

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารละลาย

#### 1. การสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน (AgTNPs) โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)

##### 1.1 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 0.10 mM

ชั่งน้ำหนักซิลเวอร์ไนเตรตมา 0.0699 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.10 mM ปริมาตร 1000 ml

##### 1.2 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรต ความเข้มข้น 20.00 mM

ชั่งน้ำหนักไตรโซเดียมซิเตรตมา 0.5881 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml จะได้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรต ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 100 ml

##### 1.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 100.00 mM

ชั่งน้ำหนักโซเดียมโบโรไฮไดรด์มา 0.0945 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml จะได้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 25 ml

#### 2. การเตรียมแผ่นฟิล์มของอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) โดยใช้สารปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ เป็น PDADMAC และ PSS

##### 2.1 การเตรียมสารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 10 mM

เปิดสารละลาย PDADMAC ปริมาตร 7.48 ml ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml แล้วชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 58.50 กรัม เติมลงไปในสารละลาย PDADMAC พร้อมทั้งปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 1000 ml

##### 2.2 การเตรียมสารละลาย PSS ความเข้มข้น 10 mM

ชั่งน้ำหนัก PSS 2.06 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml แล้วชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 58.50 กรัม เติมลงไปในสารละลาย PSS พร้อมทั้งปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลาย PSS ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 1000 ml

### 3. การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายและแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน

#### 3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 1000 ppm

ชั่งน้ำหนักกลูต้าไธโอนมา 0.25 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตร 250 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 1000 ppm

#### 3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้นต่างๆ

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 1000 ppm มาตามตารางด้านล่าง จากนั้นละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตร 25 ml จะได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนตามที่ต้องการ

ตารางที่ ก.1 แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนความเข้มข้นต่างๆ

| ความเข้มข้นที่ต้องการ (ppm) | ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน<br>ความเข้มข้น 1000 ppm (ml) |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0.1                         | 0.0025                                                         |
| 0.3                         | 0.0075                                                         |
| 0.5                         | 0.0125                                                         |
| 0.7                         | 0.0225                                                         |
| 0.9                         | 0.0250                                                         |
| 1.0                         | 0.1250                                                         |
| 3.0                         | 0.7500                                                         |
| 5.0                         | 0.1250                                                         |
| 10.0                        | 0.250                                                          |
| 50.0                        | 1.250                                                          |
| 100.0                       | 2.50                                                           |
| 200.0                       | 5.00                                                           |
| 300.0                       | 7.50                                                           |
| 400.0                       | 10.00                                                          |
| 500.0                       | 12.50                                                          |
| 600.0                       | 15.00                                                          |
| 700.0                       | 17.50                                                          |
| 800.0                       | 20.00                                                          |

### 3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนสำหรับการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความแม่นยำ (Accuracy)

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 20 ppm

ชั่งน้ำหนักกลูต้าไธโอนมา 0.0020 g ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเลือดที่ถูกเจือจาง 1000 เท่า ในขวดวัดปริมาตร 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 20 ppm ที่เตรียมได้จากน้ำกลั่นและเลือดที่ถูกเจือจาง 1000 เท่า

#### 3.3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 0.4 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 100 ppm มา 2.0 ml ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเลือดที่เจือจาง 1000 เท่า ในขวดวัดปริมาตร 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 0.4 ppm ที่เตรียมได้จากน้ำกลั่นและเลือดที่ถูกเจือจาง 1000 เท่า

#### 3.3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 0.7 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 100 ppm มา 3.5 ml ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเลือดที่เจือจาง 1000 เท่า ในขวดวัดปริมาตร 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 0.7 ppm ที่เตรียมได้จากน้ำกลั่นและเลือดที่ถูกเจือจาง 1000 เท่า

#### 3.3.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 1.0 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 100 ppm มา 5.0 ml ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเลือดที่เจือจาง 1000 เท่า ในขวดวัดปริมาตร 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 1.0 ppm ที่เตรียมได้จากน้ำกลั่นและเลือดที่ถูกเจือจาง 1000 เท่า

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลอง

## 1. การตรวจวัดกลูตาไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน

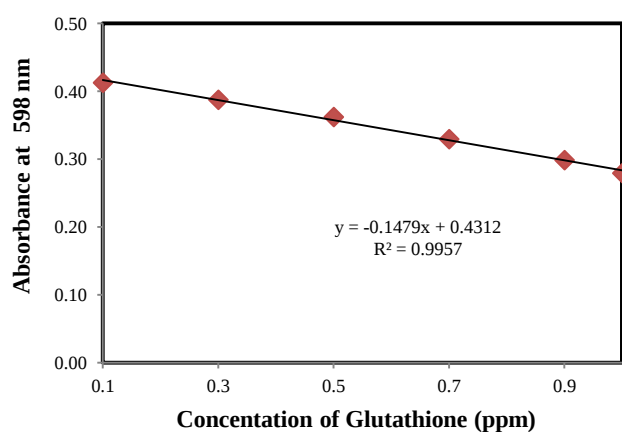
## 1.1 การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

สูตร

$$\text{LOD} = \frac{3\text{SD of blank}}{\text{Slope of calibration}}$$

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Blank ที่นำมาคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด

| No.   | Abs.   |
|-------|--------|
| 1     | 0.4483 |
| 2     | 0.4596 |
| 3     | 0.4485 |
| 4     | 0.4451 |
| 5     | 0.4466 |
| 6     | 0.4461 |
| 7     | 0.4455 |
| 8     | 0.4441 |
| 9     | 0.4449 |
| 10    | 0.4565 |
| Total | 4.4852 |
| SD    | 0.005  |
| AVR   | 0.4485 |



## การคำนวณ

จากสูตร  $\text{LOD} = \frac{3\text{SD of blank}}{\text{Slope of calibration}}$

แทนค่า  $\text{LOD} = \frac{3 \times 0.0053}{0.1479}$

$= 0.1068 \text{ ppm}$

ดังนั้นค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด เท่ากับ  $0.10 \pm 0.005 \text{ ppm}$

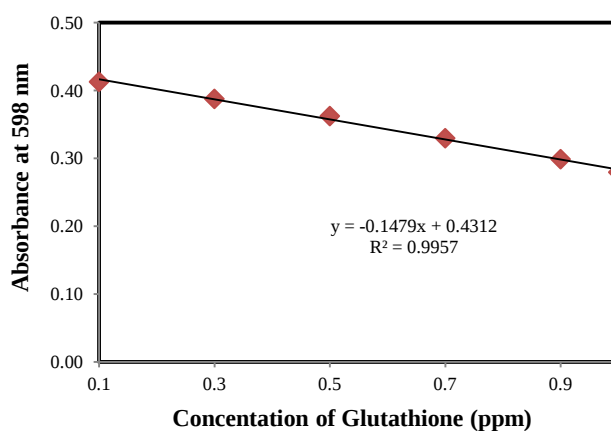
## 1.2 การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

สูตร

$$\text{LOQ} = \frac{10\text{SD of blank}}{\text{Slope of calibration}}$$

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Blank ที่นำมาคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์

| No.   | Abs.   |
|-------|--------|
| 1     | 0.4483 |
| 2     | 0.4596 |
| 3     | 0.4485 |
| 4     | 0.4451 |
| 5     | 0.4466 |
| 6     | 0.4461 |
| 7     | 0.4455 |
| 8     | 0.4441 |
| 9     | 0.4449 |
| 10    | 0.4565 |
| Total | 4.4852 |
| SD    | 0.005  |
| AVR   | 0.4485 |



การคำนวณ

$$\text{จากสูตร LOD} = \frac{10\text{SD of blank}}{\text{Slope of calibration}}$$

$$\text{แทนค่า LOD} = \frac{10 \times 0.0053}{0.1479}$$

$$= 0.3560 \text{ ppm}$$

ดังนั้นค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ เท่ากับ  $0.35 \pm 0.005 \text{ ppm}$

### 1.3 การคำนวณค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความแม่นยำ (Accuracy)

สูตร

$$\% \text{Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

$$\text{RSD} = \frac{\text{SD}}{\bar{x}} \times 100$$

ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Blank

| Sample          | Concentration of glutathione (ppm) | Absorbance (n = 3) |        |        |
|-----------------|------------------------------------|--------------------|--------|--------|
|                 |                                    | 1                  | 2      | 3      |
| Distilled water | 0.00                               | 0                  | 0      | 0      |
|                 | 0.40                               | 0.3709             | 0.3712 | 0.3721 |
|                 | 0.70                               | 0.3134             | 0.3257 | 0.3057 |
|                 | 1.00                               | 0.2730             | 0.2242 | 0.1976 |
|                 |                                    |                    |        |        |
| Plasma          | 0.00                               | 0                  | 0      | 0      |
|                 | 0.40                               | 0.3655             | 0.3696 | 0.3627 |
|                 | 0.70                               | 0.3307             | 0.3313 | 0.2956 |
|                 | 1.00                               | 0.2794             | 0.2795 | 0.2754 |

การคำนวณ %Recovery และ RSD ของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน

ตัวอย่างการคำนวณสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนความเข้มข้น 1.0 ppm (เลือด)

#### 1.3.1 การหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

จากสมการเส้นตรง  $y = -0.1479x + 0.4312$

แทนค่า Absorbance 1 ลงใน y

$$\text{จะได้ } 0.2794 = -0.1479x + 0.4312$$

$$\text{ดังนั้น } x = 1.0264 \text{ ppm}$$

จากนั้นเปลี่ยนค่า Absorbance จาก 1 เป็น 2 และ 3 จะได้ความเข้มข้นเท่ากับ และ 1.0324 และ 1.0534 ppm ตามลำดับ แล้วนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งเท่ากับ 1.0374 ppm และ 0.0142 ตามลำดับ

### 1.3.2 การหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความแม่นยำ (RSD)

$$\text{จากสูตร } \% \text{Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \% \text{Recovery} &= \frac{(1.0374 - 0) \times 100}{1.00} \\ &= 103.74 \% \end{aligned}$$

ดังนั้น %Recovery เท่ากับ 103.74 %

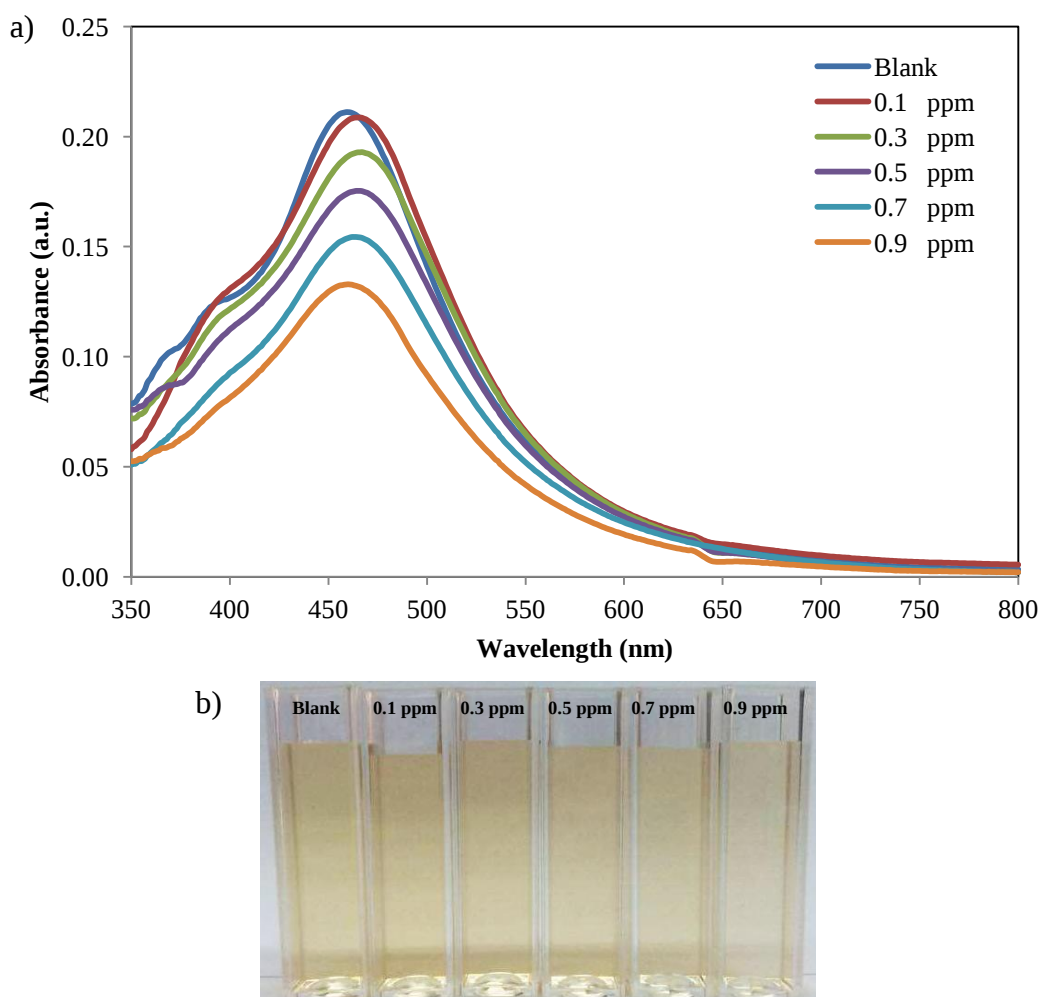
$$\text{จากสูตร } RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } RSD &= \frac{0.0142 \times 100}{1.0374} \\ &= 1.3688 \end{aligned}$$

ดังนั้น RSD เท่ากับ 1.3688 %

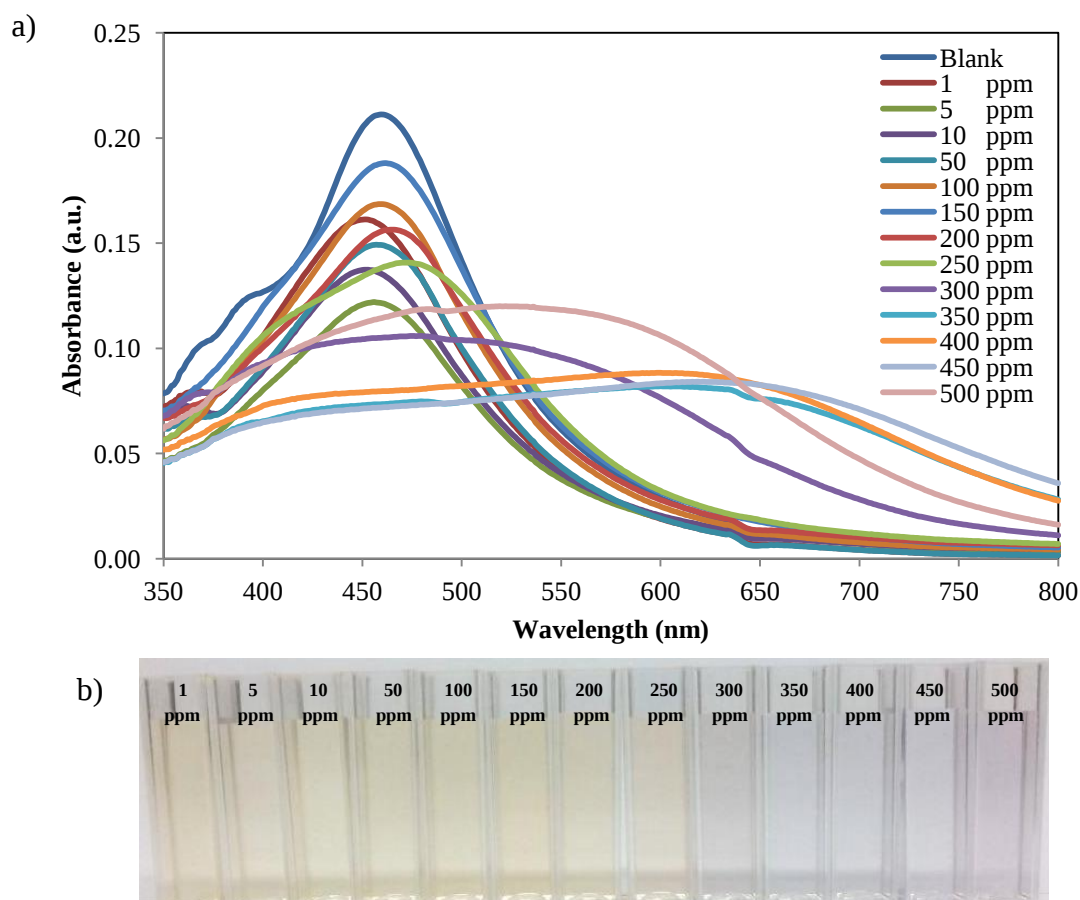
## 2. การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน

### 2.1 การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM



**รูปที่ ข.1** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm

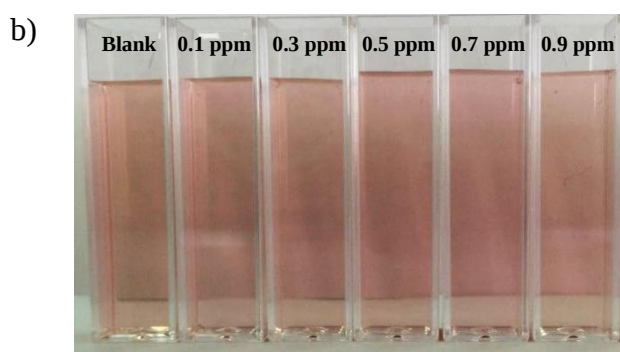
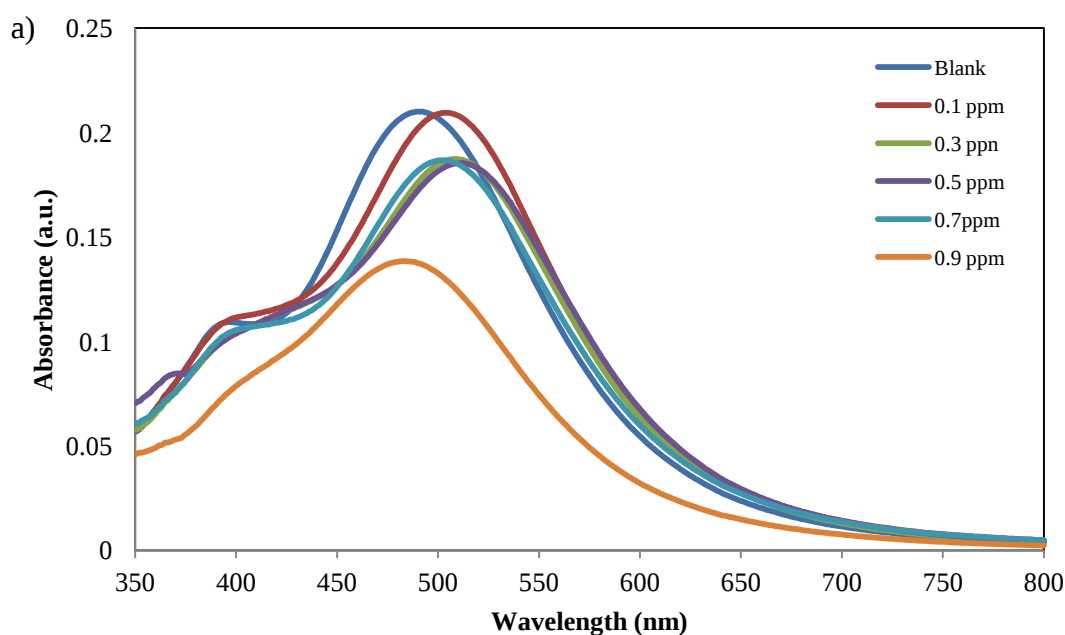
จากรูปที่ ข.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าลดลง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสารละลายสีส้มอ่อน



**รูปที่ ข.2** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm

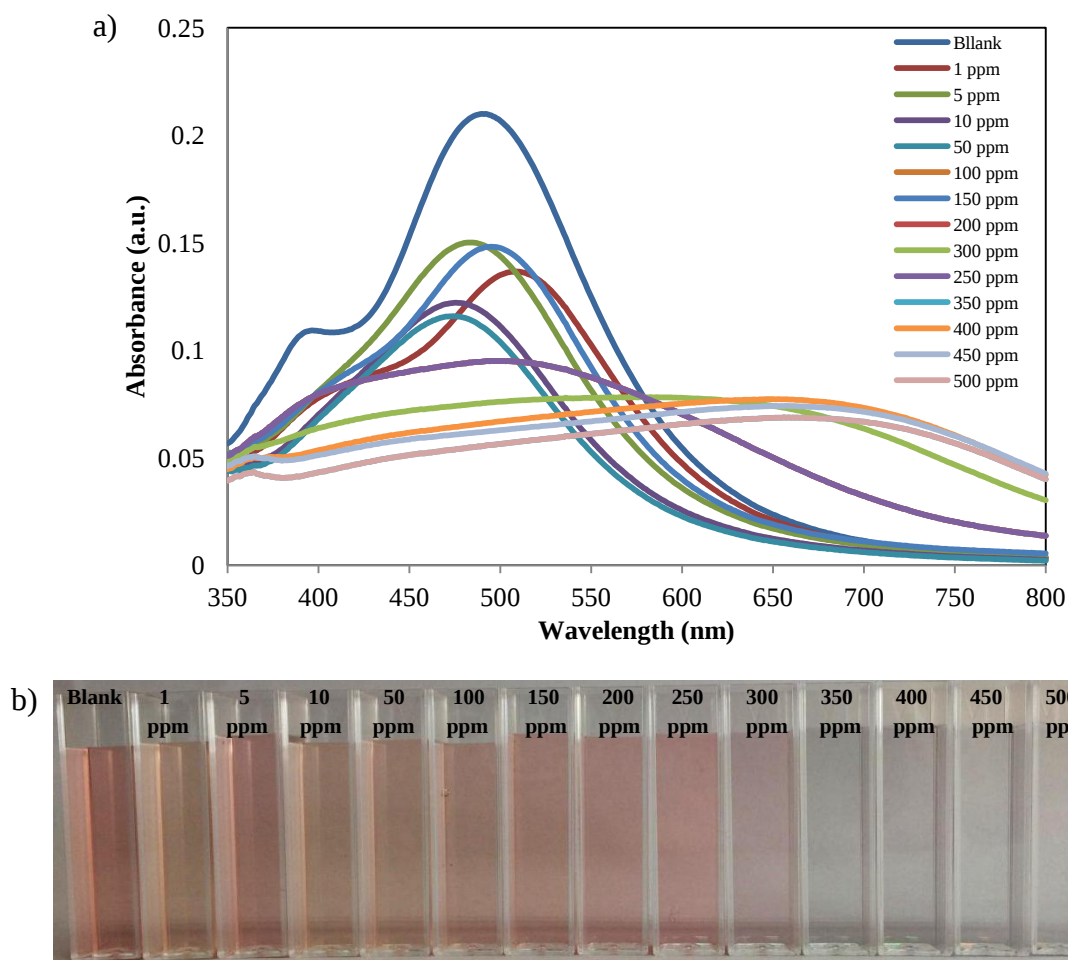
จากรูปที่ ข.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะมีค่าลดลงในช่วงหลัง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสารละลายสีส้มอ่อนสลับกันไปมา จนกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี แสดงถึงความไม่เสถียรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM ในการทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน

## 2.2 การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM



**รูปที่ ข.3** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm

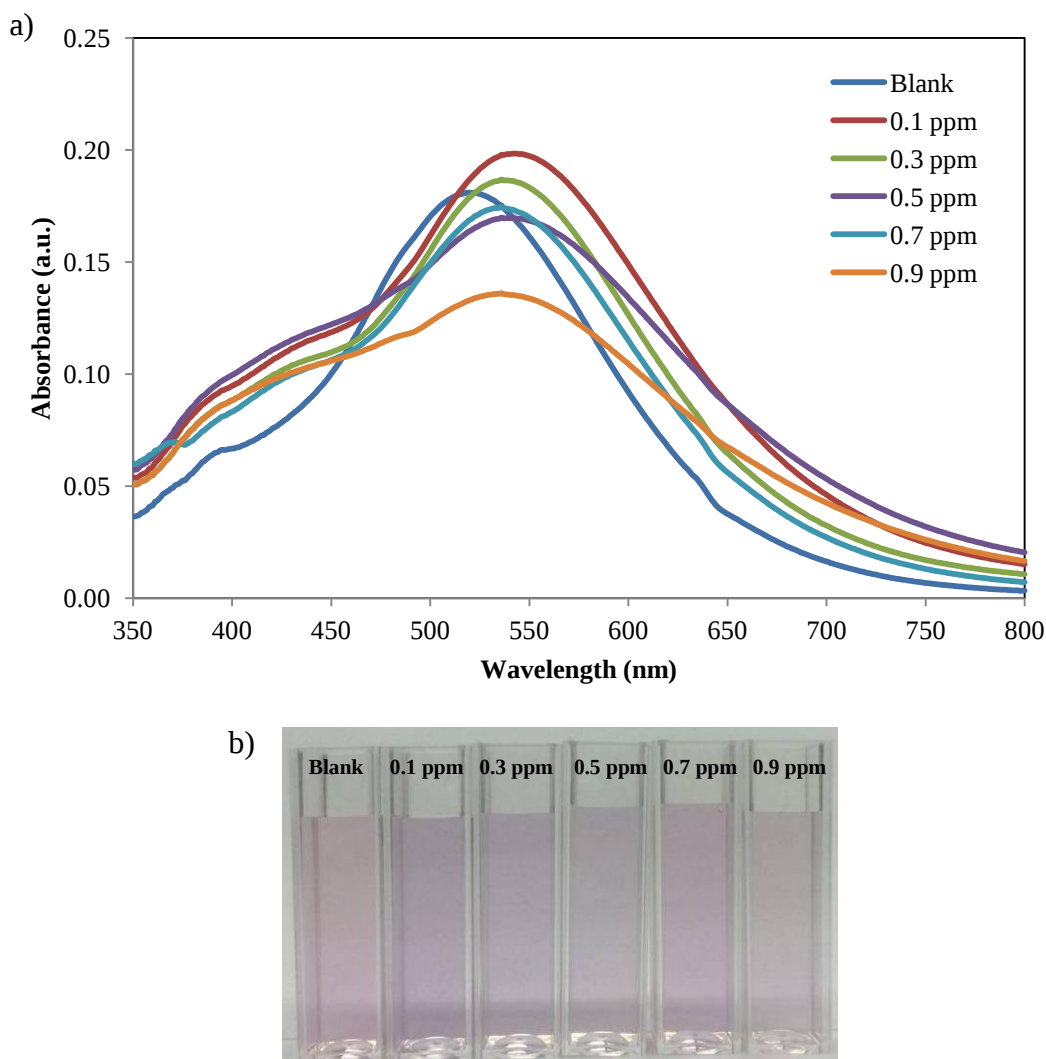
จากรูปที่ ข.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าลดลง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสารละลายสีแดงอ่อน



รูปที่ ข.4 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm

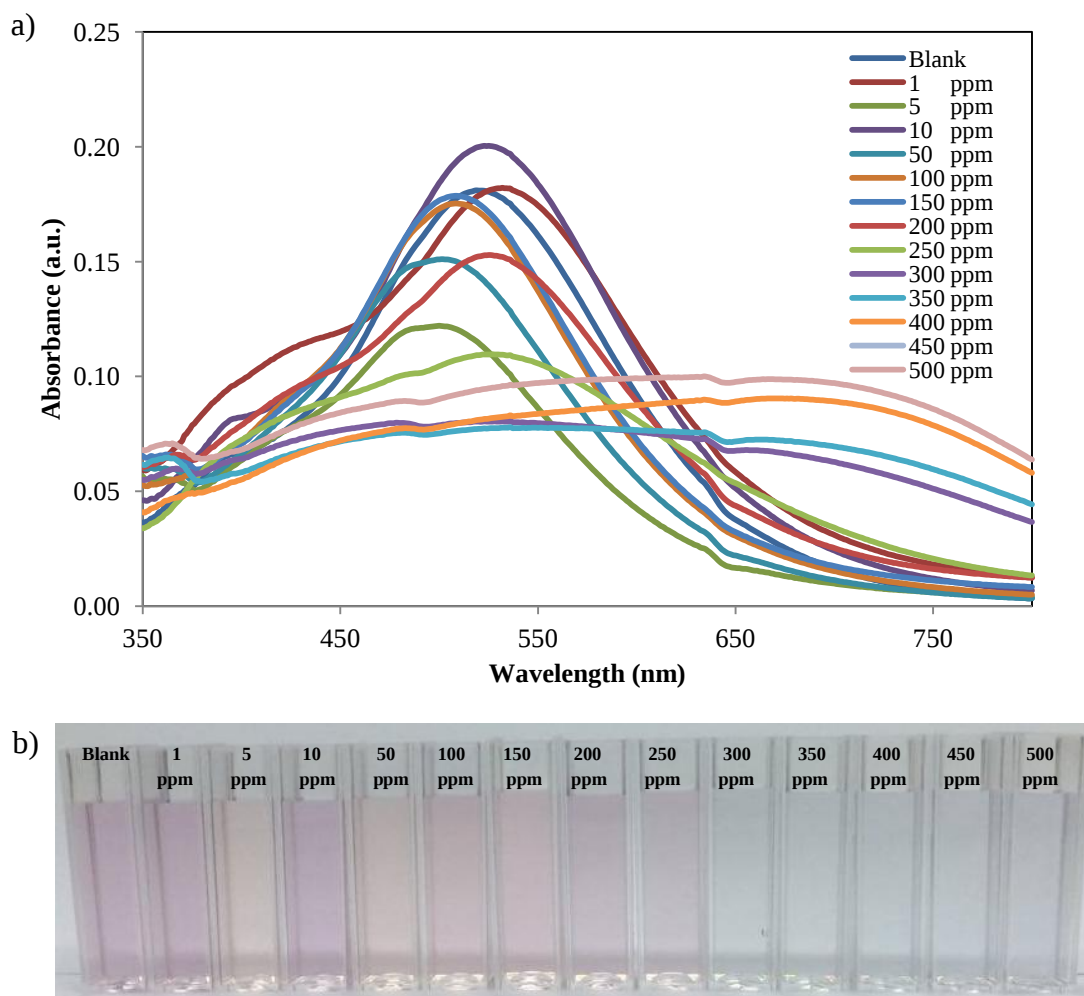
จากรูปที่ ข.4 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะมีค่าลดลงในช่วงหลัง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสารละลายสีแดงอ่อนสลับกับไปมาจนกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี แสดงถึงความไม่เสถียรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM ในการทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน

### 2.3 การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM



**รูปที่ ข.5** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm

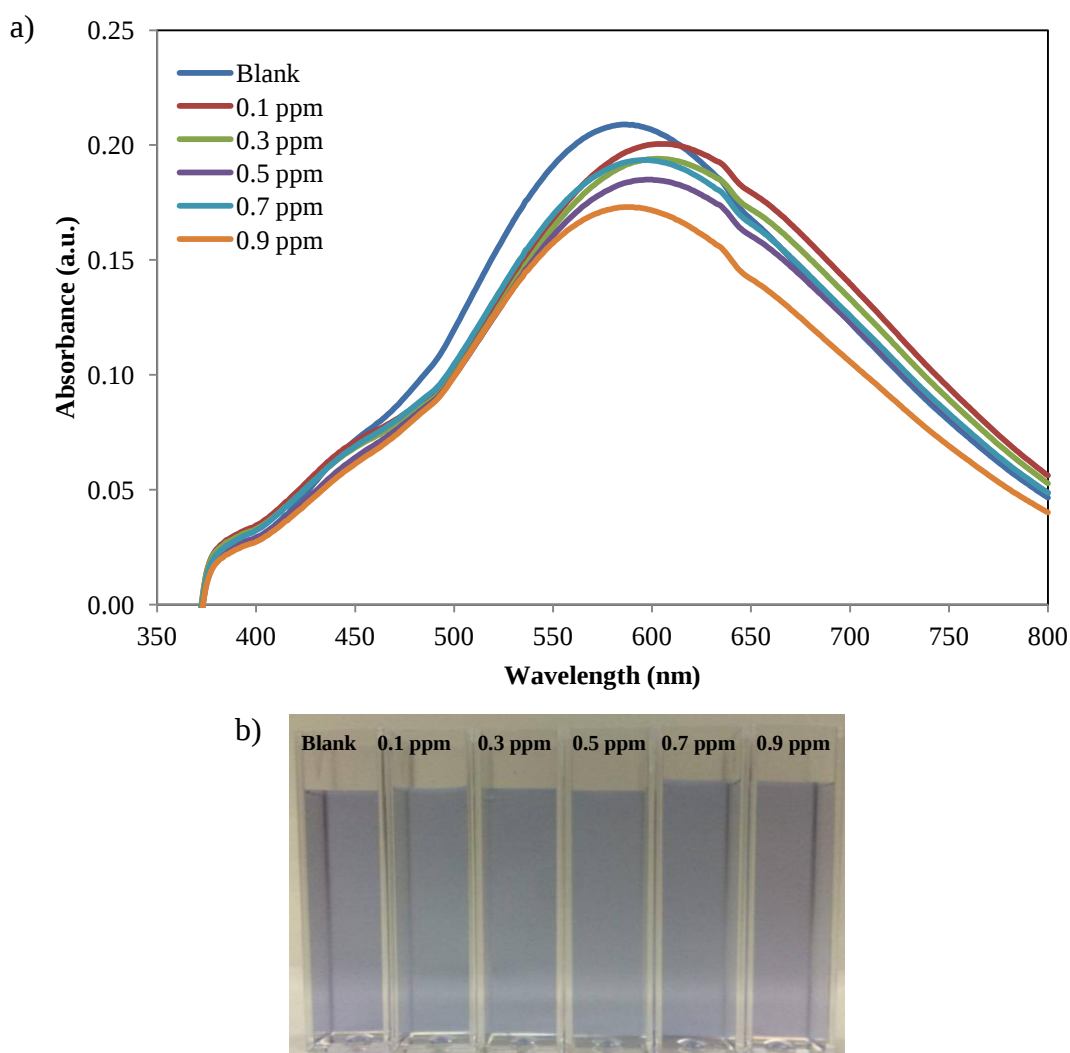
จากรูปที่ ข.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย AgTNPs เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าลดลง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสารละลายใสไม่มีสี



**รูปที่ ข.6** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm

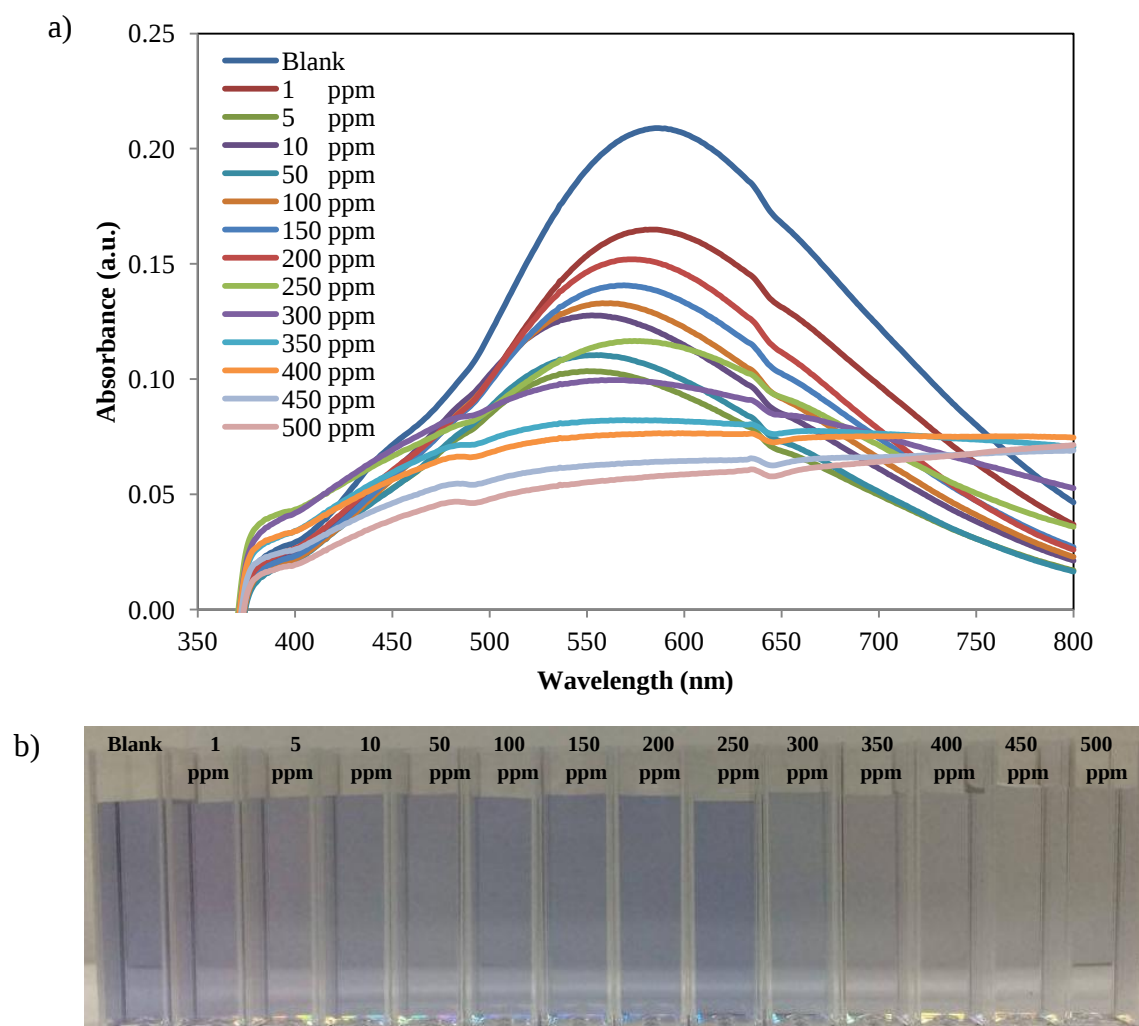
จากรูปที่ ข.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย AgTNPs ปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง แรกและจะมีค่าลดลงในช่วงหลัง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสารละลายสีชมพูอ่อนสลับกันไปมา จนกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี แสดงถึงความไม่เสถียรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM ในการทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอน

## 2.4 การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM



**รูปที่ ข.7** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm

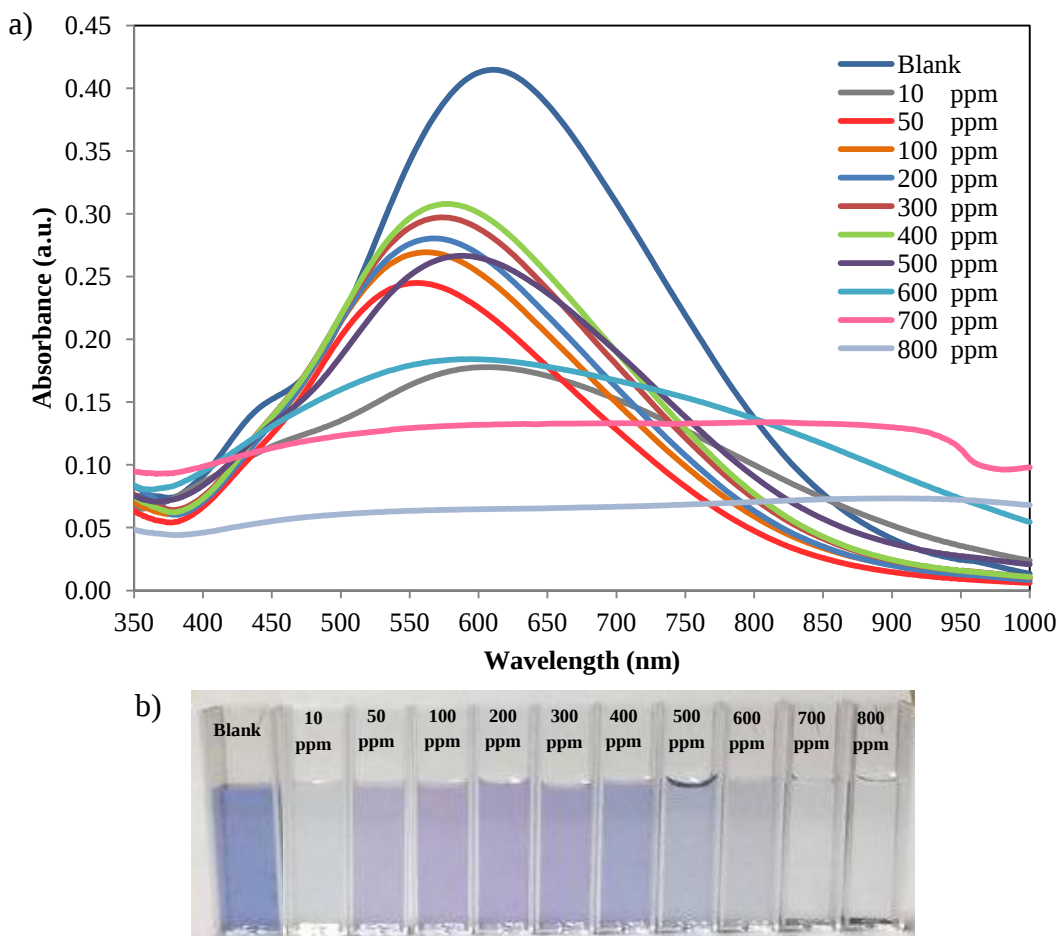
จากรูปที่ ข.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าลดลง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสารละลายใสไม่มีสี



**รูปที่ ข.8** สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm

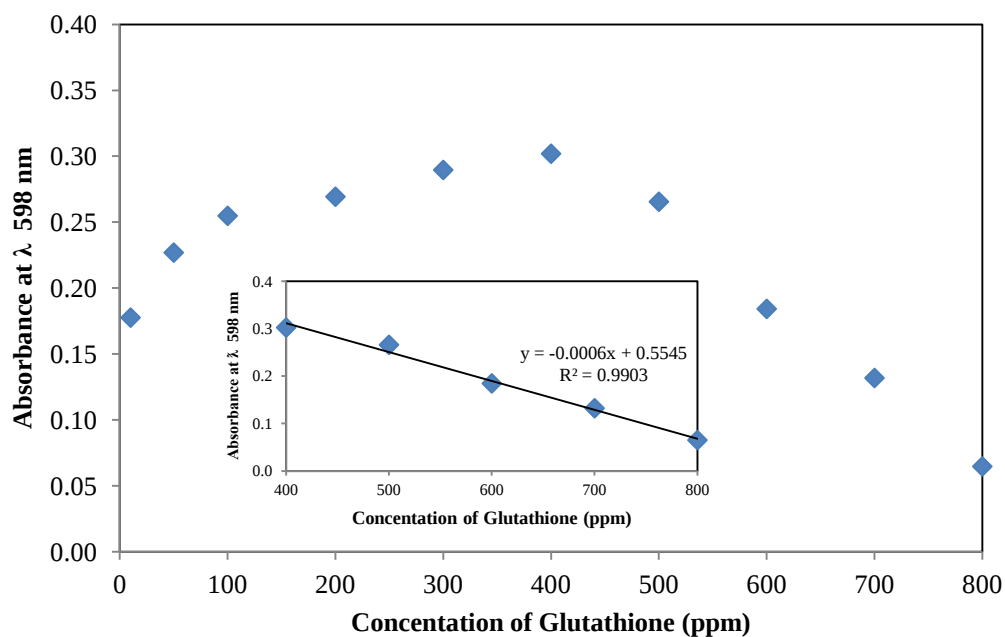
จากรูปที่ ข.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะมีค่าลดลงในช่วงหลัง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสารละลายสีฟ้าอ่อนสลับกันไปมาจนกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี

## 2.5 ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูต้าไธโอนช่วงความเข้มข้น 10-800 ppm



รูปที่ ข.9 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 10 – 800 ppm

จากรูปที่ ข.9 แสดงสเปกตราค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 10 – 800 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะมีค่าลดลงในช่วงหลัง และภาพแสดงสีของสารละลายมีแนวโน้มเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสารละลายสีฟ้าอ่อนสลับกันไปมาจนกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี



รูปที่ ข.10 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน

ตารางที่ ข.4 ความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 10-800 ppm

| ความเข้มข้นสารละลายกลูต้าไธโอน (ppm) | ความยาวคลื่นสูงสุด, $\lambda_{\max}$ (nm) |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| 10                                   | 608                                       |
| 50                                   | 555                                       |
| 100                                  | 562                                       |
| 200                                  | 567                                       |
| 300                                  | 574                                       |
| 400                                  | 578                                       |
| 500                                  | 587                                       |
| 600                                  | 595                                       |
| 700                                  | 816                                       |
| 800                                  | 901                                       |

จากรูปที่ ข.10 และตารางที่ ข.4 เป็นกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายกลูต้าไธโอนกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ช่วงความเข้มข้น 400-800 ppm ซึ่งมีสมการถดถอยเชิงเส้นตรง คือ  $y = -0.0006x + 0.5545$  มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ

0.9903 และค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจะย้ายจากความยาวคลื่นยาวไปยังความยาวคลื่นสั้น (Blue shift) ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกลูต้าไธโอน 10-50 ppm และค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจะย้ายจากความยาวคลื่นสั้นไปยังความยาวคลื่นยาว (Red shift) ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกลูต้าไธโอน 100-800 ppm จากผลการทดลองยังไม่สามารถยืนยันปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนกับกลูต้าไธโอนในช่วงความเข้มข้นของสารมาตรฐานกลูต้าไธโอน 100-800 ppm จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาเชิงลึกเพิ่มเติม เช่น การตรวจสอบสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค XPS และ Zeta potentials เป็นต้น