.9 ใส Seed ตัวเล็กมากๆ ที่มี Sodium borohydride ติดอยู่ด้วยลงไปเพิ่ม จึงทำให้จาก Au ⁺ กลายเป็น Au.....	18
3.10 ใส Silver nitrate ปริมาณเล็กน้อยลงไปเพิ่มใน Surfactant CTAB ในน้ำ 100 ml.....	18
3.11 การเตรียม NH ₄ OH 10 %.....	19
3.12 การเตรียม TEOS ethanol solution	20
3.13 เครื่อง Centrifuge ใช้อัตราเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 15 นาที.....	20
3.14 Gold nanoparticles ทั้ง 10 หลอดมารวมกัน จะได้ Gold nanoparticles 5 ml.....	21
3.15 ขวดที่ 1 สาร NIPAM กับ BAA ใน DI water.....	22
3.16 ขวดที่ 2 Ammonium persulfate ใน DI water.....	22
3.17 ขวดที่ 3 Ethylenediamine ใน DI water.....	22
3.18 Microgels PNIPAM.....	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 ใส microgels PNIPAM ที่ concentrate เข้มข้นเป็น 3 เท่า แล้ว 3 เท่า ลงใน gold Nanoparticles.....	23
3.20 Gold nanoparticles เกิดการรวมตัวกันจนตกตะกอน.....	23
4.1 อนุภาคนาโนทองคำทรงกลมที่สังเคราะห์ได้	24
4.2 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมที่สังเคราะห์ได้.....	25
4.3 ภาพอนุภาคนาโนทองคำจากเครื่อง TEM.....	26
4.4 Gold nanoparticles และ Silica – Gold nanoshells ที่ความเข้มข้นของ TEOS แตกต่างกัน.....	26
4.5 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Gold - nanoparticles และ Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 100 กับ Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 200.....	27
4.6 ภาพ Gold nanorods และ Silica – Gold nanoshells จากเครื่อง TEM.....	28
4.7 ภาพบริเวณผิวขอบของ Gold nanoshells และ Silica – Gold nanoshells.....	29
4.8 Microgels ที่สังเคราะห์ได้.....	30
4.9 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ PNIPAM.....	31
4.10 ดูจากตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในเครื่อง Nanosight มีจุดสีขาวเกิดขึ้น.....	32
4.11 Nanosight ของ PNIPAM.....	32
4.12 ภาพ Microgels ที่สังเคราะห์ได้จากเครื่อง TEM.....	33
4.13 เปรียบเทียบ GNP ที่ยังไม่ใส่ PNIPAM และ ใส PNIPAM.....	34
4.14 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ gold nanoparticles กับ PNIPAM – gold nanoshells ที่ใส่ PNIPAM ปริมาณ 1 ml, 2.5 ml และ 5 ml.....	35
4.15 อนุภาคนาโนทองคำที่ใส่ PNIPAM 1 ml และ 2.5 ml ในอุณหภูมิห้อง 21 องศาเซลเซียส.....	35
4.16 อนุภาคนาโนทองคำเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	36
4.17 อนุภาคนาโนทองคำในอุณหภูมิห้องเทียบกับอนุภาคนาโนทองคำเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	36

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CTAB	Hexadecyltrimethylammonium bromide
GNP	Gold nano particle
LSPR	Localized Surface Plasmon Resonance
NH ₄ OH	Ammonium hydroxide solution
NIPAM	N-isopropylacrylamide
NTA	Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA)
SPR	Surface Plasmon Resonance
TEM	Transmission electron microscope
TEOS	Tetraethyl Orthosilicate
UMS	Universal Measurement Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอนุภาคนาโนพลาสมอนิกได้รับความสนใจอย่างมากด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นทางแสง เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆได้อย่างกว้างขวาง เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โดยอนุภาคนาโนพลาสมอนิก คือ อนุภาคนาโนที่เป็นโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้าของแสงที่เข้ามาได้ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งเป็นอนุภาคนาโนที่เป็นโลหะ และนำอนุภาคนาโนทองคำไปเคลือบพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมิ การดูดกลืนแสงของไฮบริดไมโครเจลที่เกิดจากหลักการ Surface Plasmon Resonance (SPR) ของอนุภาคนาโนทองคำ โดยใช้เครื่อง UV-vis spectrophotometer , Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA) และเครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) การดูดกลืนแสงของไฮบริดไมโครเจล เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอย่างง่าย

ในงานวิจัยนี้ต้องการอาศัยคุณสมบัติของพลาสมอนิกนาโนพลาสมอนิกมาประยุกต์ทำตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยสร้างโครงสร้างเป็นไฮบริดไมโครเจลร่วมกับพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมิ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะใช้เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer, Transmission Electron Microscope (TEM) และ Nanoparticle tracking Analysis (NTA) เพื่อดูผลงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่มีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น อนุภาคนาโนทองคำทรงกลม และอนุภาคนาโนทองคำแบบแท่ง
- 2) เพื่อสังเคราะห์อนุภาค hybrid microgels ที่มีคุณสมบัติทางแสงเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน
- 3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคต่างๆที่สังเคราะห์ขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการฟิสิกส์ของ Surface Plasmon Resonance (SPR)
- 2) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำและการวิเคราะห์ (แสงและกายภาพ)
- 3) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ hybrid microgels และคุณสมบัติทางแสงที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินการวิจัย

งานที่ต้องทำในแต่ละเดือน	ธ.ค. 2018	ม.ค. 2019	ก.พ. 2019	มี.ค. 2019	เม.ย. 2019	พ.ค. 2019
ศึกษาทฤษฎี Hybrid Microgels						
ทำการทดลอง hybrid microgels ที่เกิดจากหลักการ Surface Plasmon Resonance (SPR)						
ศึกษาการดูดกลืนแสงของ hybrid microgels						
วิเคราะห์ผลข้อมูล						
รวบรวมข้อมูล						
สรุปข้อมูล						
ทำรูปเล่ม						

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถสร้างต้นแบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิอย่างง่าย
- 2) สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดในด้านอื่นๆโดยเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับตัวตรวจวัด
- 3) สามารถต่อยอดเป็นเซ็นเซอร์แบบยืดหยุ่น (Flexible sensor)

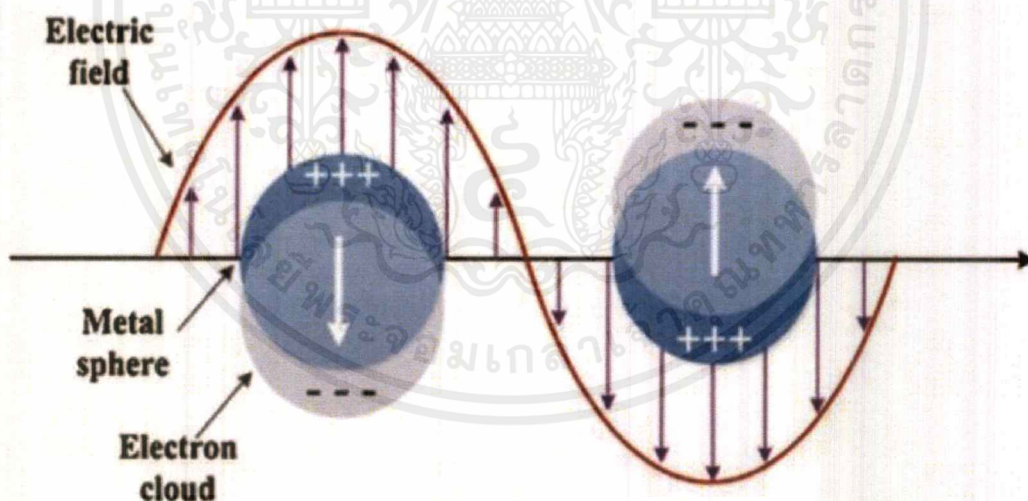
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดกลืนแสงของ hybrid microgels ที่สามารถปรับเปลี่ยนสีได้หลายสี ซึ่งเกิดจากอนุภาคนาโนทองคำ และศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมของ hybrid microgels ในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอย่างง่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โดยในงานวิจัยการศึกษาการดูดกลืนแสงของ hybrid microgels ที่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปมาได้ จำเป็นจะต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 Surface Plasmon Resonance (SPR)

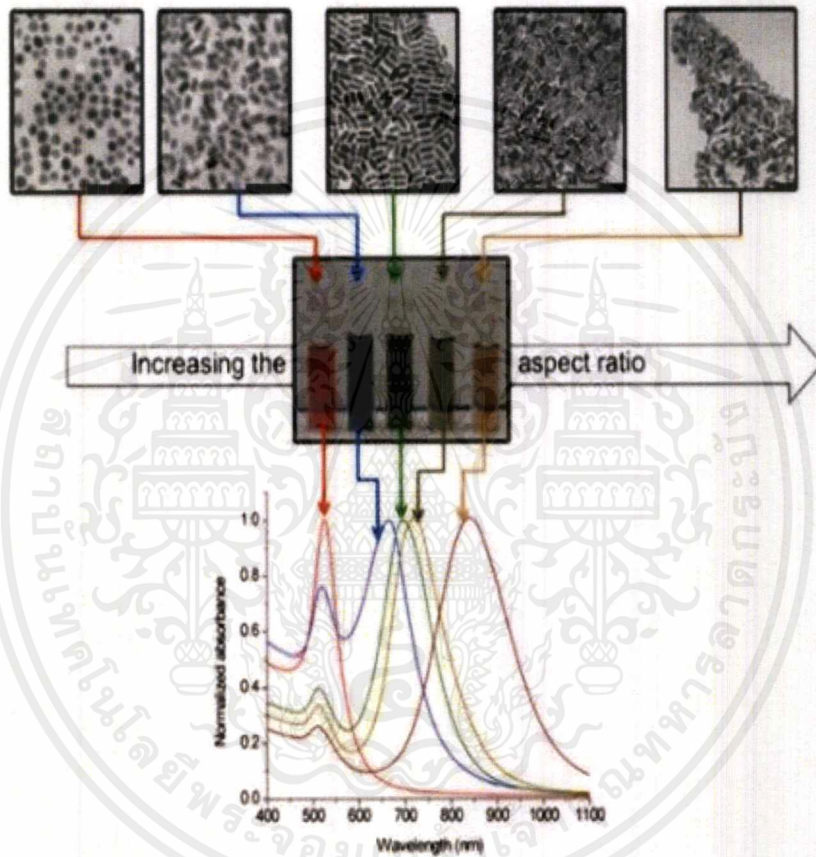
เมื่อทองคำมีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับนาโน จะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างจากทองคำปกติ ได้แก่ สีของอนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีหลากหลาย เช่น แดง ฟ้ำ เขียว หรือน้ำตาล ซึ่งไม่ได้ปรากฏเป็นสีทองเหมือนกับทองคำทั่วไป การเกิดสีที่แตกต่างจากปกตินี้เกิดจากปรากฏการณ์เชิงแสงคือ อนุภาคนาโนที่เป็นโลหะ มีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้าของแสงที่เข้ามาได้



รูปที่ 2.1 ภาพประกอบการกระตุ้นของ Surface Plasmon Resonance (SPR)

การทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในแถบของ conduction ในอนุภาคนาโนโลหะกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากแสงที่ตกกระทบ เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมาตกกระทบโลหะ กลุ่มอิเล็กตรอนที่ถูกจำกัดอยู่ในอนุภาคระดับนาโนจะเกิดการสั่นรวม และเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมีความยาวคลื่นเดียวกันกับความยาวคลื่นที่อิเล็กตรอนสั่นในอนุภาคนาโน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้เกิดการกำทอนขึ้น ทำให้เกิดการแทรกสอดของอิเล็กตรอนใน conduction band ขึ้น ซึ่งการแทรกสอดนี้เรียกว่า Surface Plasmon Resonance (SPR) ซึ่งเกิดภายใต้สเปคตรัมของแสงที่มองเห็นได้และแสงใกล้อินฟราเรด โดยการเปล่งแสงสีต่างๆ นี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาคนาโนของทองคำดังรูปที่ 2.2 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เช่น อนุภาคทองคำในรูปของแท่งนาโนจะสามารถดูดซับแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 800 - 1200 นาโนเมตร เป็นต้น

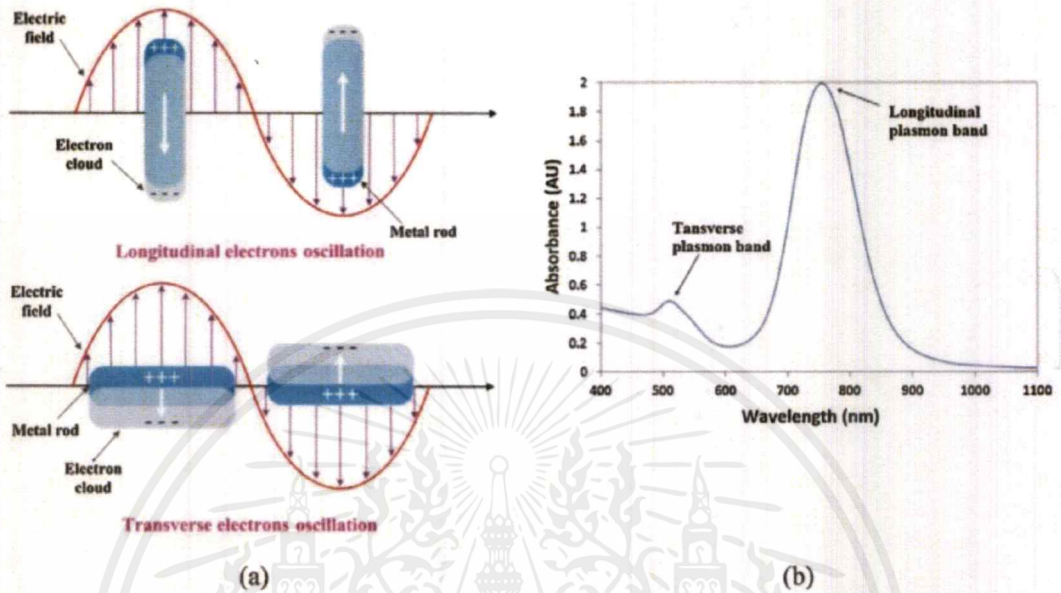


รูปที่ 2.2 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

เมื่อแสงตกกระทบบนที่โครงสร้างอนุภาคนาโนทองคำ อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปยังแถบเหนี่ยวนำและจะเกิดการสั่นพ้องกับแสงที่ตกกระทบบ จะทำให้เกิด surface plasmon resonance ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะสามารถถ่ายทอระหว่างรอยต่อของโลหะและไดอิเล็กทริก ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดอยู่บริเวณเปลือกชั้นนอกของอนุภาคนาโนทองคำ เพราะแสงจากภายนอกไม่สามารถส่องทะลุผ่านเข้าไปภายในวัสดุได้ โดยทั่วไปจึงเรียกปรากฏการณ์ นี้ว่า localized surface plasmon resonance (LSPR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

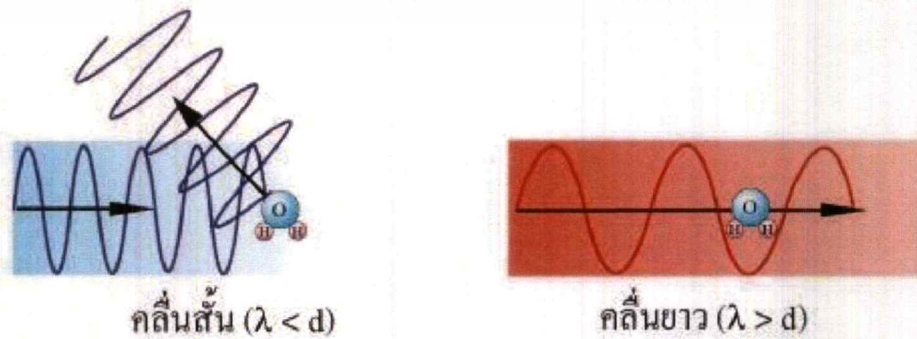
สำหรับอนุภาคนาโนที่อยู่นอกเหนือทรงกลมและลูกกลม รูปร่างของอนุภาคมีความสำคัญมาก ในการกำหนดสเปกตรัม LSPR อย่างการสูญเสียสเปกตรัมที่เกิดจาก nanorod มีอยู่สองจุด หนึ่งเกี่ยวข้องกับโหมด plasmon ตามขวางและอีกหนึ่งเกี่ยวข้องกับโหมด plasmon ตามยาว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพประกอบของการกระตุ้น LSPR สำหรับ spheroid prolate การแกว่งของอิเล็กตรอนที่ plasmon bands ตามยาวและตามขวางนั้นส่งผลให้ plasmonic spectra แตกต่างกัน

2.2 การกระเจิง (Scattering)

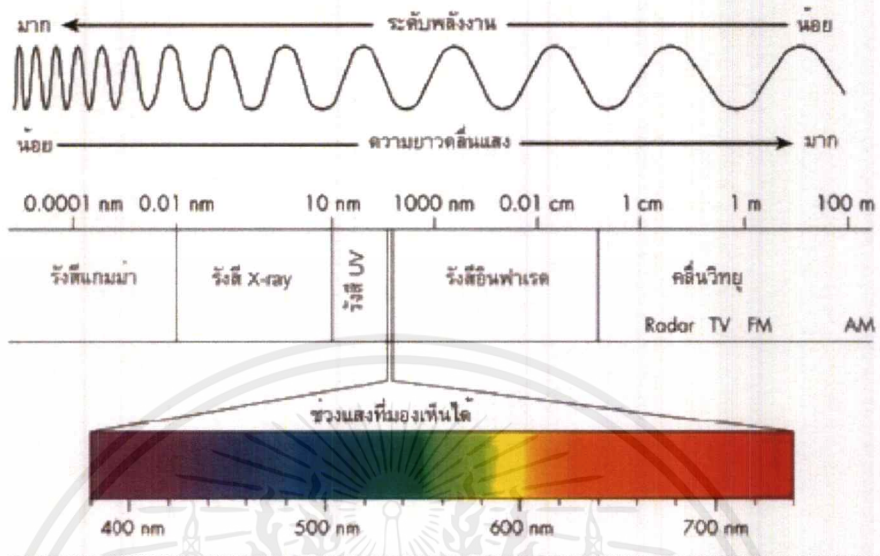
การกระเจิงของแสง (Scattering) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงไปตกกระทบกับอนุภาค ทำให้กระจายออกไปโดยรอบ หรือการที่คลื่นแสงเดินทางไปชนกับอนุภาคเล็กๆ ในอากาศ แล้วกระเด็นออกไปทุกทิศทาง



รูปที่ 2.4 คลื่นแสงเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงประกอบด้วยคลื่นแสง 7 สี ที่รวมกันเป็นสีขาว ได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง โดยที่ความยาวคลื่นจะต่างกันไป



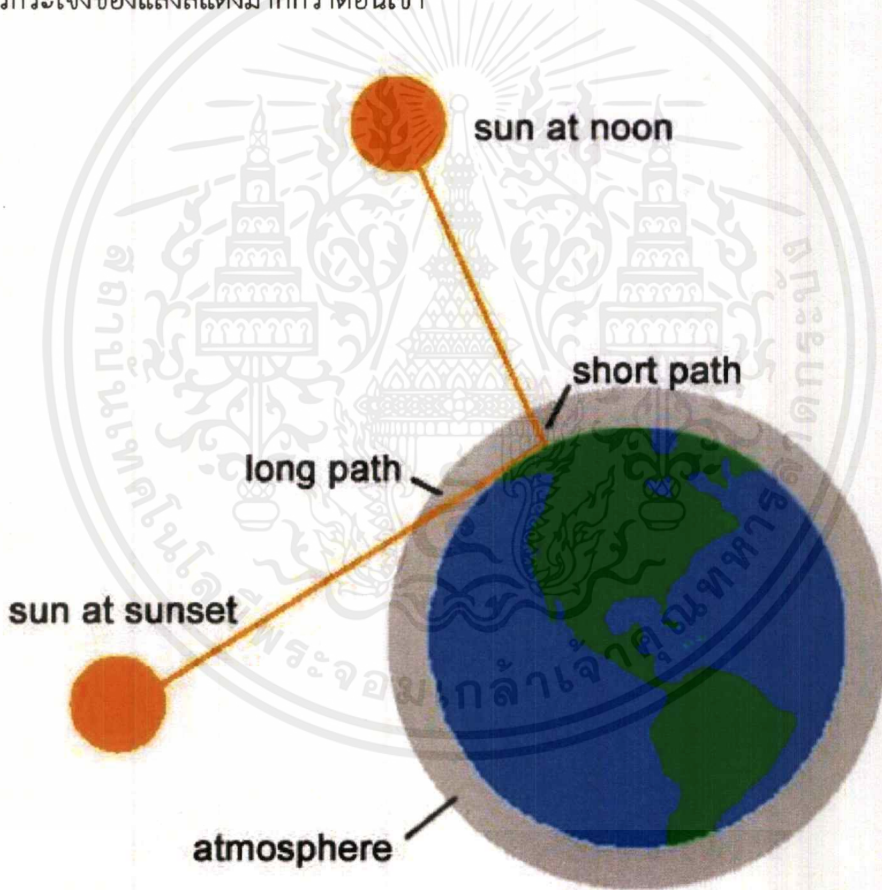
รูปที่ 2.5 สเปกตรัมของแสง

ซึ่งความยาวของคลื่นแสงแต่ละสีมีส่วนสัมพันธ์ต่อการกระเจิงของแสงโดย แสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะกระเจิงมาก ได้แก่ แสงสีม่วง คราม น้ำเงิน ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมาก เหลือง แสด แดง จะกระเจิงน้อย

การกระเจิงของแสงในชีวิตประจำวัน สีของท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ตอนกลางวันท้องฟ้าเป็นสีฟ้า ส่วนตอนเช้าและตอนเย็นท้องฟ้าเป็นสีส้มแดง ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเพราะ การกระเจิงของแสง

เวลากลางวันแสงอาทิตย์ทำมุมชันกับพื้นโลก แสงเดินทางผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางสั้น อุปสรรคที่กีดขวางมีน้อย แสงสีม่วง คราม และน้ำเงิน มีขนาดของคลื่นเล็กกว่าโมเลกุลของอากาศ จึงกระเจิงไปบนท้องฟ้าทุกทิศทาง เราจึงมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้า และเห็นดวงอาทิตย์เป็นสีขาว เนื่องจากแสงทุกสีรวมกันมีความเข้มสูงมาก ในบริเวณที่มีมลภาวะทางอากาศน้อย เช่น ริมหาดหรือในชนบท หรือในฤดูหนาวซึ่งมีความกดอากาศสูงทำให้ฝุ่นลอยขึ้นไปไม่ได้ เราจะเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงินเข้ม ส่วนในบริเวณที่มีมลภาวะทางอากาศสูง หรือในฤดูร้อนซึ่งอากาศร้อนยกตัวพาให้สารแขวนลอยขึ้นไปลอยอยู่ในอากาศ คลื่นแสงสีเขียวและคลื่นแสงสีเหลืองจะกระเจิงด้วย เราจึงมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้าอ่อน

เวลารุ่งเช้าและพลบค่ำ แสงอาทิตย์ทำมุมลาดขนานกับพื้นโลก แสงเดินทางผ่านมวลอากาศเป็นระยะทางยาว อุปสรรคที่ขวางกั้นมีมาก แสงสีม่วง คราม และน้ำเงิน มีความยาวคลื่นสั้นไม่สามารถเดินทางผ่านโมเลกุลอากาศไปได้ จึงกระเจิงไปทั่วท้องฟ้า แต่แสงสีเหลือง ส้ม และแดง มีความยาวคลื่นมาก สามารถทะลุผ่านโมเลกุลของอากาศไปได้ ทำให้เรามองเห็นดวงอาทิตย์เป็นสีส้ม และมองเห็นท้องฟ้าในบริเวณทิศตะวันตกเป็นสีเหลืองส้ม ถ้าวันใดมีอากาศร้อน ทำให้มีฝุ่นมากเป็นพิเศษ ดวงอาทิตย์จะมีสีแดง แต่ถ้าวันใดมีฝุ่นน้อยดวงอาทิตย์ก็จะเป็นสีเหลือง แต่ถ้าเย็นวันใดฟ้าใสไม่มีฝุ่นเลย เราก็จะมองเห็นดวงอาทิตย์เป็นสีสว่างจนแทบตาเช่นเวลากลางวัน ทั้งนี้เนื่องจากแสงทุกสีมีความเข้มสูง จึงมองเห็นรวมกันเป็นสีขาว ท้องฟ้ายามเย็นมักสีออกแดงกว่าเวลาเช้า เนื่องจากในตอนบ่ายอากาศมีอุณหภูมิสูงมาก ทำให้ฝุ่นละอองเกิดการยกตัวได้มากกว่าตอนเช้า ประกอบกับในตอนเช้าฝุ่นละอองในอากาศถูกชะล้างด้วยน้ำค้างตอนรุ่งสาง ดังนั้นตอนเย็นจึงมักมีการกระเจิงของแสงสีแดงมากกว่าตอนเช้า



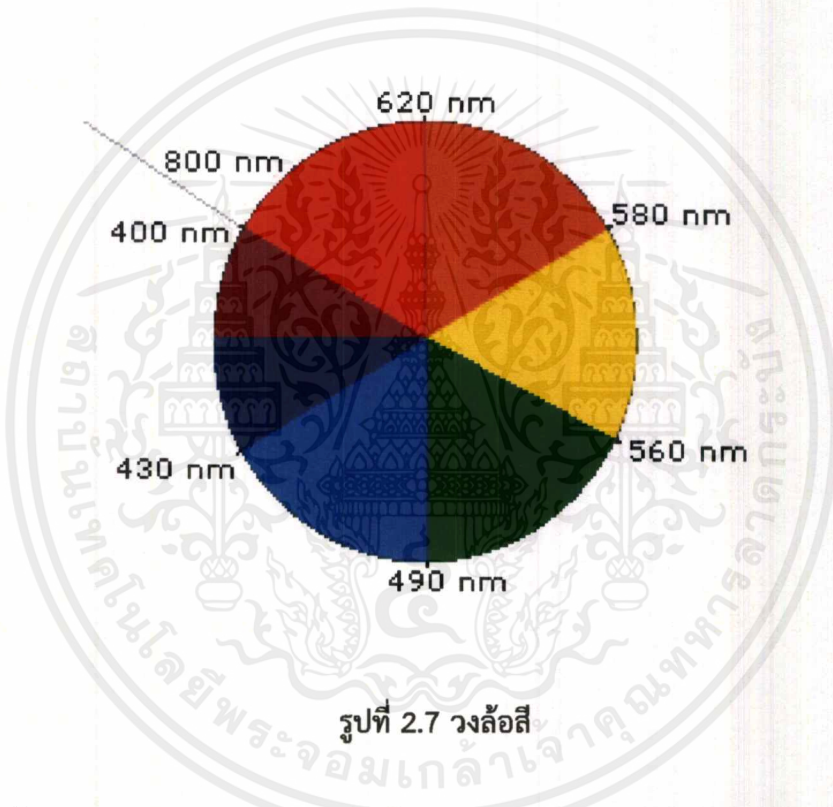
รูปที่ 2.6 รูปแบบเส้นการเดินทางของแสงในตอนเช้าและเย็น

2.3 การดูดกลืน (Absorption)

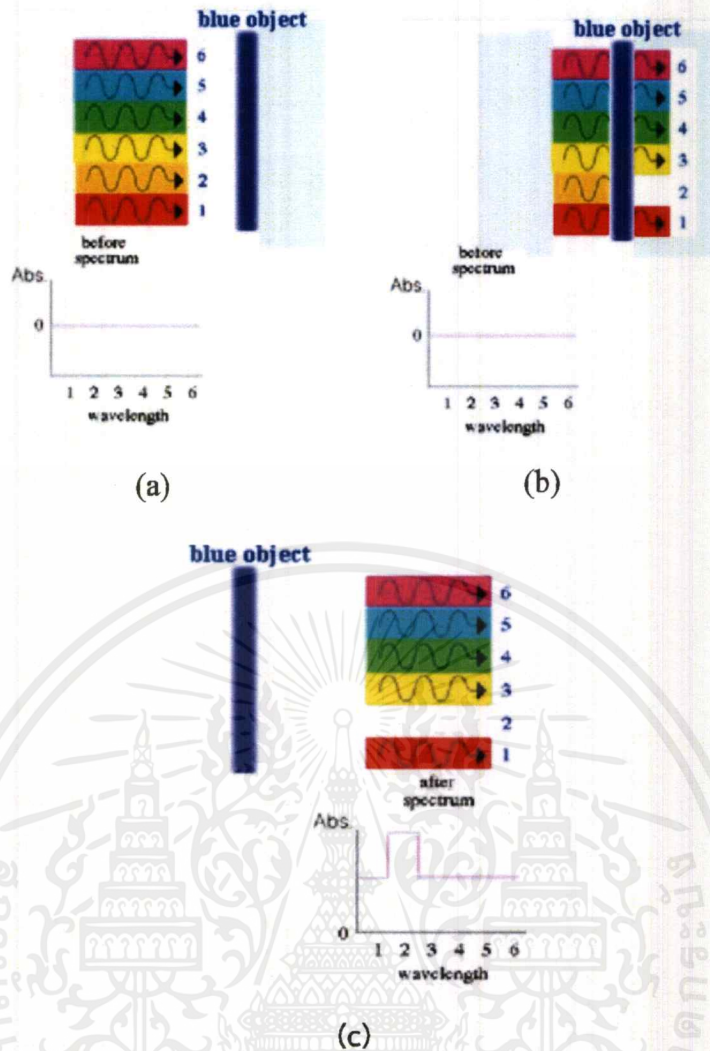
การที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางโดยทั่วไปเมื่อมีพลังงานแสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในวัตถุใด ๆ เช่น เต้าอบพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องต้มน้ำพลังงานแสง และยังนำคุณสมบัติของการดูดกลืนแสงมาใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การเลือกสวมใส่เสื้อผ้าสีขาวจะดูดแสงน้อยกว่าสีดำ จะเห็นได้ว่าเวลาใส่เสื้อผ้าสีดำ อยู่กลางแจ้งจะทำให้ร้อนมากกว่าสีขาว

เมื่อแสงขาวผ่านทะลุวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นอาจดูดกลืนแสงบางส่วนหรือดูดกลืนทั้งหมดหรือไม่ดูดกลืนเลย ถ้าสารดูดกลืนแสงทั้งหมดเราจะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีดำ แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่ดูดกลืนแสงเลย เราจะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีขาว แต่ถ้าดูดกลืนแสงบางส่วนจะเห็นสีที่เป็นสีตรงข้ามตามวงล้อสีดังรูปที่

2.7



ดังนั้นจากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าวัตถุสีน้ำเงินจะดูดกลืนแสงสีส้มถ้าเขียนกราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสง โดยเขียนกราฟระหว่างความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืน (absorbance) จะเห็นว่าบริเวณช่วงคลื่นของแสงสีส้มจะเกิดสัญญาณหรือพีคการดูดกลืนขึ้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะการดูดกลืนแสงของสารและการเกิดฟิสิก

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิวัฒน์ ชมภูสอ ได้สนใจศึกษารวบรวมวิธีการสังเคราะห์โครงสร้างระดับนาโนของทองที่มีรูปร่าง แบบต่างๆ ได้แก่ แบบทรงกลม แบบแท่ง แบบเปลือก และแบบกรง โดยคุณสมบัติทางแสงที่เรียกว่าเซอ์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ ของทองสามารถปรับเปลี่ยนจากความยาวคลื่นช่วงที่ตามองเห็น ไปเป็นความยาวคลื่นใน ย่านอินฟราเรดช่วงสั้นได้ โดยการควบคุมขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของทอง และการนำโครงสร้างระดับนาโนของทองไปประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง คือการรักษาด้วยความร้อน และการนำส่งยา เมื่อแสงตกกระทบที่โครงสร้างระดับนาโนของทอง อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปยังแถบเหนี่ยวนำ และจะเกิดการสั่นพ้องกับแสงที่มาจากกระทบ แสงที่ตกกระทบที่พื้นผิวของ วัสดุจะทำอันตรกิริยากับวัสดุสองแบบคือ การดูดกลืน และการกระเจิง โดยแสงที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดการสั่นภายในผลึกของ วัสดุนาโนและจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเซลล์มะเร็งด้วยความร้อนได้ ขณะที่แสงที่เกิดการกระเจิงซึ่งจะมีความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นเท่ากับแสงที่ตกกระทบจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสร้างภาพฉายได้ ซึ่งการสังเคราะห์อนุภาค ระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบต่าง ๆ กันคือ รูปร่างแบบกลม รูปร่างแบบแท่ง รูปร่างแบบเปลือกและรูปร่างแบบกรง โดยโครงสร้างระดับนาโนที่มีรูปร่างต่างกัน จะมีค่า SPR ที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดสั้น ซึ่งช่วงความยาวคลื่นนี้สามารถส่องทะลุเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกๆได้ และไม่อันตรายต่อเซลล์ โดยโครงสร้างทางนาโนของทอง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งได้ทั้ง แบบการรักษาด้วยความร้อนและการนำส่งยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดกลืนแสงของ hybrid microgels ที่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปมาได้ โดยในงานวิจัยนี้ต้องการอาศัยคุณสมบัติของพลาสมาโพลิเมอร์นาโนพาทิเคิล มาประยุกต์ทำตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งอนุภาคนาโนพลาสมาโพลิเมอร์ คือ อนุภาคนาโนที่เป็นโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้าของแสงที่เข้ามาได้ โดยสร้างโครงสร้างเป็นไฮบริดไมโครเจลร่วมกับพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมิ ในงานวิจัยนี้ถ้าหากใช้วิธีการทางฟิสิกส์การสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่มีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน จะมีค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำที่สูงและยาก เนื่องจากเครื่องมือในการสังเคราะห์มีราคาแพง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการทางเคมีในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำ และนำไปศึกษาคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคต่างๆที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อสามารถสร้างต้นแบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิอย่างง่าย โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

3.1.1. UV/VIS Spectrophotometer

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสม จะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสง ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระดับชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ของบริษัท Agilent Technologies รุ่น Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer (UMS)



รูปที่ 3.1 เครื่องUV/VIS Spectrophotometer

3.1.2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

เป็นเครื่องมือใช้แยกตัวอย่างของเหลวออกจากของแข็งอนุภาคขนาดเล็กหรือใช้เพื่อแยกของเหลวหลายๆชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันให้เกิดการแยกชั้น โดยอาศัยหลักการเร่งให้อนุภาคตกตะกอนเร็วขึ้น ภายใต้สนามของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แรงนอนกันของอนุภาคจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงหนีศูนย์กลาง ทำให้อนุภาคนอนกันด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ภายใต้สนามแรงหนีศูนย์กลางอนุภาคจะตกตะกอนด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน การปั่นแยกตะกอน จึงต้องใช้เวลาานพอเพียงที่อนุภาคขนาดเล็กจะนอนกันหมด จะแบ่งเป็น2ส่วน คือ ส่วน ตะกอน (pellet) และส่วนของเหลว (supernatal)

เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อนำไปใช้แยกสารหรืออนุภาค โดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่น ขนาดของสารหรืออนุภาคนั้นๆ โดยทั่วไปเครื่องหมุนเหวี่ยงมักใช้ในกระบวนการเตรียมตัวอย่าง และใช้ปั่นแยกสารสำหรับวิเคราะห์ มักจะใช้แยกตัวอย่างส่วนที่เป็นของแข็งออกจากตัวอย่างส่วนของเหลว หรือใช้เพื่อแยกของเหลวหลายๆชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันให้เกิดการแยกชั้น สำหรับการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงนั้นก่อนใช้ควรทำการศึกษาจากคู่มือ และผู้เชี่ยวชาญก่อน เพื่อลดความผิดพลาดและเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งาน

การแยกสารด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงต้องมีการกำหนดเวลา และแรงหนีศูนย์กลางสำหรับงานนั้นๆ เสมอ ซึ่งในบางครั้งจะพบว่า มีการกำหนดเป็นค่าความเร็วรอบของการหมุนโรเตอร์ ซึ่งอาจเกิดปัญหากับการใช้งานในกรณีที่ต้องการความถูกต้องของแรงหนีศูนย์กลาง แรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ (relative centrifugal force) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับรัศมีการหมุนไม่เท่ากัน ดังนั้นการกำหนดวิธีการแยกสารด้วยค่าความเร็วรอบจึงไม่ใช่วิธีการที่เป็นมาตรฐาน ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตจึงมักจะเตรียมตารางเทียบค่าทั้งสองที่ใช้กับโรเตอร์แต่ละชนิดของผู้ผลิตไว้แล้ว หรือผู้ใช้สามารถทำการคำนวณได้เอง โดยการใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$RCF = 1.12r (RPM/1000)^2 \text{ หรือ}$$

$$RPM = 103(RCF/1.12r)^{0.5}$$

$$RCF = \text{แรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ หน่วยเป็น } xg$$

$$r = \text{รัศมีแกนหมุน หน่วยเป็น มิลลิเมตร}$$

$$RPM = \text{อัตราความเร็วรอบ หน่วยเป็น รอบ/นาที (round per minute)}$$



รูปที่ 3.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

3.1.3 เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Hotplate and Stirrer)

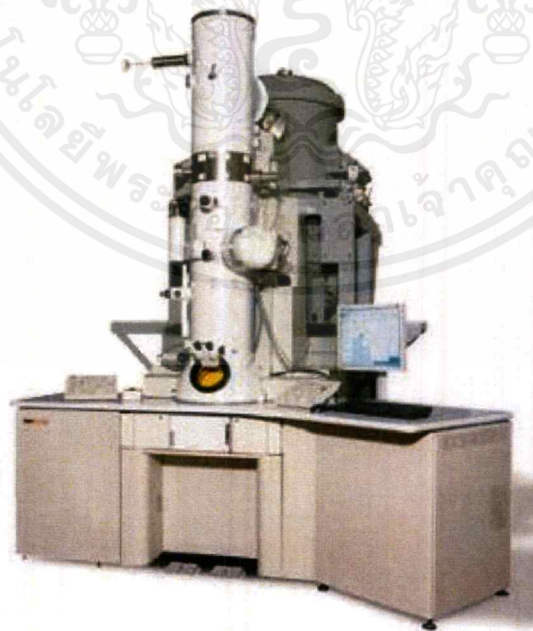
เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน เป็นอุปกรณ์คนสาร ปั่นสาร ผสมสาร ใช้ในห้องแล็บ เคมี หรือในงานผลิตขนาดเล็ก มีหลายแบบทั้งแบบแม่เหล็ก และแบบแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อนแบบมีก้านกวน



รูปที่ 3.3 เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Hotplate and Stirrer)

3.1.4 Transmission electron microscope (TEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบางดังรูปที่ 3.4 เครื่อง transmission electron microscope (TEM) ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)



รูปที่ 3.4 เครื่อง transmission electron microscope (TEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของเครื่อง TEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอร์รับ (projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่อง TEM-2100PLUS

3.1.4 Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

เป็นเครื่องมือที่ใช้เทคนิคทางแสงในการตรวจวัด มีความแม่นยำกว่าเทคนิคการกระเจิงแสงแบบพลวัต (dynamic light scattering) และใช้ตัวอย่างในการตรวจวัดน้อยในระดับไมโครลิตร สามารถใช้วัด อนุภาคนาโนที่มีสมบัติกระเจิงแสงได้ (light scattering) เครื่องนี้วัดขนาดอนุภาคนาโนโดยการติดตาม การเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) คือ การเคลื่อนที่ของอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยในของไหล เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทางแน่นอนของอนุภาคที่เป็นทรงกลมด้วยกล้องซีซีดีความไวสูง โดยจะบันทึกวิถีของแสงที่กระเจิงจากอนุภาคเป็นเวลา 1 นาทีจากนั้นซอฟต์แวร์จะคำนวณว่าอนุภาคมีทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่อย่างไร และแปลผลเป็นขนาดของอนุภาคและจำนวนของอนุภาคในหน่วยอนุภาคต่อหน่วยปริมาตร สามารถใช้ติดตามความหนาของชั้นเคลือบผิวบนอนุภาคนาโนหลังจากเคลือบผิวได้อีกด้วย



รูปที่ 3.5 เครื่อง Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

- 1 Tetraethyl Orthosilicate (TEOS)
- 2 Ammonium hydroxide solution (NH₄OH)
- 3 Ethanol
- 4 Gold nano particle (GNP)
- 5 N-isopropylacrylamide (NIPAM)
- 6 BAA
- 7 Ammonium persulfate
- 8 Ethylenediamine
- 10 Hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB)
- 11 Precursor Au³⁺
- 12 L-ascorbic acid (Vitamin C)
- 13 Sodium borohydride
- 14 Silver nitrate

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 Gold nanoparticle (GNP)

การสังเคราะห์ Gold nanoparticle เตรียม precursor เป็น Au³⁺ สารละลายสีเหลืองดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นอนุภาคนาโนทองคำที่ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำเองได้



รูปที่ 3.6 Precursor Au³⁺

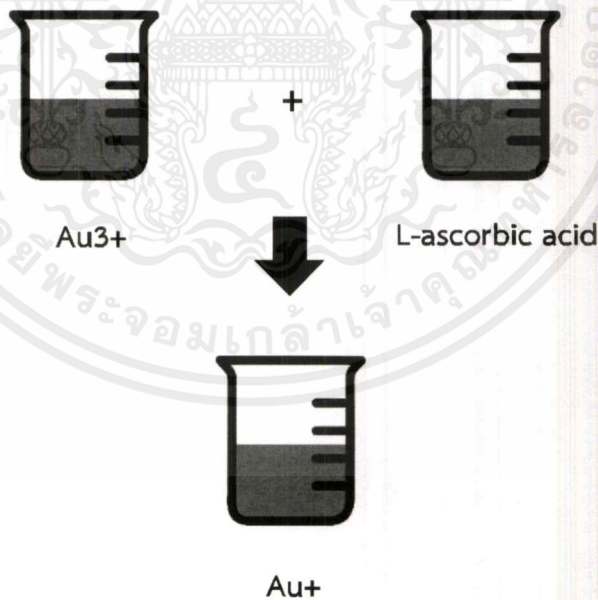
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงทำการใส่ Surfactant คือ CTAB ในน้ำ 100 ml ลงไปใน Au^{3+} (รูปที่ 3.7) เพื่อให้ CTAB เป็นตัวไปห่อหุ้มอนุภาคนาโนทองคำให้สามารถลอยอยู่ในน้ำได้ ซึ่งโดยปกติ Surfactant CTAB จะสร้างตัวเป็นทรงกลม ดังนั้นจึงทำให้อนุภาคนาโนทองคำที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็นทรงกลม (Gold nanoparticles)



รูปที่ 3.7 ใส่ Surfactant CTAB ในน้ำ 100 ml ลงไปใน Au^{3+}

หลังจากนั้นใส่ L-ascorbic acid (Vitamin C) หรือเรียกว่าตัวจ่ายอิเล็กตรอนอย่างอ่อนเพิ่ม ลงไปใน Au^{3+} ที่มีอนุภาคนาโนทองคำที่สามารถลอยในน้ำได้แล้ว ทำให้จาก Au^{3+} กลายเป็น Au^+ ดังรูปที่ 3.8

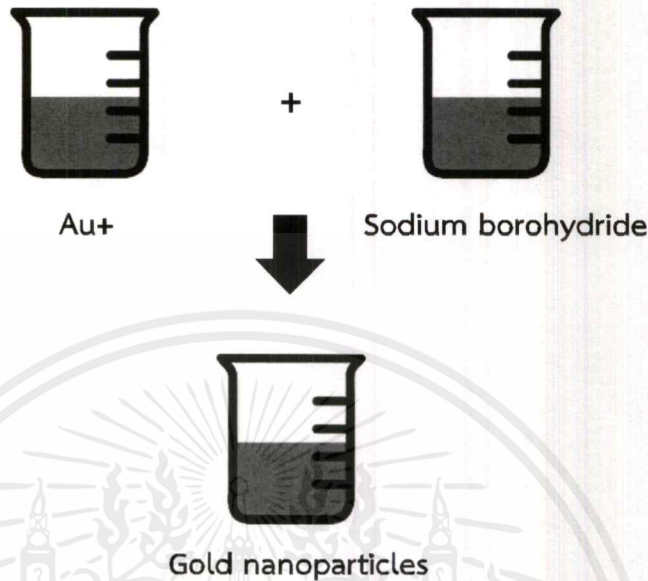


รูปที่ 3.8 เมื่อใส่ตัวจ่ายอิเล็กตรอนอย่างอ่อนลงไปใน Au^{3+} จะทำให้กลายเป็น Au^+

แต่เนื่องจากเราต้องการ Au จึงใส่ Seed ตัวเล็กมากๆที่มี Sodium borohydrides (ตัวจ่ายอิเล็กตรอนอย่างเข้ม) ติดอยู่ด้วยลงไปเพิ่ม โดยต้องสารละลาย Sodium borohydrides ในน้ำเย็น

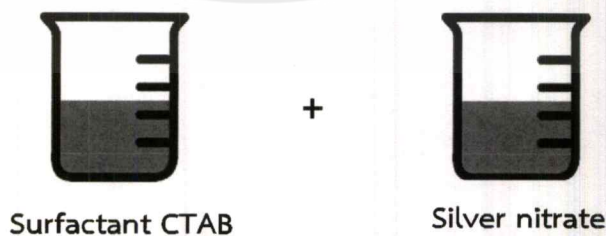
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วค่อยใส่ลงไป Au^+ จึงทำให้จาก Au^+ กลายเป็น Au เกาะกันเป็นผลึกรวมกันดังรูปที่ 3.9 นั้น หมายความว่า seed ที่ใส่เข้าไปก็เป็นเหมือน template ให้อนุภาคนาโนทองคำเกาะให้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามแต่ปริมาณที่ใส่เข้าไป



รูปที่ 3.9 ใส่ Seed ตัวเล็กมากๆที่มี Sodium borohydride ติดอยู่ด้วยลงไปเพิ่ม จึงทำให้จาก Au^+ กลายเป็น Au

วิธีดังกล่าวเป็นการสังเคราะห์ Gold nanoparticles นอกจากนี้ถ้าหากต้องการสังเคราะห์ Gold nanorods สามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกันกับ Gold nanoparticles เพียงแต่ต้องใส่ Silver nitrate ปริมาณเล็กน้อยลงไปเพิ่มใน Surfactant CTAB ในน้ำ 100 ml ดังรูปที่ 3.10 ก่อนที่จะนำไปใส่ใน Au^{3+} เพื่อให้ CTAB สร้างตัวเป็นทรงยาว ดังนั้นจึงทำให้อนุภาคนาโนทองคำที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็นแบบแท่ง (Gold nanorods)



รูปที่ 3.10 ใส่ Silver nitrate ปริมาณเล็กน้อยลงไปเพิ่มใน Surfactant CTAB ในน้ำ 100 ml

3.3.2 Coat Silica – Gold nanoshells

การเตรียมสารในงานวิจัยจะทำการเตรียม Ammonium hydroxide solution (NH₄OH) จาก 30 % ให้เหลือเพียง 10 % และเตรียม TEOS ethanol solution

ในการเตรียม Ammonium hydroxide solution (NH₄OH) 10 % ทำได้โดยวิธีการ dilute สาร คือการทำสารละลายเข้มข้นให้เจือจางลงจำนวนโมลตัวละลายก่อนและหลังการทำให้เจือจางจะมีค่าเท่าเดิมจากสมการ

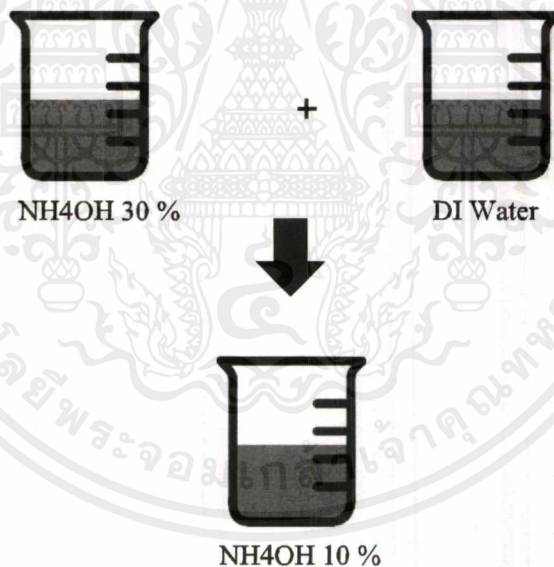
$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (3.1)$$

เมื่อ C_1 - ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง (mol/dm³)

C_2 - ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง (mol/dm³)

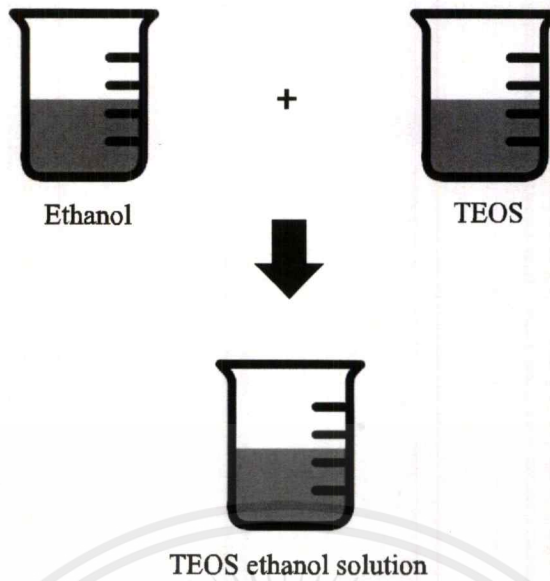
V_1 - ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง (dm³)

V_2 - ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง (dm³)



รูปที่ 3.11 การเตรียม NH₄OH 10 %

การเตรียม TEOS ethanol solution ทำได้โดยใช้สมการเช่นเดียวกันกับการเตรียม Ammonium hydroxide solution (NH₄OH) 10 %



รูปที่ 3.12 การเตรียม TEOS ethanol solution

นำ Gold nanoparticles แยกใส่หลอดทดลองหลอดละ 1 ml เป็นจำนวน 11 หลอด จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง Centrifuge โดยใช้อัตราเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 15 นาทีรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่อง Centrifuge ใช้อัตราเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นจึงนำ supernatant ออก เหลือไว้เพียง pellet แล้วทำการเติม DI water ลงไป 0.5 ml แล้วนำ GNP ทั้ง 10 หลอดมารวมกัน จะได้ GNP 5 ml ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Gold nanoparticles ทั้ง 10 หลอดมารวมกัน จะได้ Gold nanoparticles 5 ml

นำกระดาษ Litmus มาวัดค่า pH ของ GNP หากไม่เป็น pH10 จะทำการปรับค่า pH โดยใช้ Ammonium hydroxide solution (NH₄OH) 10 % ที่เตรียมไว้หยดทีละ 2 ul ต่อ 1 หยด จนได้ GNP ที่มีค่า pH10

หลังจากได้ Gold nanoparticles ที่มีค่า pH10 เราจะนำไปกวนสารที่เครื่องกวนสาร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทุกๆ 5 นาที จะทำการหยด TEOS ethanol solution ที่เตรียมไว้ 28 ul หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้สารเกิดปฏิกิริยา แล้วจึงนำไปวัดค่าที่เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer และ TEM

3.3.3 Microgels PNIPAM

ในการสังเคราะห์ microgels PNIPAM ที่เป็นพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมิสารในกระบวนการนี้มีบางสารที่มีกลิ่นรุนแรงและบางสารมีการระเหยรวดเร็วมาก จึงต้องระมัดระวังในการทำการทดลองเป็นอย่างมาก

โดยจะทำการเตรียมสารในขวด ขวดที่ 1 รูปที่ 3.15 เตรียมสาร PNIPAM กับ BAA ใน DI water 15 ml



รูปที่ 3.15 ขวดที่ 1 สาร NIPAM กับ BAA ใน DI water

ส่วนขวดที่ 2 รูปที่ 3.16 ใส่ Ammonium persulfate ใน DI water 2 ml



รูปที่ 3.16 ขวดที่ 2 Ammonium persulfate ใน DI water

และขวดที่ 3 ใส่ Ethylenediamine ใน DI water 2 ml

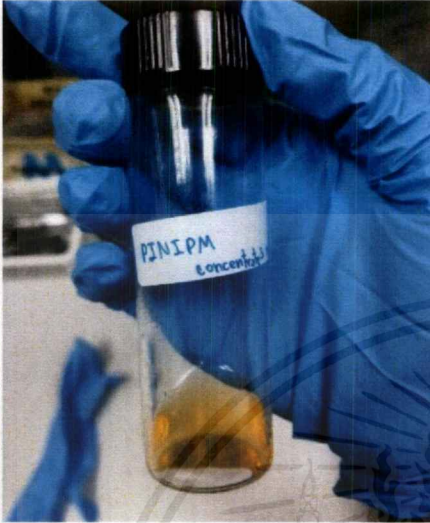


รูปที่ 3.17 ขวดที่ 3 Ethylenediamine ใน DI water

ทำการผสมกันขวดที่ 1,2 และ 3 ด้วยกัน และทิ้งไว้บน magnetic stimulate หลังจากนั้นจึงนำ microgels PNIPAM ที่สังเคราะห์ได้ไปดูอนุภาคนาโนด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer, Nanoparticle Tracking Analyzer และเครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) เพื่อดูคุณสมบัติทางแสง ขนาด และอนุภาคนาโน

3.3.4 Coat microgels PNIPAM

การทำ Microgels – Gold nanoshells ทำได้โดยอย่างแรกต้องทำ Microgels PNIPAM ให้เข้มข้นเป็น 3 เท่าจากปกติดังรูปที่ 3.18 แล้วจึงใส่ลงไปใน GNP ในปริมาณที่เหมาะสมดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 Microgels PNIPAM
เข้มข้นเป็น 3 เท่า

รูปที่ 3.19 ใส่ microgels PNIPAM ที่ concentrate
แล้ว 3 เท่า ลงใน gold nanoparticles

เพราะถ้าหากมากเกินไป GNP จะเกิดการ aggregate มากจนตกตะกอน ไม่สามารถนำมาใช้
การได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 Gold nanoparticles เกิดการรวมตัวกันจนตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

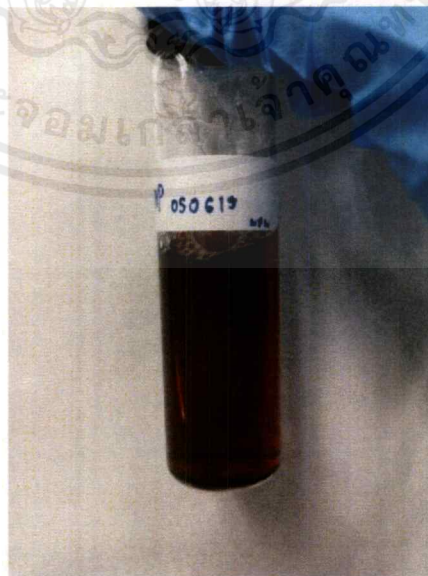
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการศึกษาการดูดกลืนแสงของ hybrid microgels ที่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปมาได้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อนุภาคนาโนพลาสมอนิก คือ อนุภาคนาโนที่เป็นโลหะ มีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้าของแสงที่เข้ามาได้ ซึ่งอนุภาคนาโนทองคำเป็นอนุภาคนาโนพลาสมอนิกที่ได้เลือกมาใช้ในการศึกษาและดูขนาดของอนุภาคนาโนที่เป็นไป โดยสร้างโครงสร้างเป็นไฮบริดไมโครเจลร่วมกับพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมิ ซึ่งจากการดำเนินงานวิจัยได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนที่มีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน และได้สังเคราะห์อนุภาค hybrid microgels ที่มีคุณสมบัติทางแสงเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จากนั้นนำอนุภาคนาโนทองคำมา coat silica และ coat microgels โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer , Transmission Electron Microscope (TEM) และ Nanoparticle tracking Analysis ในการศึกษาอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งพบว่าผลการเปลี่ยนแปลงที่ได้เป็นดังนี้

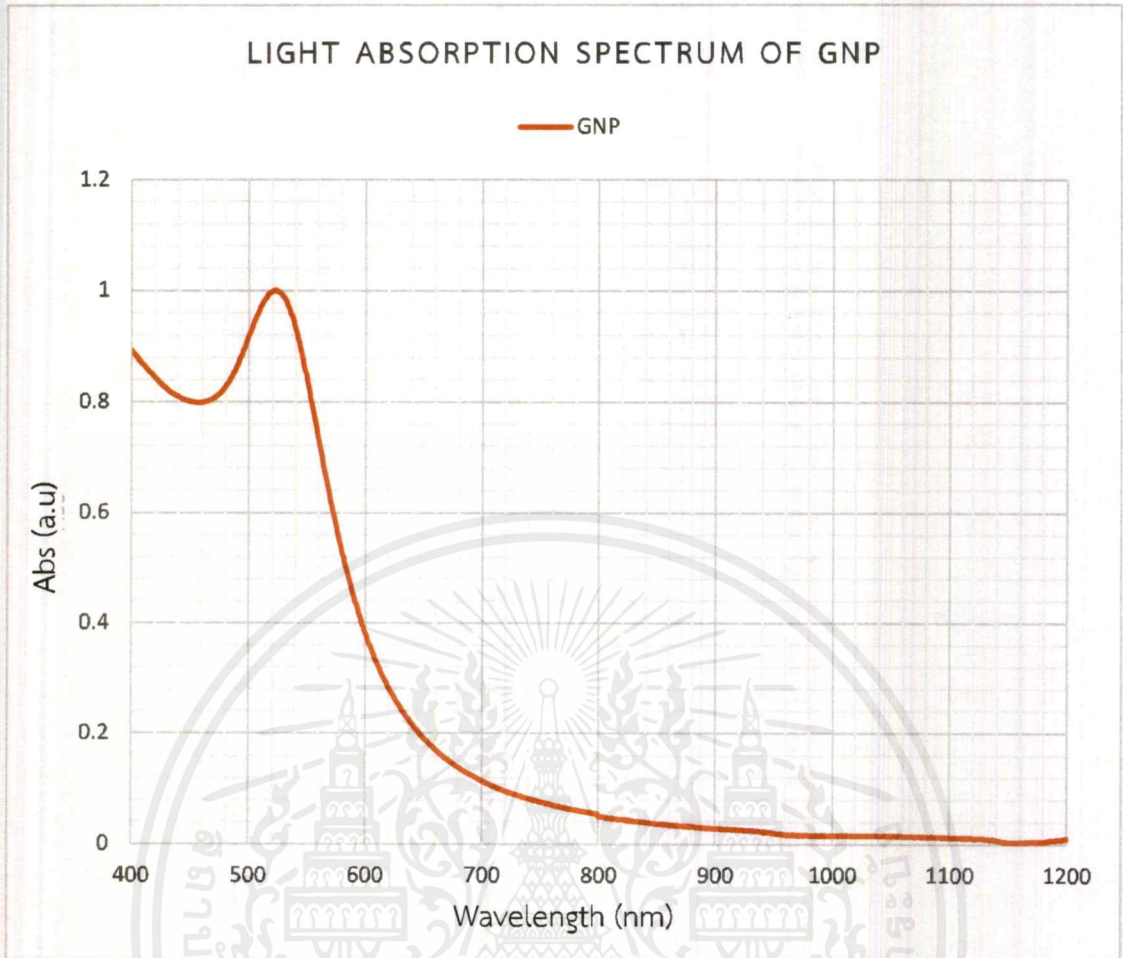
4.1 การสังเคราะห์ Gold nanoparticles

ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำที่มีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอนุภาคนาโนทองคำทรงกลม และอนุภาคนาโนทองคำแบบแท่ง ซึ่งจากการสังเคราะห์พบว่าอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมเมื่อสังเคราะห์ออกมาแล้วจะมีสีแดง ส่วนอนุภาคนาโนทองคำแบบแท่งเมื่อสังเคราะห์ออกมาแล้วจะมีสีม่วง



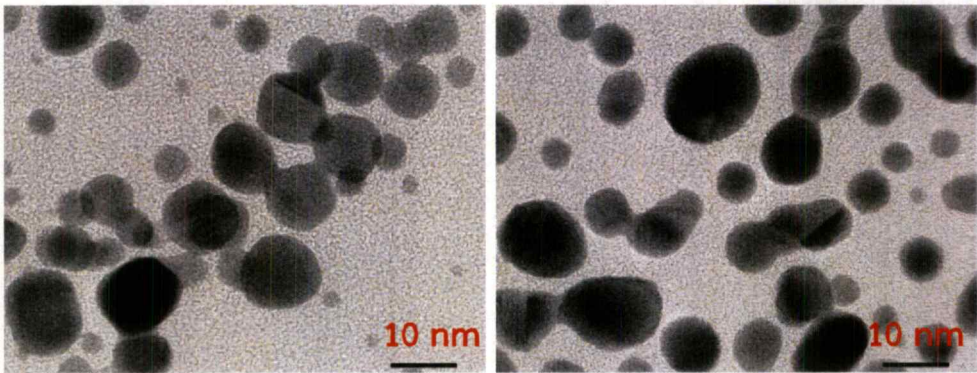
รูปที่ 4.1 อนุภาคนาโนทองคำทรงกลมที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมที่สังเคราะห์ได้

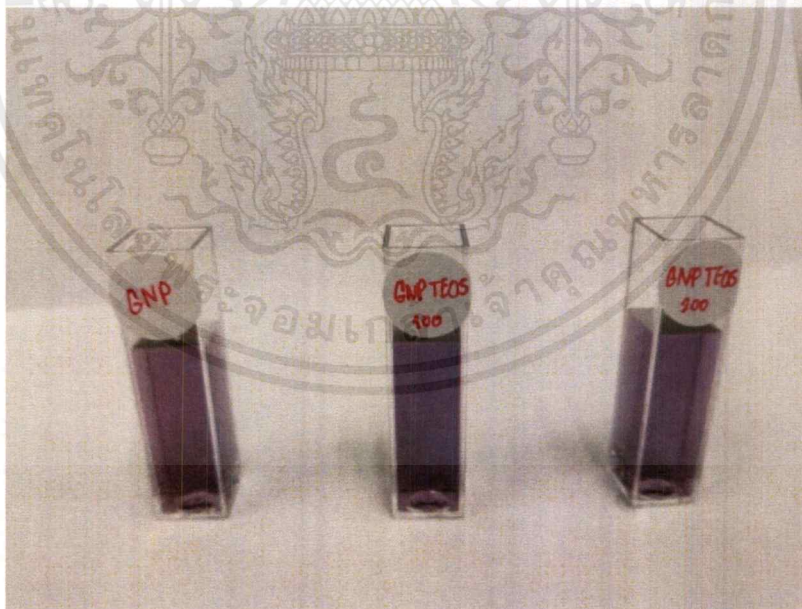
อนุภาคนาโนทองคำจากรูปที่ 4.1 จะมีสีต่างจากทองคำปกติ เมื่อนำไปวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.2 จากกราฟอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมจะมีค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 523 nm และเมื่อนำไปตรวจดูด้วยเครื่อง TEM จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของอนุภาคนาโนที่ได้สังเคราะห์มาดังรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าอนุภาคมีลักษณะทรงกลม



รูปที่ 4.3 ภาพอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมจากเครื่อง TEM

4.2 การ coat Silica – Gold nanoshells

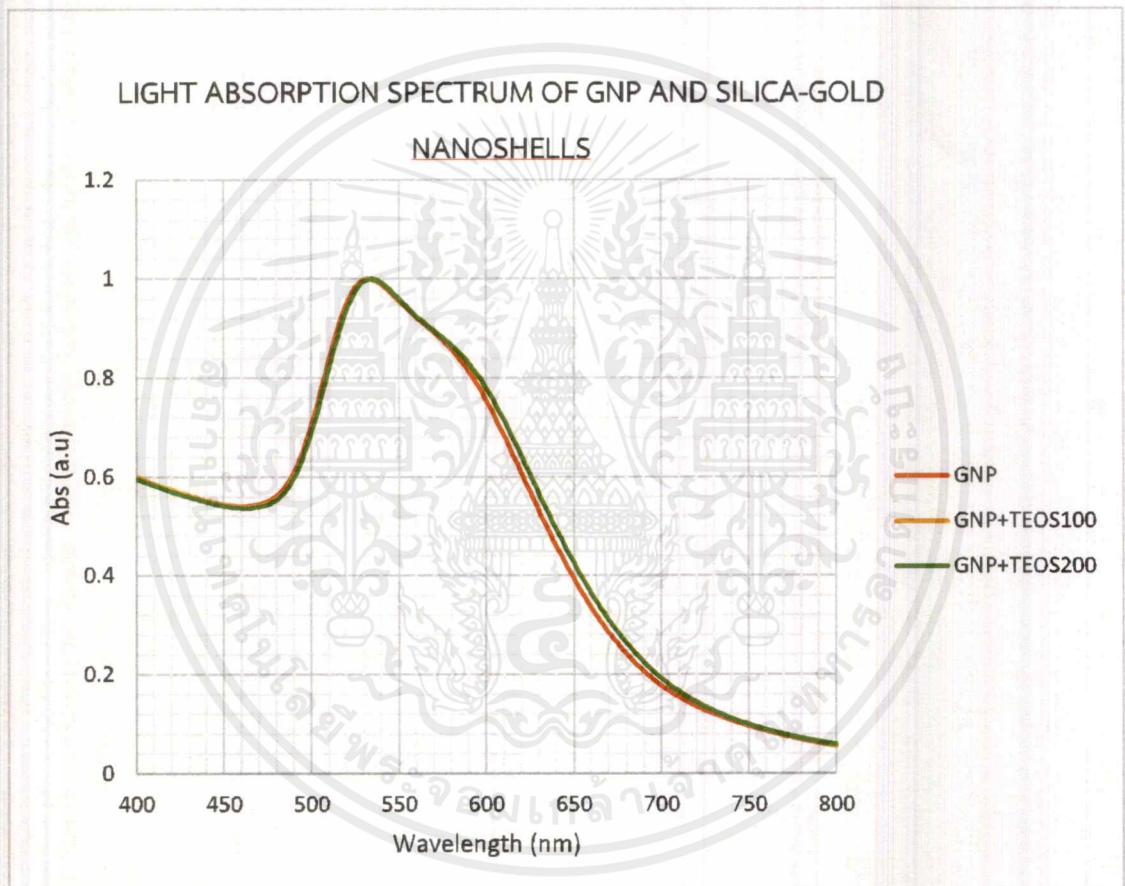
ในการ coat Silica – Gold nanoshells เป็นการนำอนุภาคนาโนทองคำแบบทรงกระบอกแบบแท่งสั้นมา coat ที่ความเข้มข้นของ TEOS ต่างกัน แล้วนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างกับอนุภาคนาโนแบบแท่งปกติก่อนที่จะ coat silica พบว่าสีที่สังเกตได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากนักดังรูปที่ 4.4



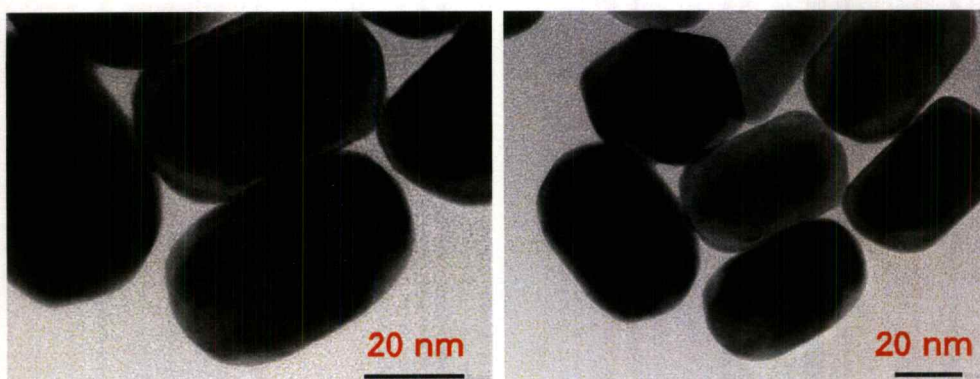
รูปที่ 4.4 Gold nanorods และ Silica – Gold nanoshells ที่ความเข้มข้นของ TEOS แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

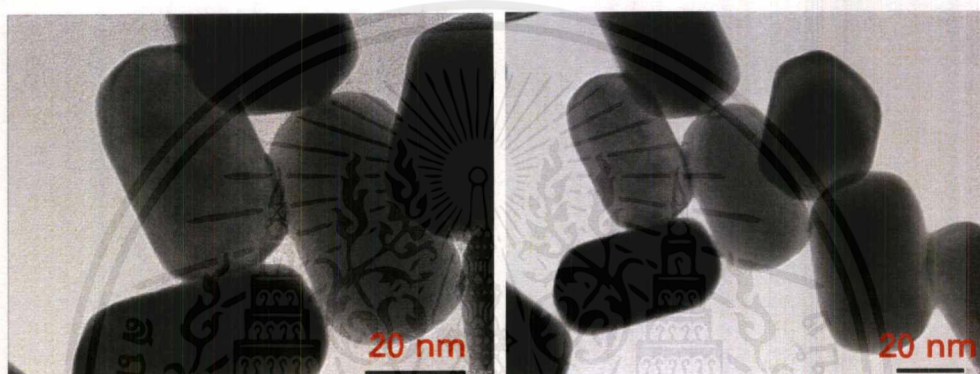
เมื่อนำ Silica – Gold nanoshells ที่ได้ไปวัดคุณสมบัติการดูดกลืนแสง พบความแตกต่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงแสดงดังรูปที่ 4.5 จากกราฟอนุภาคนาโนทองคำจะมีค่าสเปกตรัมอยู่ที่ 532 nm ส่วน GNP+TEOS100 และ GNP+TEOS200 จะมีค่าสเปกตรัมอยู่ที่ 534 nm เท่ากัน จะเห็นได้ว่าค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Silica – Gold nanoshells ที่มีความเข้มข้น TEOS แตกต่างกันแต่กลับมามีค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเท่ากัน นั้นหมายความว่าความเข้มข้นของ TEOS มีผลต่อขนาดของ Silica – Gold nanoshells เพียงเล็กน้อยจนไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer หรืออาจไม่มีผลเลย



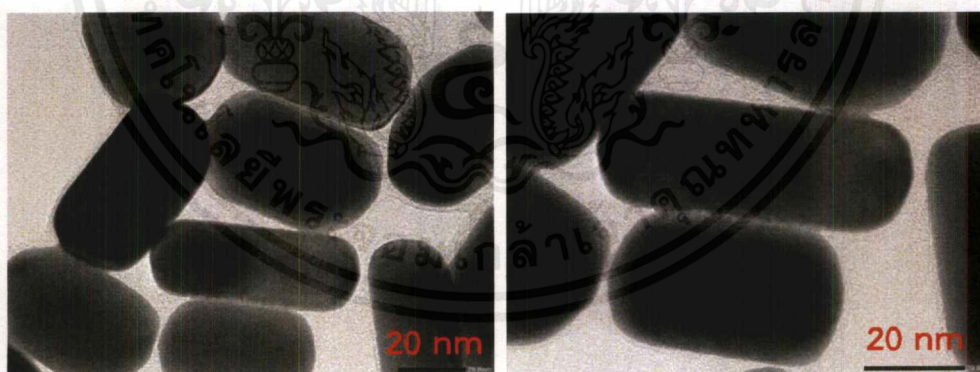
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Gold – nanorods และ Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 100 กับ Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 200



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.6 ภาพ Gold nanorods และ Silica – Gold nanoshells จากเครื่อง TEM

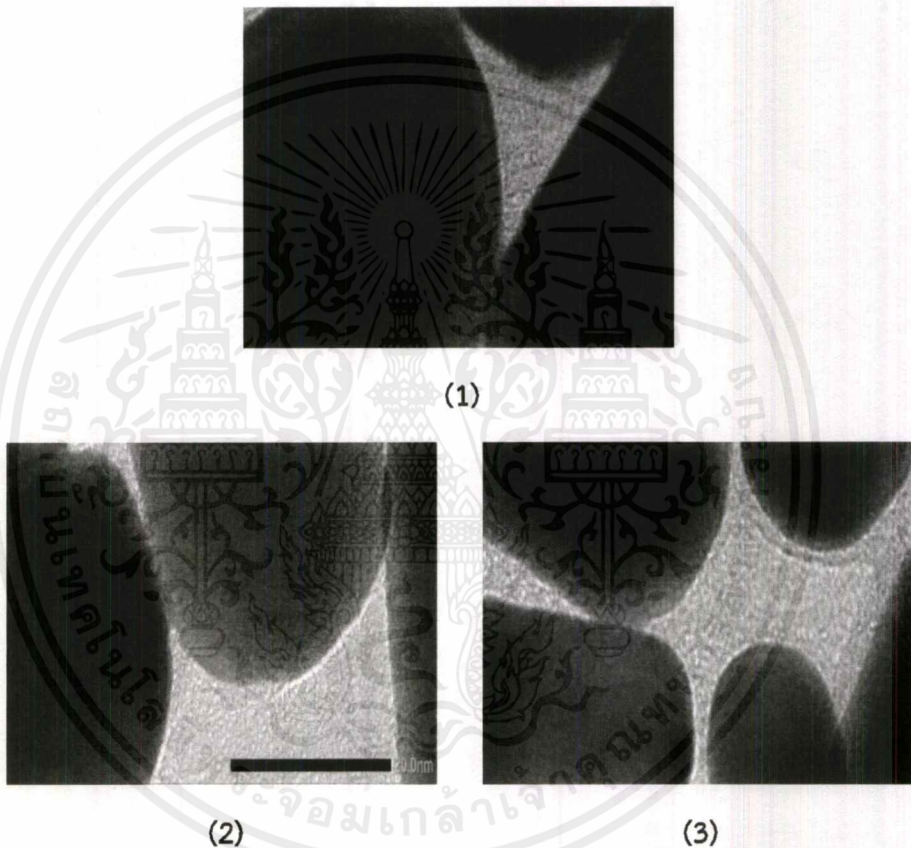
(a) ภาพ Gold nanorods จากเครื่อง TEM

(b) ภาพ Silica – Gold nanoshells 100 จากเครื่อง TEM

(c) ภาพ Silica – Gold nanoshells 200 จากเครื่อง TEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 เป็นภาพจากการส่องดูอนุภาคนาโนทองคำด้วยเครื่อง TEM จะเห็นถึงความแตกต่างที่บริเวณผิวขอบของอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งมีชั้น silica เคลือบอยู่บางๆ จะเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 4.7 โดย (1) Gold nanoparticles จะไม่มีสิ่งใดอยู่ตรงบริเวณผิวขอบของอนุภาคทองคำ ในขณะที่ (2) Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 100 มีชั้น silica บางมากๆ สังเกตได้ยากเคลือบอยู่ และเมื่อดู (3) Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 200 จะสังเกตเห็นความแตกต่างได้เด่นชัดที่มีชั้น silica เคลือบอยู่บริเวณผิวขอบของอนุภาคทองคำอย่างชัดเจนกว่า Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 100

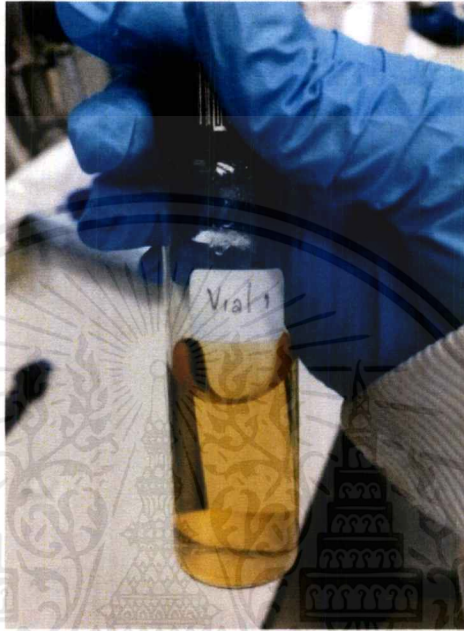


รูปที่ 4.7 ภาพบริเวณผิวขอบของ Gold nanoshells และ Silica – Gold nanoshells

- (1) ภาพบริเวณผิวขอบของ Gold nanoshells
- (2) ภาพบริเวณผิวขอบของ Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 100
- (3) ภาพบริเวณผิวขอบของ Silica – Gold nanoshells ที่ TEOS ความเข้มข้น 200

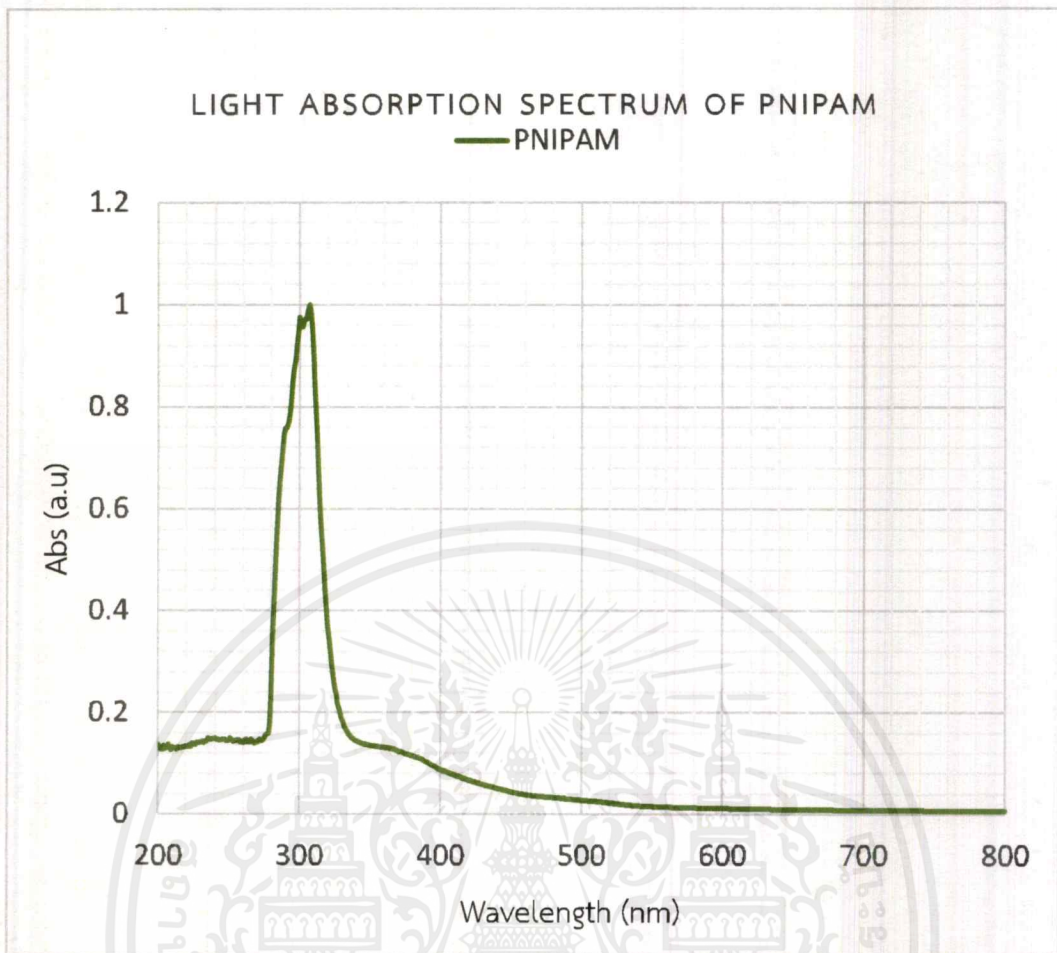
4.3 การสังเคราะห์ PNIPAM

ในการสังเคราะห์ PNIPAM ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติทางแสงตามอุณหภูมิ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ต้องการนำมาประยุกต์ทำตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเมื่อสังเคราะห์ PNIPAM ขึ้นมาได้มีสีเหลืองอ่อนใสๆดังรูปที่ 4.8



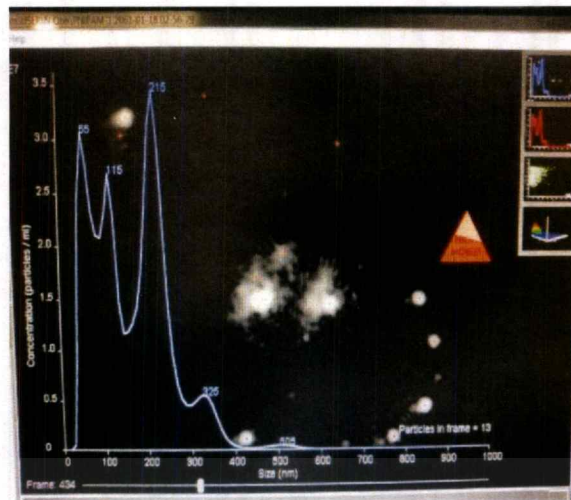
รูปที่ 4.8 Microgels ที่สังเคราะห์ได้

จากนั้นจึงนำ PNIPAM ที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้ไปวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV – vis spectrophotometer ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงไม่อยู่ในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ นอกจากนี้ยังไม่ทราบว่า PNIPAM ที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นสำเร็จหรือไม่ เพราะยังไม่ทราบว่า PNIPAM ที่สังเคราะห์ขึ้นได้มีอนุภาคนาโนของ microgels เกิดขึ้นแล้วหรือไม่เกิดขึ้นเลย เนื่องจาก PNIPAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเลย หลังจากสังเคราะห์แล้วทิ้งไว้บน magnetic stimulate เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ PNIPAM

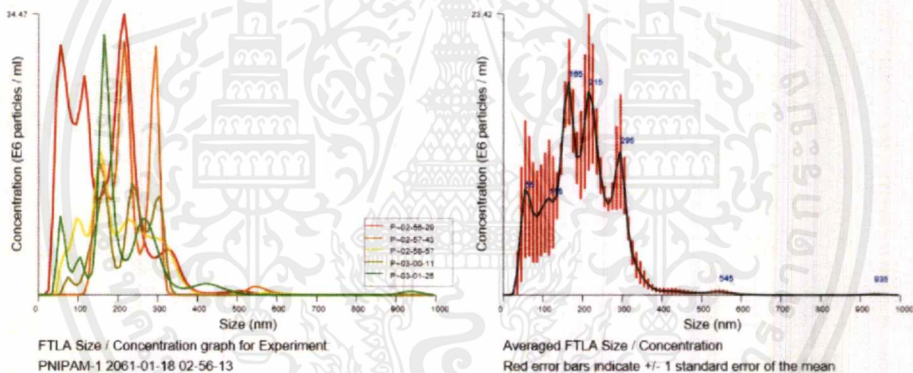
ดังนั้นจึงนำ PNIPAM ไปตรวจดูขนาดของอนุภาค microgels ที่เครื่อง Nanoparticle Tracking Analyzer เพื่อดูว่ามีอนุภาคนาโน microgels เกิดขึ้นหรือไม่ จากผลการดูพบว่าอนุภาคนาโนเกิดขึ้นมากแสดงดังรูปที่ 4.10 มีจุดสีขาวเกิดขึ้นซึ่งคืออนุภาคนาโนที่ได้สังเคราะห์ขึ้น และรูปที่ 4.11 ผล Nanosight ของ PNIPAM



รูปที่ 4.10 ดูจากตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในเครื่อง Nanosight มีจุดสีขาวเกิดขึ้น

NANOSIGHT

PNIPAM-1 2061-01-18 02-56-13



Results

Stats: Merged Data

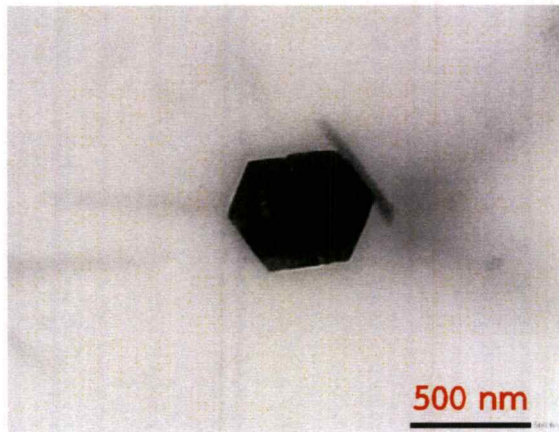
Mean: 193.1 nm
 Mode: 163.7 nm
 SD: 93.2 nm
 D10: 68.6 nm
 D50: 185.3 nm
 D90: 291.5 nm

Stats: Mean +/- Standard Error

Mean: 200.6 +/- 11.8 nm
 Mode: 183.2 +/- 13.0 nm
 SD: 87.0 +/- 9.5 nm
 D10: 94.3 +/- 17.8 nm
 D50: 185.2 +/- 13.2 nm
 D90: 291.0 +/- 8.6 nm
 Concentration: 3.08e+008 +/- 6.01e+007 particles/ml
 15.6 +/- 3.1 particles/frame

รูปที่ 4.11 ผล Nanosight ของ PNIPAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

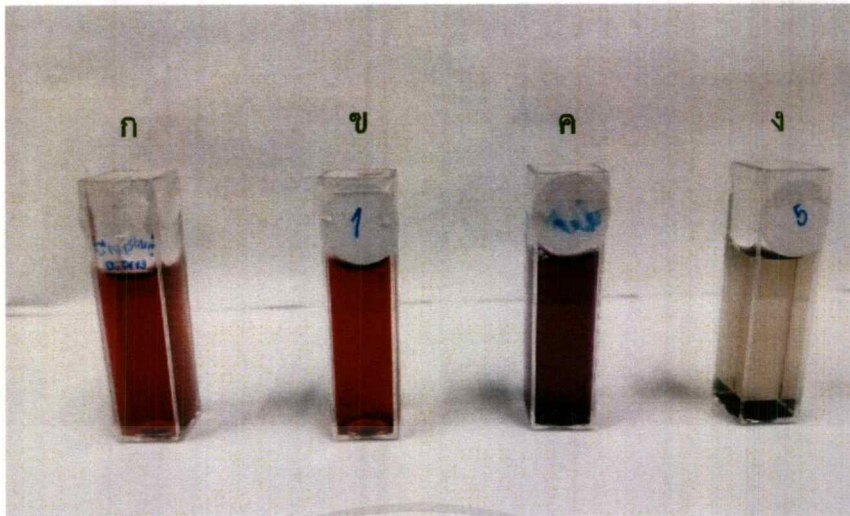


รูปที่ 4.12 ภาพ Microgels ที่สังเคราะห์ได้จากเครื่อง TEM

เมื่อนำ PNIPAM ไปตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM จะได้ผลเห็นเป็นภาพอนุภาคนาโนเจลที่เราสังเคราะห์ได้ ซึ่งมีรูปร่างกลมเหลี่ยมดังรูปที่ 4.12

4.4 Coat microgels – gold nanoshells

ในการ coat microgels – gold nanoshells เป็นการนำอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมมา coat ด้วย PNIPAM ที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับอนุภาคนาโนทองคำที่ยังไม่มีการ coat ใดๆเลย พบว่าสีที่ได้ต่างแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน จากรูปที่ 4.13 (ก) GNP ที่ยังไม่ใส่ PNIPAM มีสีแดงที่แตกต่างจาก (ข) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 1 ml เล็กน้อย แต่เมื่อดูเทียบกับ (ค) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 2.5 ml และ (ง) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 5 ml จะมีสีที่เปลี่ยนไปอย่างเห็นได้ชัดเจน โดย (ค) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 2.5 ml จะเปลี่ยนจากสีแดงกลายเป็นสีม่วง และ (ง) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 5 ml จะเกิดการตกตะกอนสีดำ เกิดจากอนุภาคนาโนรวมตัวกันกลายเป็นก้อนใหญ่ ซึ่งจากผลที่ได้เมื่อปริมาณของ PNIPAM ที่ใส่ไปใน GNP เพิ่มขึ้น จะทำให้อนุภาคนาโนทองคำมีการรวมตัวกันมากขึ้น สังเกตได้จากสีของ GNP มีการเข้มมากขึ้นเรื่อยๆ จากสีแดงและเริ่มเข้มขึ้นกลายเป็นสีม่วงเข้มขึ้น จนถึงกลายเป็นตกตะกอนสีดำ



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบ GNP ที่ยังไม่ใส่ PNIPAM และ ใส่ PNIPAM

(ก) GNP ที่ยังไม่ใส่ PNIPAM

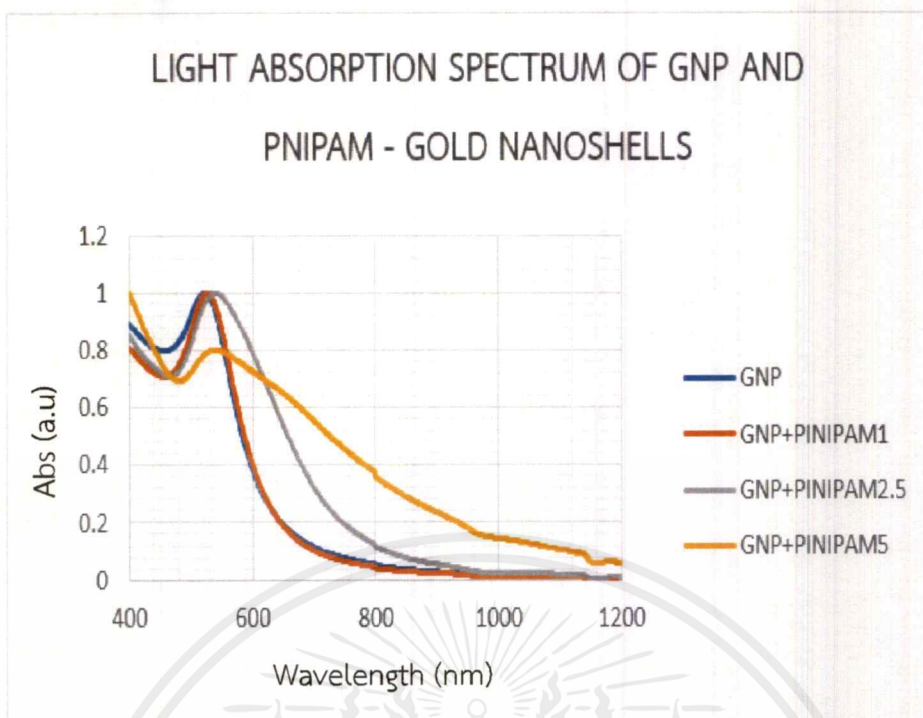
(ข) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 1 ml

(ค) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 2.5 ml

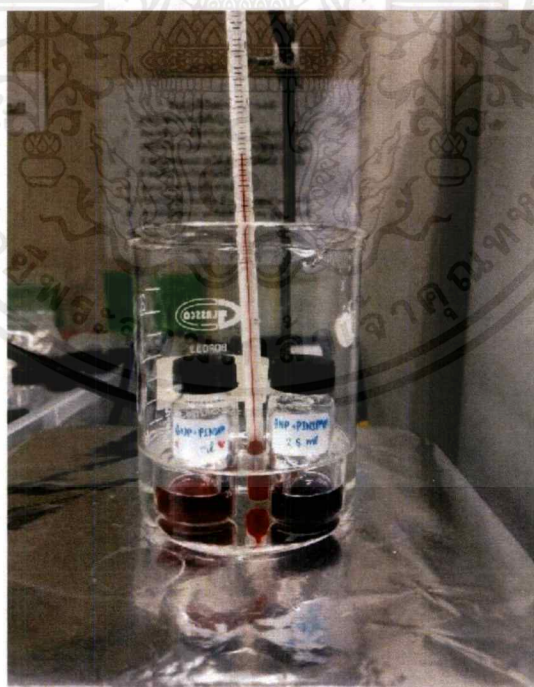
(ง) GNP เมื่อใส่ PNIPAM ในปริมาณ 5 ml

จากนั้นจึงนำ microgels – gold nanoshells ที่ไปวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV – vis spectrophotometer ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ GNP เท่ากับ 523 nm GNP ที่ใส่ PNIPAM 1 ml มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 527 nm ,PNIPAM 2.5 ml มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 539 nm และ PNIPAM 5 ml ml พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงไม่อยู่ในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้

หลังจากสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำแล้วเคลือบด้วยโพลีเมอร์ PNIPAM แล้ว ได้นำเอาอนุภาคนาโนทองคำที่ใส่ PNIPAM เพียง 1 ml และ 2.5 ml มาให้ความร้อน โดยเริ่มต้นอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 21 องศา มีสีแสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของ gold nanoparticles กับ PNIPAM – gold nanoshells ที่ใส่ PNIPAM ปริมาณ 1 ml, 2.5 ml และ 5 ml

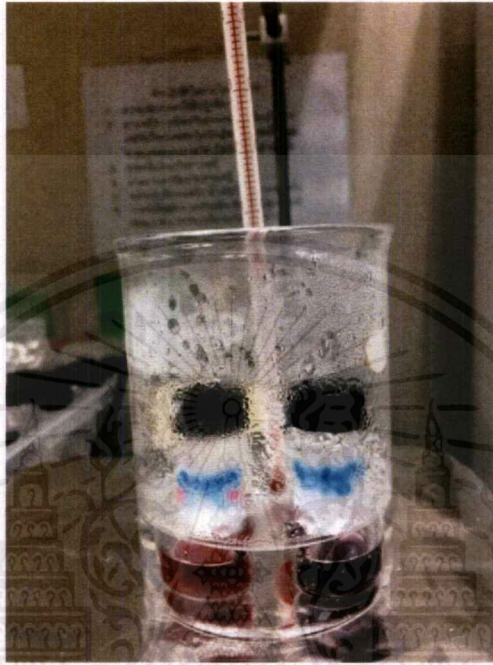


รูปที่ 4.15 อนุภาคนาโนทองคำที่ใส่ PNIPAM 1 ml และ 2.5 ml ในอุณหภูมิห้อง 21 องศา

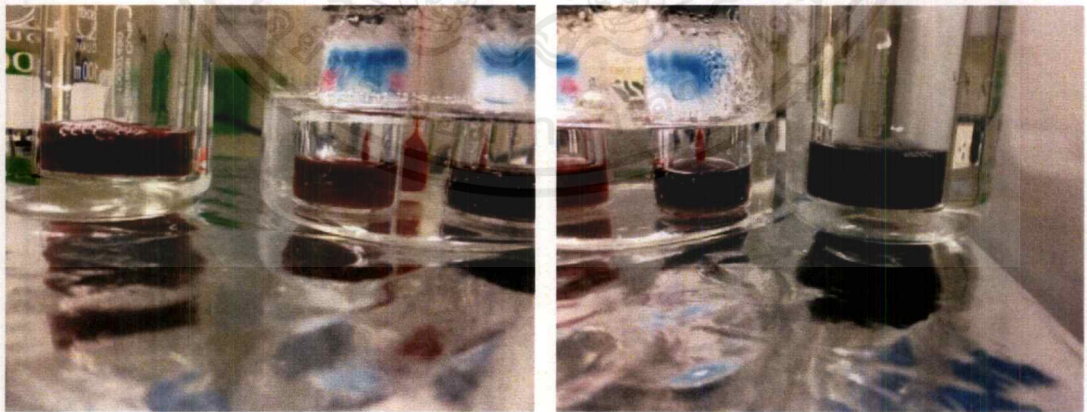
เซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส อนุภาคนาโนทองคำมีสีเข้มกว่าเดิมจากปกติดังรูปที่ 4.16 และยิ่งเห็นได้ชัดเมื่อนำมาเทียบกับอนุภาคนาโนทองคำในอุณหภูมิห้อง ในรูปที่ 4.17 อนุภาคนาโนทองคำที่ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีสีเข้มเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอนุภาคนาโนทองคำในอุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.16 อนุภาคนาโนทองคำเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.17 อนุภาคนาโนทองคำในอุณหภูมิห้องเทียบกับอนุภาคนาโนทองคำเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เราสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดและคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ เมื่อนำอนุภาคนาโนทองคำไป coat silica พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ TEOS เพิ่มขึ้น จากภาพ TEM จะมีชั้นของ silica ที่ชั้นเงินเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ TEOS นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์อนุภาค microgels ทกเหลี่ยมได้อีกด้วย และเมื่อนำอนุภาคนาโนทองคำไป coat microgels พบว่าปริมาณของ PNIPAM เพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้อนุภาคนาโนทองคำ aggregate มากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งอนุภาคนาโนทองคำจะตกตะกอน อัตราส่วนที่เหมาะสมของ GNP ต่อ PNIPAM คือ 14 : 1 ml และพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิ GNP ที่มีชั้นของ PNIPAM จะมีสีเปลี่ยนไปเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิถึง 40 องศาเซลเซียส จึงต้องมีการวิจัยต่อไปเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในเรื่องการเปลี่ยนสีของอนุภาคนาโนทองคำที่เคลือบด้วย PNIPAM แล้ว จากผลการวิจัยสีของอนุภาคนาโนทองคำเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของสีแต่น้อยมาก เพียงแค่มีการใส่น้ำเล็กน้อยสังเกตได้ยาก ดังนั้นในการวิจัยในอนาคตควรพัฒนาหาพอลิเมอร์ที่เหมาะสมมากกว่านี้ เพื่อที่จะทำให้สีของอนุภาคนาโนทองคำที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน นั้นสามารถเห็นการเปลี่ยนสีได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้นเพื่อความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิอย่างง่าย

เอกสารอ้างอิง

อภิวัฒน์ ชมภูสอ. 2556. Surface Plasmon Resonance (SPR).

[Online]. Available : http://scijournal.kku.ac.th/files/Vol_41_No_4_P_859-872.pdf

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). 2553. การกระเจิง (Scattering).

[Online]. Available : <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/phenomenon/scattering>

รศ.ดร. ภิญโญ พานิชพันธ์ และคณะ. 2555. การดูดกลืน (Absorption).

[Online]. Available : http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/12/6/CD/colorandLight/page1_4.html

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC). 2555. UV/VIS Spectrophotometer.

[Online]. Available : https://www2.nanotec.or.th/th/?page_id=575

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2561. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge).

[Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B8%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A7%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%87>

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อหฬววิทยาลัยมหิดล. 2553. Transmission electron microscope (TEM).

[Online]. Available : <https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.) 2558. Nanoparticle tracking Analysis (NTA).

[Online]. Available : https://www2.mtec.or.th/th/emagazine/admin/upload/297_45.pdf