

การพัฒนาวิธีตรวจวัดเชิงสีเพื่อวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ

DEVELOPMENT OF COLORIMETRIC METHOD FOR  
DETERMINATION OF CHLORIDE IN WATER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COLORIMETRIC METHOD FOR  
DETERMINATION OF CHLORIDE IN WATER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>หัวข้อโครงการพิเศษ</b> | การพัฒนาวิธีตรวจวัดเชิงสีเพื่อวิเคราะห์คลอไรต์ในน้ำ   |
| <b>ชื่อนักศึกษา</b>       | นางสาว ญัฐธนิชา เรืองเชื้อเหมือน รหัสนักศึกษา 62050385<br>นางสาว ภัทรภร เรียมแสน รหัสนักศึกษา 62050426<br>นางสาว เมธพร สอนสมนึก รหัสนักศึกษา 62050430 |
| <b>ปริญญา</b>             | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)   |
| <b>ภาควิชา</b>            | เคมี  |
| <b>คณะ</b>                | วิทยาศาสตร์   |
| <b>มหาวิทยาลัย</b>        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)   |
| <b>ปีการศึกษา</b>         | 2565  |
| <b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>   | ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ   |

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรต์ในน้ำด้วยการตรวจวัดเชิงสี โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างคลอไรต์กับซิลเวอร์ไอออนเกิดเป็นตะกอนซิลเวอร์คลอไรต์ในขวดแก้วขนาด 2 มิลลิลิตร ทำการตรวจวัดความขุ่นของสารละลายโดยฉายแสงจากหลอดไฟแอลอีดีและบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกนแล้วประมวลผลค่าความเข้มสีเทาด้วยโปรแกรม Image J<sup>TM</sup> ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลการตรวจวัดได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาตรรวมของสารละลายในขวดแก้ว ระยะห่างระหว่างหลอดไฟแอลอีดีกับขวดแก้ว และระยะห่างระหว่างขวดแก้วได้กราฟมาตรฐานที่พลอตระหว่างความเข้มข้นของคลอไรต์กับค่าความเข้มสีเทามีความสัมพันธ์แนวโน้มเป็นเส้นตรงตามสมการ  $y = 16.547x + 167.15$  มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9688

**คำสำคัญ:** คลอไรต์, ซิลเวอร์ไนเตรท, ระบบสี RGB, โปรแกรม Image J<sup>TM</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>Title</b>         | Development of Colorimetric Method for Determination of Chloride in Water   |
| <b>Students</b>      | Miss Nattanicha Ruangchuanuan Student ID 62050385<br>Miss Phattharaphon Riamsaen Student ID 62050426<br>Miss Metaporn Sornsomnuek Student ID 62050430 |
| <b>Degree</b>        | Bachelor of Science (Environmental Chemistry)   |
| <b>Department</b>    | Chemistry   |
| <b>School</b>        | Science   |
| <b>University</b>    | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)   |
| <b>Academic Year</b> | Year 2022   |
| <b>Advisor</b>       | Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditweangkum   |

### Abstract

The method development has been studied for determining chloride in water by colorimetric detection based on the reaction between chloride and silver ion forming silver chloride precipitate in a 2-mL vial. The turbidity of the solution was detected by lighting up from a LED bulb and recording images with a scanner. The images were evaluated for grey color intensity by the Image J™ program. Various parameters affecting the detection were optimized such as concentration of silver nitrate, reaction time, total solution volume in the vial, the distance between LED bulb and vial, and distance between vials. The calibration graph plotted between chloride concentration and grey color intensity provided the linear relation by an equation of  $y = 16.547x + 167.15$  with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.9688.

**Keywords:** Chloride, silver nitrate, RGB color intensity, Image J™ program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จขึ้นได้โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและให้ความรู้ตลอดจนแนวทางแก้ไข ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี กลุ่มของข้าพเจ้าจึง ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการและ ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้อนุเคราะห์ให้การให้ความรู้และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับโครงการพิเศษ ทั้งในด้านความรู้และแนวคิดที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 5 อาคารสำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ บุคลากรท่านอื่น ๆ ที่คอยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในระหว่างการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณพี่นักศึกษาปริญญาโทในห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 5 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และความอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในระหว่างการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยสนับสนุนในการทำงานไม่ว่าจะเป็นในเรื่องงบประมาณ อุปกรณ์ และคอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และกำลังใจ จนทำให้โครงการพิเศษดำเนินต่อไปได้ ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ แลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการทำโครงการพิเศษ และคอยสร้างเสียงหัวเราะ

ขอขอบคุณศิลปินคนโปรด เฉลิมพร อารีกุล อิงฟ้า วราหะและชาลื้อต ออสติน ที่เป็นความสุขและกำลังใจในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ และขอขอบพระคุณทุกท่านทั้งที่ไม่ได้กล่าวถึงและ ผู้อยู่เบื้องหลังท่านอื่น ๆ มา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้กลุ่มของข้าพเจ้าขอขอบคุณตัวเองรวมไปถึงสมาชิกทุกคนในกลุ่มที่ตั้งใจศึกษาหา ความรู้ อดทน เพียรพยายามในการทำงานและคอยให้กำลังใจซึ่งกันและกันจัดทำโครงการพิเศษตั้งแต่วินแรกจนถึงวันสุดท้ายที่โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี กลุ่มของข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การทำโครงการพิเศษนี้จะเป็ประโยชน์ต่อผู้ที่นำไปศึกษาต่อไปได้

ณัฐธินิชา เรื่องเชื้อเหมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เมธาพร สอนสมนึก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  | หน้า     |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....  | ก        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                     | ข        |
| กิตติกรรมประกาศ.....   | ค        |
| สารบัญ.....  | ง        |
| สารบัญ (ต่อ) .....   | จ        |
| สารบัญตาราง .....  | ฉ        |
| สารบัญรูป.....   | ช        |
| คำย่อ/สัญลักษณ์ (ถ้ามี) .....                                | ฎ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....                                    | <b>1</b> |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....                             | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....  | 2        |
| 1.3 ขอบเขต.....  | 2        |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....                          | 3        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....           | <b>4</b> |
| 2.1 คลอไรด์ (Chloride) .....                                 | 4        |
| 2.1.1 คลอไรด์ (Chloride) .....                               | 4        |
| 2.1.2 คลอรีน (Chlorine) .....                                | 4        |
| 2.2 ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate) .....                    | 4        |
| 2.3 น้ำประปา น้ำดื่ม และน้ำแร่ .....                         | 5        |
| 2.3.1 น้ำประปา .....   | 5-6      |
| 2.3.2 น้ำดื่ม .....  | 6-7      |
| 2.3.3 น้ำแร่.....  | 7-8      |
| 2.3.4 น้ำบาดาล .....   | 9-10     |
| 2.4 การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรท..... | 11       |
| 2.5 ระบบสี RGB.....  | 11       |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                               | 12       |
| 2.6.1 การวิเคราะห์คลอไรด์ด้วยวิธีไทเทรต .....                | 12       |
| 2.6.2 การวิเคราะห์โดยเครื่องมือ.....                         | 13       |
| 2.6.3 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์.....                | 13       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>บทที่ 3</b> | <b>วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>                                   | 15 |
| 3.1            | สารเคมี  | 15 |
| 3.2            | อุปกรณ์และเครื่องมือ   | 15 |
| 3.3            | การเตรียมสารละลาย  | 16 |
| 3.3.1          | การเตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์                                | 16 |
| 3.3.2          | การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท                                | 16 |
| 3.4            | วิธีดำเนินการทดลอง   | 17 |
| 3.4.1          | การศึกษาความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ในการทดลอง              | 17 |
| 3.4.2          | การศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง                            | 18 |
| 3.4.3          | การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง                               | 18 |
| 3.4.4          | การศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส              | 19 |
| 3.4.5          | การศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส                               | 19 |
| 3.4.6          | การศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง                           | 20 |
| 3.5            | การประเมินคุณลักษณะวิธี  | 20 |
| 3.5.1          | การสร้างกราฟมาตรฐาน  | 20 |
| 3.5.2          | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)                 | 21 |
| <b>บทที่ 4</b> | <b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>                               | 22 |
| 4.1            | ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ในการทดลอง | 22 |
| 4.2            | ผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง                          | 26 |
| 4.3            | ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง                             | 29 |
| 4.4            | ผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส            | 32 |
| 4.5            | ผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส                             | 36 |
| 4.6            | การศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง                           | 39 |
| 4.7            | ผลการศึกษาการประเมินคุณลักษณะวิธี                              | 43 |
| 4.7.1          | การสร้างกราฟมาตรฐาน  | 43 |
| <b>บทที่ 5</b> | <b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>                             | 45 |
| 5.1            | สรุปผลการวิจัย   | 45 |
| 5.1            | ข้อเสนอแนะ   | 46 |
|                | เอกสารอ้างอิง  | 47 |
|                | ภาคผนวก  | 51 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 มาตรฐานน้ำประปา.....   | 5    |
| 2.2 มาตรฐานน้ำดื่ม.....  | 6    |
| 2.3 มาตรฐานน้ำแร่.....   | 8    |
| 2.4 มาตรฐานน้ำบาดาล.....   | 9    |
| 4.1 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการใช้สารละลาย<br>ซิลเวอร์ไนเตรทในช่วงความเข้มข้น 2-6 มิลลิโมลาร์.....  | 25   |
| 4.2 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการใช้ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ<br>มาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระดับความเข้ม<br>แสงที่ใช้ในการทดลอง..... | 28   |
| 4.3 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการใช้ระยะเวลาในการทดลอง<br>มาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้<br>ในการทดลอง.....             | 32   |
| 4.4 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการสแกนของสารละลาย<br>มาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระยะห่าง<br>ระหว่างไฟกับขวดแก้วใส.....            | 35   |
| 4.5 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการสแกนของสารละลาย<br>มาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระยะห่างขวด<br>แก้วใสกับขวดแก้วใส.....            | 39   |
| 4.6 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการสแกนของสารละลาย<br>มาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษปริมาตรที่<br>ใช้ในการทดลอง.....                   | 43   |
| 4.7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง.....  | 44   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ภาพวงจรสีของแสง แบบแม่สีหลักและแม่สีรอง .....   | 11   |
| 3.1 ภาพจำลองและภาพจริงการใช้เครื่องสแกนเนอร์ในการวิเคราะห์คลอไรด์.....  | 17   |
| 4.1 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของAgNO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการ<br>การทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....                  | 23   |
| 4.2 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของAgNO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการ<br>การทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                 | 23   |
| 4.3 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของAgNO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการ<br>การทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                 | 24   |
| 4.4 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของAgNO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการ<br>การทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                 | 24   |
| 4.5 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของAgNO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการ<br>การทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                 | 25   |
| 4.6 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 1 ที่ได้จาก<br>การใช้ระดับความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....  | 26   |
| 4.7 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 2 ที่ได้จาก<br>การใช้ระดับความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 27   |
| 4.8 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 3 ที่ได้จาก<br>การใช้ระดับความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 27   |
| 4.9 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 4 ที่ได้จาก<br>การใช้ระดับความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 28   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.10 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 1 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                      | 29   |
| 4.11 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 2 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                      | 30   |
| 4.12 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 3 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                      | 30   |
| 4.13 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 4 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                      | 31   |
| 4.14 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 5 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....                      | 31   |
| 4.15 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างของไฟและขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 2 เซนติเมตร ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....             | 33   |
| 4.16 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 33   |
| 4.17 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 5 เซนติเมตร ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....  | 34   |
| 4.18 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 6 เซนติเมตร ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 34   |
| 4.19 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 8 เซนติเมตร ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 35   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูให้เินาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.20 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 0 เซนติเมตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....   | 36   |
| 4.21 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 1 เซนติเมตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....   | 37   |
| 4.22 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 2 เซนติเมตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....   | 37   |
| 4.23 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 3 เซนติเมตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....   | 38   |
| 4.24 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....    | 38   |
| 4.25 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 50 ไมโครลิตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....  | 40   |
| 4.26 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 100 ไมโครลิตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 40   |
| 4.27 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 200 ไมโครลิตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 41   |
| 4.28 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 300 ไมโครลิตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 41   |
| 4.29 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 400 ไมโครลิตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 42   |

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.30 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 500 ไมโครลิตร<br>ที่ใช้ในการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น<br>5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ..... | 42   |
| กราฟมาตรฐานคลอไรด์.....   | 44   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย  |
|-----------------|---|
| $R^2$           | The coefficient of determination                      |
| Image J™        | โปรแกรมวิเคราะห์ค่าความเข้มสีในระบบ RGB               |
| RGB             | ระบบสีที่เกิดจากแสงรวมตัวกันของสีแดง สีเขียว และสีฟ้า |
| SD              | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน                                  |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่โปร่งใส ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น และไม่มีสี เป็นสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักของลำธาร แม่น้ำ และมหาสมุทรในโลก เป็นต้น และยังเป็นของเหลวในสิ่งมีชีวิต "น้ำ" หนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญของร่างกายถึง ร้อยละ 70 ของร่างกาย หากขาดน้ำติดต่อกันถึง 3 วัน อาจทำให้เราถึงเสียชีวิตได้ นั่นแสดงว่า น้ำมีความสำคัญกับการดำรงชีพของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งช่วยดับกระหายคลายร้อน หรือแม้กระทั่งช่วยรักษาโรค และยังมีความสำคัญสำหรับนำมาใช้อุปโภคและบริโภค น้ำแบบไหนที่เราควรเลือกดื่ม ก็ควรเป็นน้ำบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปน อีกทั้งต้องดื่มในปริมาณที่เหมาะสม ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ทั้งนี้ เพื่อรักษาสมดุลในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ ในน้ำที่เราใช้ในการดำรงชีวิตประจำวันมีแร่ธาตุหลายตัวเป็นองค์ประกอบ เช่น โซเดียมคลอไรด์ มีลักษณะเป็นผลึกขาว ละลายในน้ำได้ดี มีรสชาติเค็ม เป็นสารที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ และมีประโยชน์ แม้ว่าโซเดียมคลอไรด์จะเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ และมีประโยชน์ต่อร่างกายมาก แต่ก็เป็นโทษได้เช่นเดียวกัน หากรับประทานในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของร่างกาย ก่อให้เกิดการเสื่อมของไต เพราะเกิดจากการรับปริมาณโซเดียมที่อยู่ในเกลือเป็นจำนวนมากๆ เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากไตทำหน้าที่ในการขับโซเดียม เมื่อไตทำงานได้ลดลงอาจทำให้เกิดการคั่งค้างของเกลือ ทำให้ร่างกายมีการบวม น้ำ และส่งผลให้ความดันโลหิตสูง จึงก่อให้เกิดโรคไต โรคหัวใจและหลอดเลือดตามมาได้ ซึ่งในน้ำดื่มหรือน้ำประปาที่เราใช้ในชีวิตประจำวันก็มีส่วนประกอบของโซเดียมคลอไรด์ [1] องค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำว่า โดยทั่วไปร่างกายต้องการโซเดียมประมาณ 1,500 มิลลิกรัม/วัน แต่ในชีวิตประจำวันของเราอาจจะบริโภคโซเดียมมากกว่านั้น โดยปริมาณโซเดียมสูงสุดที่บริโภคแล้วไม่อันตราย คือ ไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัม/วัน หรือเกลือประมาณ 1 ช้อนชา ส่วนผู้สูงอายุและคนไข้โรคความดันโลหิตสูง ควรบริโภคโซเดียมน้อยกว่าคนธรรมดา คือไม่เกินวันละ 1,500 มิลลิกรัม หรือเกลือประมาณสามในสี่ช้อนชา (3/4 ช้อนชา) [2] นอกจากนี้ในประเทศไทยในช่วงภาวะแล้งมักเกิดปัญหาน้ำประปาเค็มสาเหตุเนื่องจากน้ำเค็มหนุนสูงและรุกล้ำเค็มมาจึงทำให้น้ำประปามีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าปกติ โดยโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแ่งที่แนะนำให้คนปกติรับประทานคือไม่เกิน 6 กรัมต่อวัน หรือคิดเป็นเกลือไม่เกิน 1 ช้อนชาต่อวัน หากรับประทานเกลือมากเกินไป จะเสี่ยงต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูงในอนาคต โดยทั่วไปคนไทยมักแก้ปัญหาโดยเอาน้ำประปามาต้มหรือกรองก่อนดื่ม ซึ่งกระบวนการต้มหรือกรองไม่สามารถกำจัดโซเดียมคลอไรด์ออกจากน้ำประปาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ดังนั้นในภาวะน้ำทะเลหนุนสูง การดื่มน้ำประปา (แม้ว่าจะต้มหรือกรองแล้ว) จะทำให้ร่างกายได้รับ  
 ไม่ว่าการดื่ม น้ำดื่ม อีกทั้งยังมีเห็นแต่แบบส่งเนื้อหา และต้องอย่างองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่มากกว่าปกตินั่นเอง [3] เพื่อให้เราเกิดความมั่นใจในน้ำประปาและน้ำดื่มที่เราใช้ในชีวิตประจำวัน จึงเกิดการตรวจสอบและวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ โดยในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์มีการตรวจสอบและวิเคราะห์หลากหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรโฟโตเมตรี และวิธีโครมาโทกราฟีเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ แต่เป็นวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงในการวิเคราะห์ จึงมีวิธีที่นิยมใช้มาก คือการไทเทรต เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีราคาถูก แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือใช้สารเคมีในปริมาณมากจึงเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อการพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์ โดยใช้วิธีที่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีในขวดสำหรับใส่สาร (National Scientific) ขนาด 2 มิลลิลิตร เพื่อตรวจสอบความขุ่นของคลอไรด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรท เพื่อให้ประยุต์กับการใช้กับวิธีตรวจวัดเชิงสี ด้วยการวิเคราะห์ความเข้มสีจากโปรแกรม Image J™ เนื่องจากหลักการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีจากโปรแกรม Image J™ ใช้รูปภาพในการวิเคราะห์ความเข้มสี โดยใช้กล่องที่กำจัดการรบกวนการตรวจจับจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด โดยกล่องที่สร้างขึ้นมีขนาด กว้าง 21.4 เซนติเมตร x ยาว 29 เซนติเมตร x สูง 5 เซนติเมตร เป็นฝากล่องกระดาษเอสี่ (A4) มาครอบปิดเครื่องสแกนเนอร์ ด้านในใช้ไดโอดเปล่งแสง (แผงไฟLED) ขนาดยาว 26 เซนติเมตร 1 หลอด เป็นแหล่งกำเนิดแสงวางไว้บริเวณขอบของเครื่องสแกนเนอร์เป็นไฟที่ช่วยเพิ่มและกระจายแสงสว่างจากไฟของเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้นเชื่อมเครื่องสแกนเนอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊กทำการสแกนเพื่อนำรูปที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ไปวิเคราะห์ความเข้มสีจากโปรแกรม Image J™ แล้วนำค่า RGB ที่ได้มาเทียบวิเคราะห์คลอไรด์จากกราฟมาตรฐาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีตรวจวัดเชิงสีสำหรับหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำดื่มและน้ำประปา โดยติดตามตรวจวัดจากตะกอนสีขาวจากปฏิกิริยาคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรทด้วยเครื่องสแกนเนอร์ แล้วนำผลไปวิเคราะห์ค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J™

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1). พัฒนารูปแบบการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำอย่างง่ายด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีด้วยเครื่องสแกนเนอร์ โดยตรวจตะกอนขาวจากปฏิกิริยาระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรทโดยควบคุมแสงจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกป้องกันแสงรบกวนเข้าไปในเครื่องสแกน แล้วใช้โปรแกรม Image J™ เพื่อประมวลผลค่าความเข้มสีของภาพสัมพันธ์กับปริมาณคลอไรด์

2). ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์คลอไรด์

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์อย่างง่ายในน้ำดื่ม น้ำแร่ธรรมชาติ รวมไปถึงน้ำประปาที่ใช้อุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ด้วยวิธีการตรวจวัดเชิงสีโดยการใช้เครื่องสแกนเนอร์แบบควบคุมแสง ซึ่งเป็นวิธีการที่เข้าถึงง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้โดยง่ายและใช้สารเคมีและอุปกรณ์ในปริมาณน้อยช่วยลดอัตราการเกิดของเสียและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ช่วยประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และสามารถวิเคราะห์สารได้หลายความเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์ โดยใช้วิธีสแกน แล้วนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Image J<sup>TM</sup> ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมกับ การกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังนี้

### 2.1 คลอไรด์ (Chloride) [4]

2.1.1 คลอไรด์ (Chloride) เป็นไอคอนของคลอรีนเป็นธาตุที่มีประจุลบ (anion) ที่มีมากที่สุด ในร่างกายและกระจายอยู่ในส่วนของของเหลวภายนอกเซลล์ (Extracellular anion) ซึ่งด้วยเหตุนี้ คลอไรด์จึงจัดเป็นธาตุที่มีความสำคัญมาก สำหรับประเภทของคลอไรด์นั้น มีมากมายหลายและชนิด ขึ้นอยู่กับธาตุอีกชนิดหนึ่งที่จะมาจับกับธาตุคลอรีนที่เป็นธาตุต้นกำเนิดของคลอไรด์ ซึ่งตัวอย่าง สารประกอบคลอไรด์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) เป็นต้น สำหรับคลอไรด์ที่ร่างกายได้รับมักจะได้รับจากการบริโภคเป็นส่วนใหญ่ โดยจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) หรือเกลือแกงที่เราใช้ประกอบอาหารและ ร่างกายยังได้รับคลอไรด์จากแหล่งน้ำธรรมชาติอีกด้วย

2.1.2 คลอรีน (Chlorine) [5] เป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง จัดอยู่ในกลุ่มฮาโลเจน (กลุ่ม O) ในตารางธาตุ ที่เป็นธาตุประกอบของเกลือ และสารประกอบอื่นๆ มีลักษณะเป็นก๊าซ สีเขียว ออมเหลือง มีกลิ่นฉุน พบได้ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ ในธรรมชาติ และก๊าซในบรรยากาศ เป็นสาร ที่นำไปใช้ประโยชน์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ตลอดจนสาธารณสุข และที่เห็นได้ชัดเจน คือ การนำมาเป็นสารในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของขบวนการผลิตน้ำดื่ม

### 2.2 ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate) [6]

ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรเคมีคือ AgNO<sub>3</sub> ลักษณะเป็น ผลึกของแข็งไม่มีสีถึงขาว ไม่มีกลิ่น เป็นสารตั้งต้นของสารประกอบเงินหลายชนิด ซิลเวอร์ไนเตรทใช้ใน งานหลายประเภท เช่น ทางการแพทย์ งานถ่ายภาพ การย้อมสี การเคลือบเงินและการทำกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 น้ำประปา น้ำดื่ม น้ำแร่ และน้ำบาดาล

### 2.3.1 น้ำประปา [7]

น้ำประปา หรือน้ำก๊อก คือ น้ำที่ไหลออกมาจากก๊อกน้ำ เริ่มใช้กันมาตั้งแต่ปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 และเป็นสาธารณูปโภคพื้นฐานที่จำเป็นในปัจจุบัน น้ำประปาผลิตมาจากน้ำดิบ สูดเข้าไปยังถังพักตกตะกอน และผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อโรค จากนั้นจึงเพิ่มแรงดันและส่งไปยังท่อน้ำต่าง ๆ ในบ้านของผู้ใช้น้ำ

#### ตารางที่ 2.1 มาตรฐานน้ำประปา [14]

|                       | หน่วย      | มาตรฐานน้ำประปา |
|-----------------------|------------|-----------------|
| สี (Color)            | Pt-CO Unit | ไม่เกิน 15      |
| ความขุ่น (Turbidity)  | NTU        | ไม่เกิน 4       |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | -          | 6.5-8.5         |
| คลอไรด์ (Chloride)    | mg/L       | ไม่เกิน 250     |
| ไนเตรท (Nitrate)      | mg/L       | ไม่เกิน 50      |

#### กระบวนการผลิตน้ำประปา [8]

##### ขั้นตอนที่ 1

สูบน้ำผิวดินหรือน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่นที่จัดหาหรือจัดเตรียมไว้ ซึ่งน้ำดังกล่าวจะมีความขุ่นและมีสารละลายต่าง ๆ รวมถึงโลหะหนักเจือปนอยู่

##### ขั้นตอนที่ 2

ปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบโดยการใส่สารส้มหรือปูนขาวลงไป ในน้ำ เพื่อช่วยให้เกิดการตกตะกอน และปรับค่าความเป็น กรด-ด่างของน้ำดิบ

##### ขั้นตอนที่ 3

การตกตะกอนโดยน้ำที่ผสมสารส้มหรือปูนขาวแล้วจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกลงสู่ก้นถังจนได้น้ำที่มีความใสสะอาด

##### ขั้นตอนที่ 4

กรองเพื่อกำจัดตะกอนหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กมากอีกครั้ง โดยการกรองด้วยทรายกรอง  
ไม่ว่าการกรวดกรอง เพื่อให้ได้น้ำที่มีความใสสะอาดอย่างแท้จริง

### ขั้นตอนที่ 5

ฆ่าเชื้อโดยการใส่คลอรีนในอัตราส่วนที่พอเหมาะและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายแล้วนำไปเก็บไว้ในถังน้ำใสเพื่อรอการสูบน้ำ

### ขั้นตอนที่ 6

ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำประปาที่ผลิตได้

### ขั้นตอนที่ 7

ปล่อยน้ำจากหอถังสูงหรือสูบน้ำเข้าไปในระบบท่อจ่ายน้ำเพื่อเพิ่มแรงดันน้ำ

### 2.3.2 น้ำดื่ม [9]

น้ำที่มาจากแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี โดยอาจเป็นน้ำบาดาลหรือน้ำประปา ซึ่งผ่านการกรองชั้นถ่าน เพื่อดูดกลิ่น และผ่านสารเรซินซึ่งช่วยลดความกระด้างของน้ำลง โดยการจับเกลือแร่ที่มีประจุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม หลังจากนั้นก็ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนในน้ำโดยการผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือก๊าซโอโซน

### ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำดื่ม [15]

|                       | หน่วย      | มาตรฐานน้ำดื่ม |
|-----------------------|------------|----------------|
| สี (Color)            | Pt-CO Unit | ไม่เกิน 15     |
| ความขุ่น (Turbidity)  | NTU        | ไม่เกิน 10     |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | -          | 6.5-8.5        |
| คลอไรด์ (Chloride)    | mg/L       | ไม่เกิน 250    |
| ไนเตรท (Nitrate)      | mg/L       | ไม่เกิน 50     |

### กระบวนการผลิตน้ำดื่ม [8]

#### ขั้นตอนที่ 1

- น้ำประปามาเก็บลงแท็งค์น้ำ สแตนเลส เพื่อพักน้ำและตกตะกอน
- บั๊มสูบน้ำประปาเพื่อจ่ายเข้าระบบเครื่องกรองน้ำ
- เครื่องกรองสแตนเลสบรรจุสารกรองแมงกานีส เพื่อทำหน้าที่ในการกรองน้ำประปา เพื่อลดตะกอนความขุ่นในน้ำ และตะกอนสนิมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นใด เมื่อผู้จัดทำเห็นจำเป็นต้องเปิดเผยขึ้นในทางวิชาการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลที่เป็นเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2

เครื่องกรองสแตนเลสบรรจุสารกรองคาร์บอน เพื่อทำหน้าที่ในการกรองน้ำประปาเพื่อลดตะกอนความขุ่นในน้ำ และจับกลิ่น สี คลอรีนที่มาจากน้ำดิบประปา

## ขั้นตอนที่ 3

เครื่องกรองสแตนเลสบรรจุสารกรองเรซิน เพื่อทำหน้าที่ในการกรองน้ำประปาเพื่อลดความกระด้างของน้ำและจับหินปูนออก

## ขั้นตอนที่ 4

น้ำประปาที่ผ่านสารกรองทั้ง 3 ประเภทแล้ว เรียกว่า น้ำกรอง (soft water) ซึ่งน้ำกรองนี้สามารถบริโภคได้แล้ว แต่ในระบบการผลิต R.O. ยังมีขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 5

น้ำกรองที่เก็บพักในถังน้ำกรอง จะถูกส่งเข้าเครื่องกรองระบบ R.O. น้ำกรองจะผ่านเยื่อกรองเมมเบรนที่ละเอียดถึง 0.0001 ไมครอน หมายความว่าในน้ำกรองนี้ถ้ามีสารละลายที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.0001 ไมครอน ไม่สามารถผ่านทะลุได้ น้ำกรองที่ผ่านเยื่อกรองเมมเบรน 0.0001 ไมครอน เทียบเคียงน้ำบริสุทธิ์แล้ว น้ำ R.O. เหล่านี้จะถูกส่งไปเก็บในถังพักน้ำ R.O.

## ขั้นตอนที่ 6

ถังพักน้ำ R.O. จะส่งน้ำ R.O. ผ่าน OZONE และผ่านแสง Ultraviolet เพื่อฆ่าเชื้อโรคต่างๆ เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนบรรจุขวด เพื่อบริโภคต่อไป

### 2.3.3 น้ำแร่ [10]

น้ำจากธรรมชาติที่มีอยู่ใต้ดินเท่านั้น ไม่สามารถเติมแต่งหรือผสมขึ้นมาได้ น้ำแร่จะมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นส่วนประกอบมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชั้นหินที่น้ำไหลผ่าน ดังนั้นน้ำแร่ธรรมชาติแต่ละแหล่งจะมีแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งแร่ธาตุที่พบเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม ไบคาร์บอเนต คลอไรด์ เหล็ก และซัลเฟต ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ ที่พบในปริมาณน้อยได้แก่ ฟลูออไรด์ ซีลีเนียม แมงกานีส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำแร่<sup>[16]</sup>

|                  | หน่วย | มาตรฐานน้ำแร่ |
|------------------|-------|---------------|
| ความเป็นกรด-ด่าง | -     | 6.4-9.8       |
| ไนเตรท (Nitrate) | mg/L  | ไม่เกิน 50    |
| ทองแดง           | mg/L  | ไม่เกิน 1     |
| โซเดียมคลอไรด์   | mg/L  | ไม่เกิน 1000  |

### กระบวนการผลิตน้ำแร่ [11]

#### ขั้นตอนที่ 1

นำน้ำดิบจากแหล่งธรรมชาติเก็บในถังค้ำน้ำ High Density Polyethylene (HDPE) เพื่อพักน้ำ และตะกอน กรองสารตกค้างด้วยสารกรอง 2 ประเภท คือ 1.สารกรองทราย ทำหน้าที่กรองน้ำดิบ ลดความขุ่น และตะกอนสนิมเหล็ก 2.สารกรองคาร์บอน ทำหน้าที่กรองน้ำดิบเพื่อลดความขุ่น และจับกลิ่น สี คลอรีนในน้ำดิบ

#### ขั้นตอนที่ 2

นำสารป้องกันการเกิดตะกรันในถังกรอง ธาตุต่างๆ เช่น เกลือ แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่มีปริมาณมากเกินไปต้องทำให้ตกตะกอนให้อยู่ปริมาณที่เหมาะสม

#### ขั้นตอนที่ 3

น้ำกรองในถังน้ำกรอง จะถูกส่งเข้าเครื่องกรองระบบ Reverse Osmosis (R.O) น้ำกรองจะผ่านเยื่อกรองเมมเบรนขนาด 0.0001 ไมครอน ส่งไปเก็บในถังพักน้ำ (R.O.)

#### ขั้นตอนที่ 4

นำน้ำที่เก็บในถังพักน้ำเติมแร่ธาตุลงไปในถังเพื่อให้ได้รสชาติและระดับสารอาหาร และปรับระดับ (TDS) ในน้ำ

#### ขั้นตอนที่ 5

น้ำ (R.O.) ที่ปราศจากสิ่งเจือปน แต่อาจมีจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บในถังพักน้ำ ดังนั้นนำน้ำ (R.O.) ผ่านแสง Ultraviolet เพื่อกำจัดจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 6

นำน้ำ (R.O.) ผ่านถังโอโซนเพื่อกำจัดแบคทีเรีย เชื้อรา และยับยั้งไวรัสในน้ำ ก่อนบรรจุลงในขวด

### 2.3.4 น้ำบาดาล [12]

น้ำใต้ดินที่ถูกกักเก็บและสะสมอยู่ภายในช่องว่างและรอยแตกของชั้นหินและชั้นดินตะกอนลึกลงไปได้พื้นดิน จากการหมุนเวียนของ “วัฏจักรน้ำ” (Hydrologic Cycle) ในธรรมชาติ ซึ่งมีจุดกำเนิดจากหยาดน้ำฟ้า (Precipitations) หรือน้ำในบรรยากาศ (Atmospheric Water) ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของน้ำฝน หิมะ เมฆหมอก หรือน้ำที่ตกลงสู่พื้นดินจนกลายเป็นน้ำผิวดิน (Surface Water) ให้กำเนิดแม่น้ำ ลำคลอง และมหาสมุทร น้ำผิวดินบางส่วนไหลลงสู่ใต้ดิน ซึมอยู่ภายในช่องว่างของเม็ดดินกลายเป็นน้ำในดินที่สามารถระเหยกลับไปเป็นน้ำฟ้าอีกครั้ง เมื่อถูกแสงแดดแผดเผา แต่ยังมีบางส่วนที่ไหลลึกลงไปสู่ชั้นหินและชั้นดินตะกอนด้านล่าง เติมเต็มช่องว่างและรอยแตกของชั้นหินเหล่านั้น จนกลายเป็นจุดกำเนิดของแหล่งน้ำใต้ดิน (Subsurface Water)

### ตารางที่ 2.4 มาตรฐานน้ำบาดาล [17]

|                       | หน่วย      | มาตรฐานน้ำบาดาล |
|-----------------------|------------|-----------------|
| สี (Color)            | Pt-CO Unit | ไม่เกิน 15      |
| ความขุ่น (Turbidity)  | NTU        | ไม่เกิน 20      |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | -          | 6.5-9.2         |
| คลอไรด์ (Chloride)    | mg/L       | ไม่เกิน 250     |
| ไนเตรท (Nitrate)      | mg/L       | ไม่เกิน 45      |

### กระบวนการกรองน้ำบาดาล [13]

#### ขั้นตอนที่ 1

สูบน้ำบาดาลมาเก็บไว้ในบ่อพักน้ำ หรือถังเก็บน้ำ ก่อนที่จะกรองน้ำบาดาลให้สูบน้ำบาดาลหรือน้ำดิบมาเก็บไว้ที่บ่อพักน้ำ หรือถังเก็บน้ำ ซึ่งถังเก็บน้ำบาดาลจะมีการติดตั้งปั๊มน้ำเอาไว้เพื่อใช้สำหรับการฟิตสารคลอรีนเข้าไป เพื่อช่วยในการฆ่าเชื้อโรค และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เจือปนมากับน้ำบาดาล จากนั้นตัวปั๊มน้ำก็จะส่งน้ำผ่านท่อเข้าสู่ถังเก็บน้ำไปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2

กรองน้ำบาดาลที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรค หลังจากถึงเก็บน้ำใบที่ 2 ได้ผ่านการฆ่าเชื้อโรคเรียบร้อยแล้ว จะนำน้ำเหล่านี้เข้าสู่ถังกรองน้ำบาดาล ซึ่งจะมี วิธีกรองน้ำบาดาล ผ่านถังกรองน้ำบาดาลที่มีปั๊ม แรงดันจำนวน 4 ถังกรองด้วยกัน คือ ถังกรองความขุ่น ถังกรองสนิมเหล็ก ถังกรองเรซิน ถังกรองกลิน ี และเคมี

## ขั้นตอนที่ 3

กรองความขุ่นของน้ำบาดาล เป็นการกรองความขุ่นของน้ำบาดาล เพราะน้ำบาดาลในตอนแรก จะไม่ได้มีสีใสสะอาด บางครั้งก็จะมีสีขุ่นแบบน้ำคลอง หรือบางทีสีของน้ำบาดาลอาจจะมีส้ม ๆ แดง ๆ

## ขั้นตอนที่ 4

กรองสนิมเหล็กที่เจือปนในน้ำบาดาล โดยธรรมชาติแล้วน้ำบาดาลจะมีตะกอนของเหล็กละลาย ผสมเจือปนอยู่ด้วย เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้งาน สนิมเหล็กยังคงตกค้างเจือปนอยู่ ซึ่งถังกรองสนิม เหล็กก็จะเข้ามามีส่วนช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้

## ขั้นตอนที่ 5

กรองเรซินเพื่อกำจัดหินปูน หากน้ำบาดาลถูกตรวจพบว่ามีหินปูนเจือปนอยู่ สิ่งที่จะต้องทำก็คือ การปรับสภาพน้ำบาดาลด้วยสารกรองเรซิน เพื่อช่วยลดความกระด้างของน้ำบาดาลก่อนนำไปใช้ อุปโภค-บริโภค

## ขั้นตอนที่ 6

กรองกลิน ี เคมีที่มากับน้ำ หลังจากที่ได้ผ่านการกรองความขุ่น กรองสนิมเหล็ก และกรอง หินปูนในน้ำบาดาล ถังกรองน้ำบาดาลใบสุดท้ายจะทำหน้าที่กรองกลินที่ไม่พึงประสงค์ กรองสีของน้ำ บาดาล รวมถึงกรองเอาสารเคมีต่าง ๆ ที่เจือปนมากับน้ำบาดาลออกไป เพื่อให้ได้น้ำบาดาลที่มี คุณภาพ และปลอดภัยกับการใช้งาน

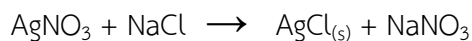
## ขั้นตอนที่ 7

สูบน้ำบาดาลที่ผ่านการกรองเข้าสู่ถังเก็บน้ำ หลังจากที่ได้ผ่าน ขั้นตอนการกรองน้ำบาดาล จะได้ น้ำบาดาลที่มีคุณภาพเอาไว้ใช้งาน ซึ่งถังเก็บน้ำใบนี้จะมีปั๊มน้ำแบบอัตโนมัติ ที่จะเปิด-ปิดการจ่ายน้ำ ตามการใช้งานภายในบ้าน ชุมชม โรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรท

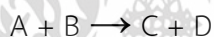
การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการผสมระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ( $\text{AgNO}_3$ ) กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) จะมองเห็นตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ ( $\text{AgCl}$ ) เกิดขึ้นดังสมการ



การเกิดปฏิกิริยาเคมี

เป็นกระบวนการที่สารหนึ่งชนิดหรือมากกว่าเข้าไปทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดสารใหม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบโครงสร้างและสมบัติ เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งเขียนแทนด้วย สมการเคมี (chemical equation) การเกิดปฏิกิริยาเคมีประกอบด้วยสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาเรียกว่า ตัวทำปฏิกิริยา (reactant) และสารที่เป็นผลของปฏิกิริยาเรียกว่า สารผลิตภัณฑ์ (product)

สารตั้งต้น  $\rightarrow$  สารผลิตภัณฑ์

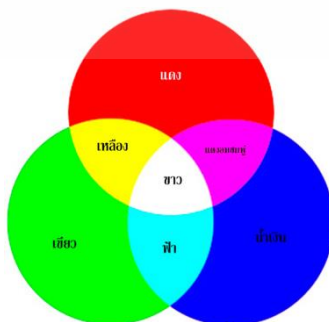


A และ B คือสารตั้งต้น หรือตัวทำปฏิกิริยา

C และ D คือสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ระบบทั้งหมดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานด้วยซึ่งพลังงานที่เกี่ยวข้อง คือ พลังงานความร้อน บางปฏิกิริยาเมื่อมีความร้อนถูกปล่อยออกมาทำให้ระบบร้อนเรียกว่าปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) แต่เมื่อต้องดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปทำให้ระบบเย็น เรียกว่า ปฏิกิริยาดูดกลืนความร้อน (endothermic reaction) ปฏิกิริยาทั้งสองเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบซึ่งเรียกว่า เอนทัลปี (enthalpy)

## 2.5 ระบบสี RGB [19]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก **รูปที่ 2.1** ภาพวงจรสีของแสง แบบแม่สีหลักและแม่สีรอง [19] ครั้งที่มีการนำไปใช้

RGB ย่อมาจาก red, green และ blue คือระบบสีของแสง เกิดจากการหักเหของแสง กลายเป็นสีรุ้ง 7 สี แสงสีม่วงจะมีความถี่สูงสุดเรียกว่า อุลตราไวโอเล็ต และแสงสีแดงจะมีความถี่ต่ำสุด เรียกว่าอินฟราเรด คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วงและต่ำกว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์จะไม่สามารถมองเห็นได้ แสงสีทั้งหมดเกิดจาก แสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red), สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง

แม่สีของแสงมีด้วยกัน 3 สี คือ สีแดง (R), สีเขียว (G), สีน้ำเงิน (B) และแต่ละแม่สีเมื่อรวมกันก็จะได้สี ดังนี้

สีแดง+สีเขียว ได้ สีเหลือง Yellow

สีเขียว+น้ำเงิน ได้ สีฟ้า Cyan

สีแดง+สีน้ำเงิน ได้ สีแดงอมชมพู Magenta

เมื่อนำแม่สีของแสงทั้ง 3 มาผสมกัน ในปริมาณแสงสว่างเท่ากันจะได้แสงสีขาว แต่ถ้าผสมกันในปริมาณแสงสว่างต่างกัน ก็จะได้ผลที่เป็นแสงสีต่าง ๆ มากมายเป็นล้านสี ส่วนใหญ่การใช้สีลักษณะนี้จะใช้ในอุปกรณ์เกี่ยวกับแสง เช่น จอภาพ กล้องดิจิทัล สแกนเนอร์ เป็นต้น

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 การวิเคราะห์คลอไรด์โดยใช้การไทเทรต

Khoirul Ngiba และคณะ [20] ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในบ่อน้ำและน้ำ PDAM ในหมู่บ้าน Ngelom, Sidoarjo โดยวิธีไทเทรตแบบ Mohr argentometric ตัวอย่างที่ใช้คือน้ำบาดาลและน้ำ PDAM โดยแต่ละตัวอย่างนำมาจากสถานที่ 20 แห่งในหมู่บ้าน Ngelom นำตัวอย่างน้ำไปเติม  $K_2CrO_4$  เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปไทเทรตโดยใช้สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรตจนกระทั่งถึงจุดยุติจะเกิดตะกอนสีแดงอิฐ

Clifford E Hubach [21] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในไวน์ สุรากลั่น และน้ำส้มสายชูหมักไวน์ขาว โดยการไทเทรตโดยตรงด้วยซิลเวอร์ไนเตรต ตามด้วยการอ่านค่าโพเทนชิโอเมตริกของจุดยุติ ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและทำซ้ำได้ ขั้นตอนนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ซ้ำๆ ในห้องปฏิบัติการควบคุม และยังสามารถปรับให้เข้ากับการระบุที่ต้องการความแม่นยำสูง การคืนกลับของคลอไรด์ที่เติมลงในตัวอย่างมีค่าเฉลี่ย 99.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ

มยุร หล่ำสุบ และคณะ [22] ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ (Cl) โดยวิธีไอออนโครมาโตกราฟีในตัวอย่างน้ำดื่มจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์คือ column: IonPac AS 15, eluent: KOH 10 mM, flow rate: 0.25 mL/min, injected volume: 25  $\mu$ L และ detector: suppressed conductivity โดยสร้างกราฟมาตรฐานมาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในน้ำดื่ม

จรรุญ จันทรสมบูรณ์ และคณะ [23] ได้ศึกษาพัฒนาวิธีใหม่ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำยาผสมคอนกรีตและวัสดุผสมคอนกรีตโดยเทคนิคโฟลอินเจกชันโพเทนชิอเมตริอย่างง่ายซึ่งใช้โซลินอยด์วาล์วสามทางที่ควบคุมด้วยไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ในการฉีดสารและพัฒนาหัวไฟฟ้าเลือกจำเพาะคลอไรด์ไอออนที่สามารถสร้างได้ง่ายจากลวดเงินมาเป็นตัวเซ็นเซอร์ โดยสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวหรือสารละลายที่ได้จากการสกัดตัวอย่างของแข็งจะถูกฉีดเข้าสู่กระแสตัวพา(น้ำ) ซึ่งจะไหลไปรวมกับสารละลาย 0.1 โมลาร์โพแทสเซียมไนเตรตและไหลผ่านเข้าไปยังส่วนที่ตรวจวัดซึ่งเมื่อสารละลายสัมผัสกับตัวเซ็นเซอร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าและถูกบันทึกออกมาเป็นพีคสามารถสร้างกราฟมาตรฐานในช่วง 10 - 100 mg/L โดยมีขีดจำกัดของการตรวจวัดที่ 2 mg/L ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์โดยทำการฉีดสารละลายมาตรฐาน คลอไรด์ที่ความเข้มข้น 20, 60 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตรจำนวน 7 ซ้ำเท่ากับ 1.0, 1.2 และ 0.6 % ตามลำดับ วิธีนี้มีอัตราการวิเคราะห์ตัวอย่าง 60 ตัวอย่างต่อชั่วโมง โดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์และน้ำที่เป็นกระแสตัวพาอย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อการวิเคราะห์ 1 ตัวอย่าง วิธีที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องเทียบเท่ากับวิธีมาตรฐานอังกฤษ

## 2.6.3 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์

เบญจวรรณ นิลวงศ์ [24] ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำดื่มของโรงเรียนในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยอุปกรณ์ของไหลจุลภาคบนกระดาษ อุปกรณ์ที่สร้างโดยการสกรีนด้วยเทียมนและออกแบบให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความจำเพาะเจาะจงต่อการวิเคราะห์นิกเกิล(II) อลูมิเนียม(III) และเหล็ก(II) ในระดับmg/L to อุปกรณ์ปฏิบัติการบนกระดาษจะกำหนดส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ บริเวณตรวจวัดจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนระหว่างนิกเกิล(II) กับ Dimethylglyoxime (DMG) เกิดเป็นสีชมพู ส่วนอลูมิเนียม(III) จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับสารสกัดกะหล่ำปลีสีม่วงเกิดเป็นสีน้ำเงิน และเหล็ก(II) จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อน กับ 1,10-phenanthroline ให้สีส้มแดง บันทึกผลการทดลองด้วยเครื่องสแกนเนอร์และหาความเข้มข้นด้วยโปรแกรม image J<sup>TM</sup> ในโหมดสีเทา ภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสม และสร้างกราฟมาตรฐานขึ้นมาเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ วิธีนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้รวดเร็ว ย่อยสลายได้ดี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรัชพร อุทัยรังษี [25] ได้ศึกษาการตรวจวัดหาปริมาณวิตามินซี ซึ่งวิตามินซี หรือ L-ascorbic acid เป็นวิตามินที่ละลายได้ดีในน้ำ เมื่อถูกออกซิไดซ์จะเปลี่ยนเป็น dehydroascorbic acid เนื่องจากวิตามินซีเป็น reducing agent ที่ดี จึงถูก oxidize ได้ง่าย ทำหน้าที่เป็น antioxidant ป้องกันสารอื่นไม่ให้ถูก oxidize ได้ง่าย โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างวิตามินซีกับ  $Fe^{3+}$  ซึ่งวิตามินซี จะให้อิเล็กตรอน แก่  $Fe^{3+}$  เกิดเป็น  $Fe^{2+}$  ที่สามารถทำปฏิกิริยาต่อเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนปรัสเซียนบลู (Prussian blue,  $K_3Fe[FeCN_6]$ ) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสี โดยความเข้มสีที่เกิดขึ้นแปรผันตามความเข้มข้นของวิตามินซี ซึ่งวิเคราะห์ความเข้มสีจากภาพถ่ายที่ได้จากการใช้เครื่องสแกนเนอร์ ด้วยโปรแกรม Image J™ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์
2. ซิลเวอร์ไนเตรท
3. น้ำกลั่น

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (A210S, Sartorius, เยอรมัน)
2. ไมโครปิเปตปริมาตร 100 ไมโครลิตร (METTLER TOLEDO)
3. แท่งแก้วคนสาร
4. ปิเปตแก้ว ขนาด 15 มิลลิลิตร
5. ปีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
6. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 50 100 มิลลิลิตร
7. ขวดแก้วใสขนาด 2 มิลลิลิตร
8. หลอดไฟ LED (12 V) เป็นแหล่งกำเนิดแสง
9. ฝากล่องขนาด A4 (กว้าง 21.4 cm x ยาว 29 cm x สูง 5 cm)
10. เครื่องสแกนเนอร์ (Cannon CanoScan LIDE210)
11. โน้ตบุ๊ก (Acer Aspire E1-570)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเตรียมสารละลาย

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.1647 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

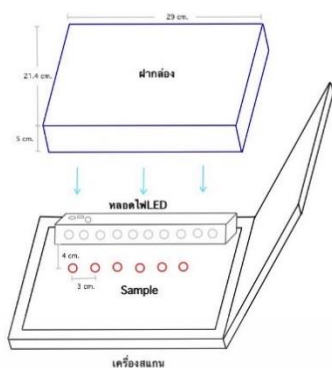
เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 0, 0.125, 0.25, 0.625, 1.25 และ 2.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

#### 3.3.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 1.69 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6.76 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 3.1 แผนภาพจำลองและภาพจริงการใช้เครื่องสแกนเนอร์ในการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์

### 3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.4.1 การศึกษาความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ในการทดลอง

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟิลล์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน
5. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™
6. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟิลล์กับค่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและหาสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2. การศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์
5. เปิดไฟตั้งแต่ระดับที่ 1, 2, 3 และ 4 ทำการสแกนที่แต่ละระดับ
6. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™
7. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าความเข้มสีของแสงไฟระดับต่างๆและหาสมการเส้นตรง

### 3.4.3. การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. ตั้งสารทิ้งไว้ ตั้งแต่นาทีที่ 1,2,3,4 และ 5 นาที และสแกนแต่ละช่วงเวลา
4. นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดไฟระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน
5. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™
6. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลาย

มาตรฐานคลอไรด์กับค่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง และหาสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.4.4. การศึกษาระยะห่างระหว่างไฟกับขวดแก้วใส

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส ตั้งแต่ระยะที่ 2 4 5 6 และ 8 cm. เปิดฝาขวดจากนั้นนำฝาครอบปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดไฟระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน
5. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™
6. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าระยะห่างระหว่างไฟและขวดแก้วใส และหาสมการเส้นตรง

#### 3.4.5. การศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
4. ระยะห่างระหว่างขวด ตั้งแต่ระยะที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฝาครอบปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดไฟระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน
5. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™
6. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าระยะห่างระหว่างขวด และหาสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.6 การศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดไฟระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน
5. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™
6. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทกับค่าความเข้มสีของปริมาณสารละลาย และหาสมการเส้นตรง

## 3.5 การประเมินคุณลักษณะวิธี

### 3.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ)
3. เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน
5. นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลาย  
มาตรฐานคลอไรด์กับค่าความเข้มข้นของสีในระบบ RGB และหาสมการเส้นตรง

### 3.5.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือการวัดการกระจายของกลุ่มข้อมูลสมมติ ถ้าเราเห็นค่ากลาง  
ของข้อมูล ค่าหนึ่งนั้น เราไม่สามารถรู้ได้เลยว่า กลุ่มข้อมูล มีการกระจายตัวอย่างใดดังนั้นเราจึงต้องมี  
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อวัดการกระจายของข้อมูล สูตรคือ

$$S.D = \sqrt{\frac{\sum(x-x^2)}{N}}$$

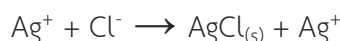


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์การตรวจวัดเชิงสีจากรูปภาพ สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำชนิดต่าง ๆ โดยในการทดลองปฏิกิริยาระหว่างสารละลายคลอไรด์กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ซึ่งมีสมการการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

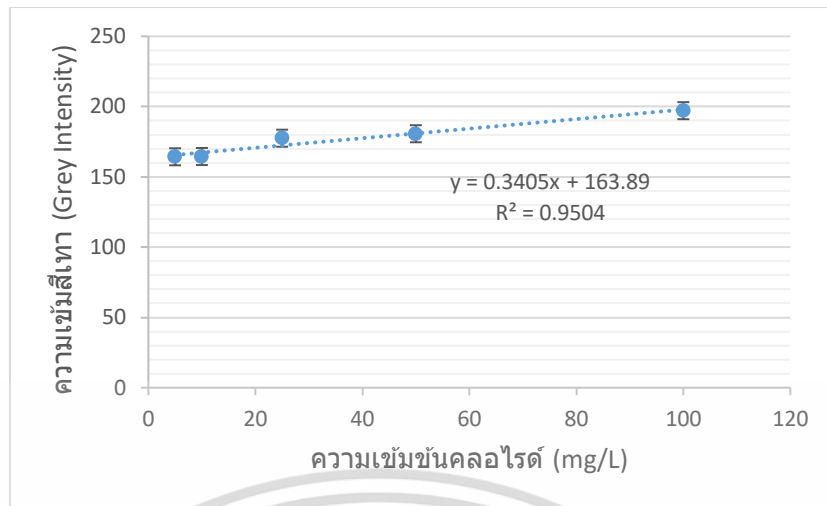


ทำการทดลองในขวดแก้วใสขนาดความจุ 2 มิลลิลิตร เกิดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ เป็นผลิตภัณฑ์ทำให้สารละลายมีสีขาวขุ่น ใช้เครื่องสแกนเนอร์ในการสแกนนำรูปถ่ายเพื่อบันทึกภาพสีของสารละลาย และประมวลผลค่าความเข้มสี RGB ของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ™ ทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ที่ได้ผลการทดลองดังนี้

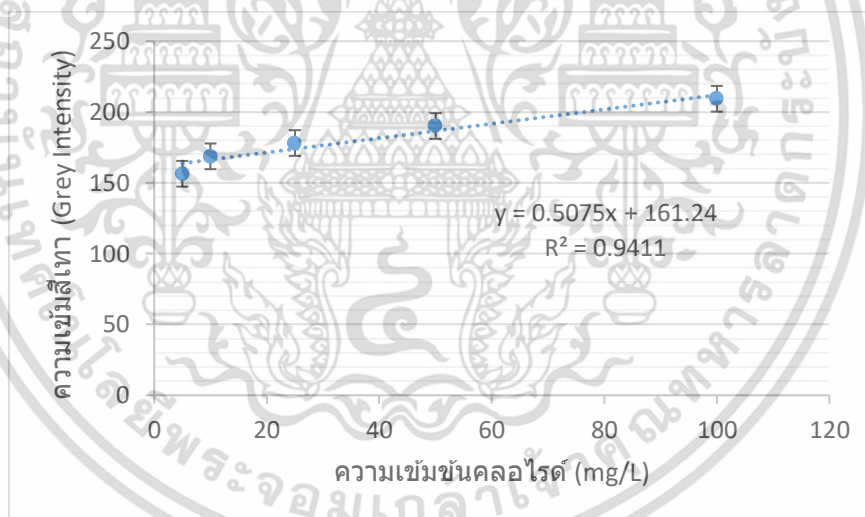
#### 4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ในการทดลอง

ทำการศึกษาการวิเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มสี โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร และ ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) จากนั้นเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นนำขวดสารละลายวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างระหว่างขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฝากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน จากนั้นนำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ แล้ว สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและหาสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

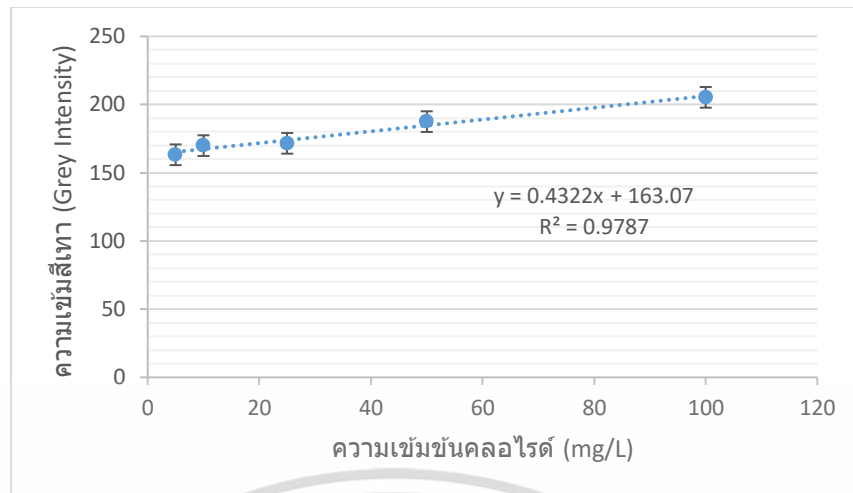


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

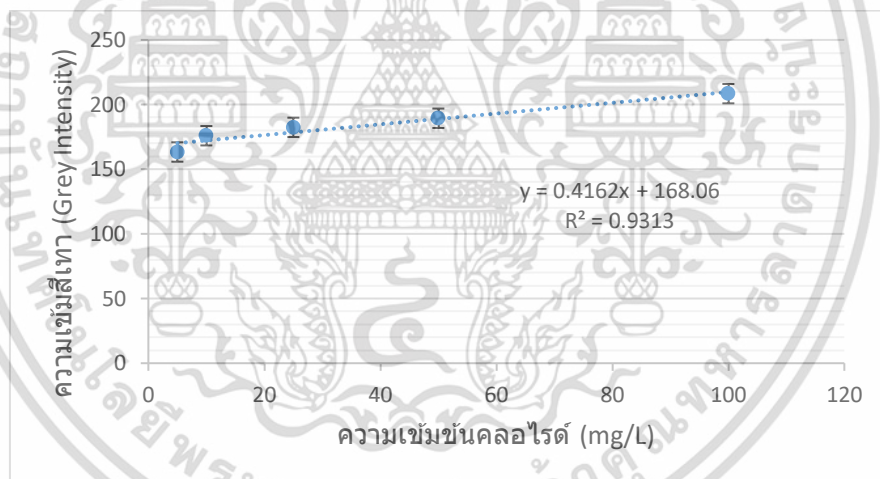


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

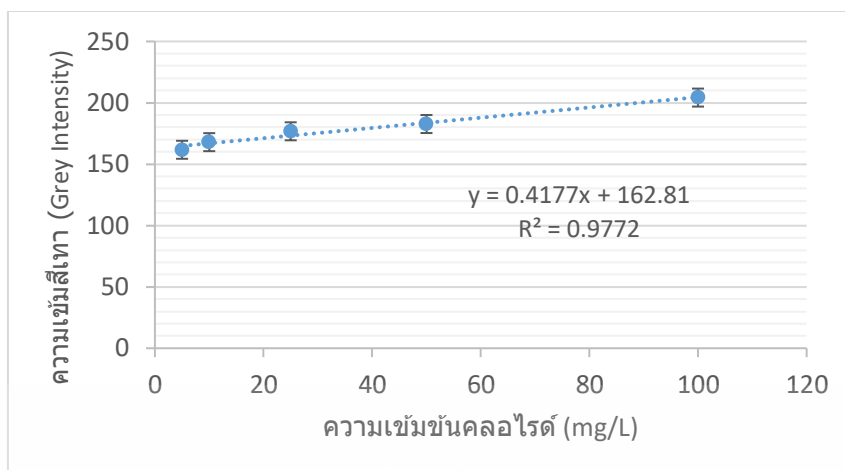


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.1 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทในช่วงความเข้มข้น 2 - 6 มิลลิโมลาร์

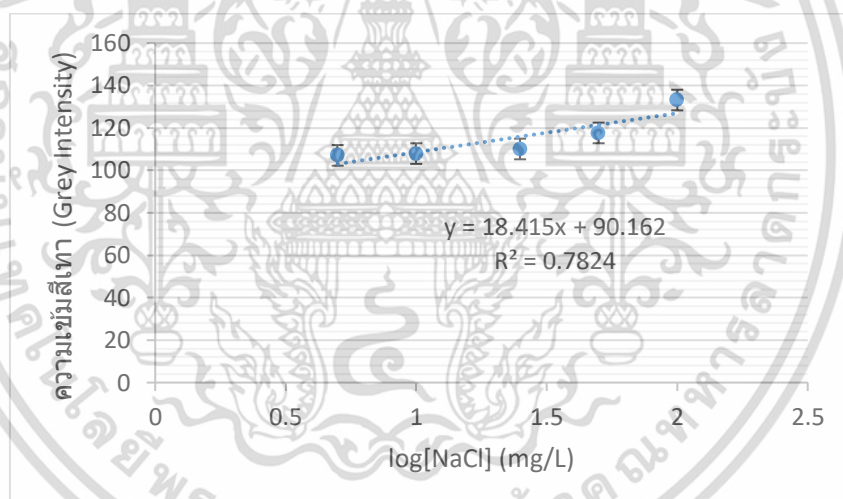
| [ $\text{AgNO}_3$ ] [mM] | สมการเส้นตรง           | ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) |
|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 2                        | $y = 0.3405x + 163.89$ | 0.9504                               |
| 3                        | $y = 0.5075x + 161.24$ | 0.9411                               |
| 4                        | $y = 0.4322x + 163.07$ | 0.9787                               |
| 5                        | $y = 0.4162x + 168.06$ | 0.9313                               |
| 6                        | $y = 0.4177x + 162.81$ | 0.9772                               |

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของการใช้สารละลาย  $\text{AgNO}_3$  พบว่าความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  6 มิลลิโมลาร์ มีค่า  $R^2 = 0.9772$  ซึ่งมีค่า  $R^2$  เป็นค่าที่เหมาะสม ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  6 มิลลิโมลาร์เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับสารมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและหากตัวอย่างน้ำประปามีค่าคลอไรด์เกินกว่า 6 มิลลิโมลาร์ให้นำตัวอย่างไปเจือจางไม่ให้เกินความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ เพราะถ้าตัวอย่างมีค่าเกิน 6 มิลลิโมลาร์แสงแต่แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองจะไม่สามารถตรวจวัดค่าความเข้มสีคลอไรด์ได้

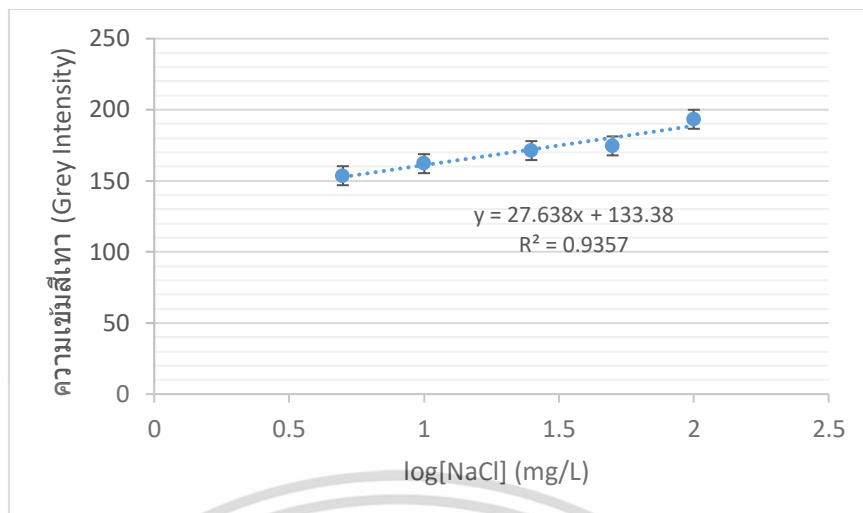
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง

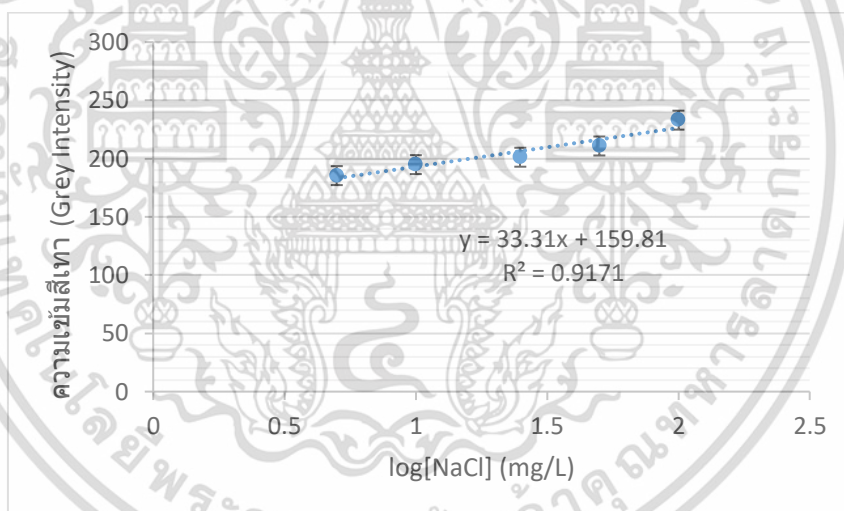
ทำการศึกษารววิเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มสี โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้น ดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) ทำการ เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที และ นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น เปิดแหล่งกำเนิดแสงตั้งแต่วัดระดับความเข้มแสงที่ 1, 2, 3 และ 4 ทำการสแกนที่ละระดับ และนำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้น สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าความเข้มของแสงระดับต่างๆและหาสมการเส้นตรง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 1 ที่ได้จากการใช้ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ในการทดลอง สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

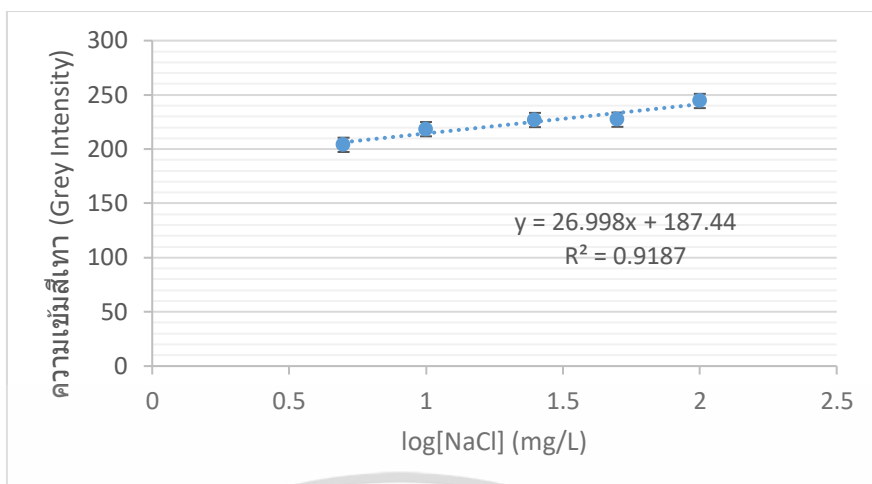


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 2 ที่ได้จากการใช้ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ในการทดลองสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 3 ที่ได้จากการใช้ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ในการทดลองสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.9** กราฟแสดงผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับความเข้มแสงที่ 4 ที่ได้จากการใช้ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ในการทดลอง สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

**ตารางที่ 4.2** สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการใช้ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง

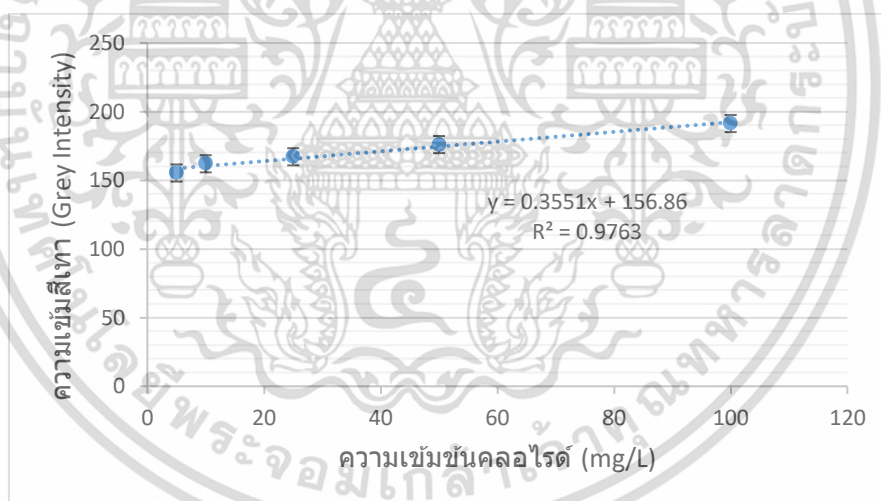
| ระดับแสงไฟ | สมการเส้นตรง           | ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) |
|------------|------------------------|--------------------------------------|
| 1          | $y = 18.415x + 90.162$ | 0.7824                               |
| 2          | $y = 27.638x + 133.38$ | 0.9357                               |
| 3          | $y = 33.31x + 159.81$  | 0.9171                               |
| 4          | $y = 26.998x + 187.4$  | 0.9187                               |

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ของค่าระดับไฟในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าที่ระดับความเข้มแสงที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9357 ซึ่งมีค่า  $R^2$  มากกว่าระดับความเข้มแสงอื่นและผลลัพธ์ค่าประมวลผลจากโปรแกรม Image J™ มีช่วงความเข้มของแสงที่เหมาะสมมากกว่าความเข้มแสงระดับอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

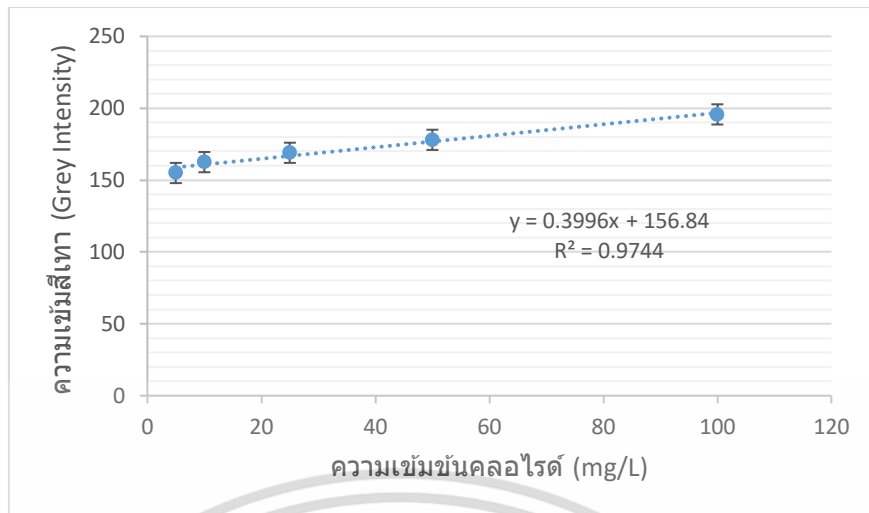
### 4.3 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ทำการศึกษากาการวิเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มสี โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) และตั้งสารทิ้งไว้ ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที และสแกนแต่ละช่วงเวลา จากนั้น นำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน และนำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้น สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง และหาสมการเส้นตรง

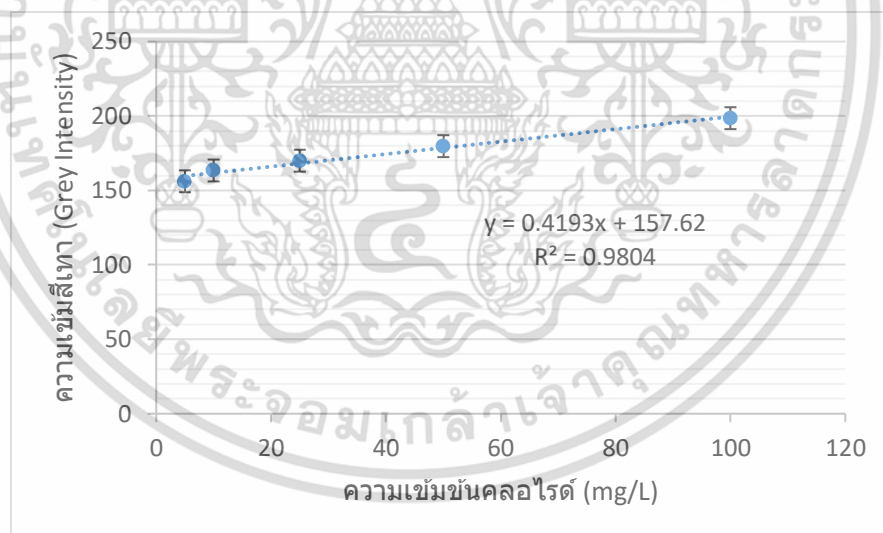


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 1 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

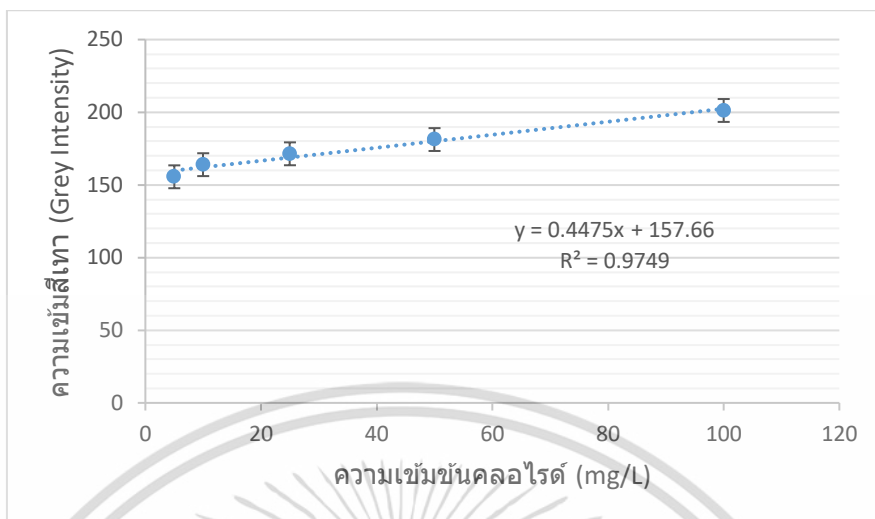


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 2 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

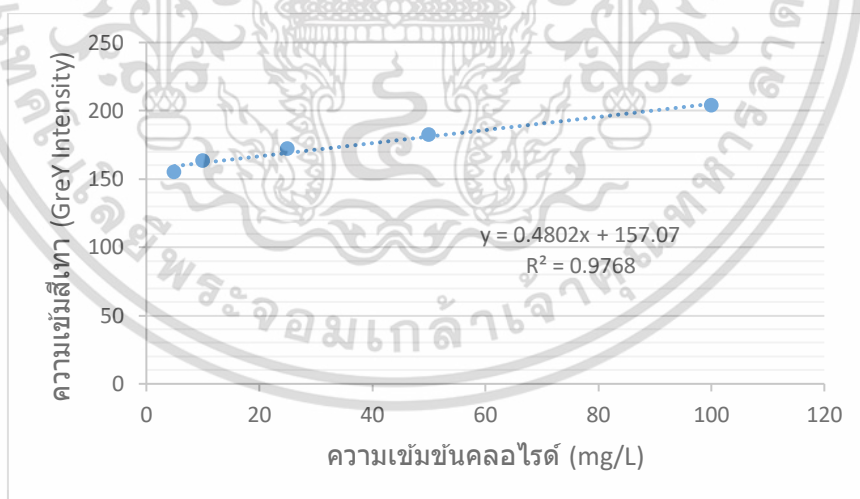


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 3 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 4 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ช่วงเวลาที่ 5 นาที ที่ใช้ในการทดลองระยะเวลาการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการใช้ระยะเวลาในการทดลองการเกิดตะกอนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

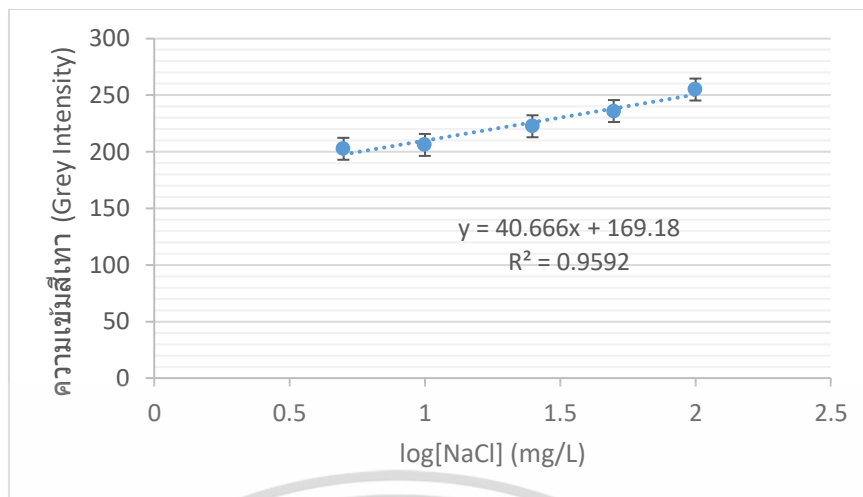
| ระยะเวลา (นาท) | สมการเส้นตรง           | ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) |
|----------------|------------------------|--------------------------------------|
| 1              | $y = 0.3551x + 156.86$ | 0.9763                               |
| 2              | $y = 0.3996x + 156.84$ | 0.9744                               |
| 3              | $y = 0.4193x + 157.65$ | 0.9804                               |
| 4              | $y = 0.4475x + 157.66$ | 0.9749                               |
| 5              | $y = 0.4802x + 157.07$ | 0.9768                               |

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองพบว่า ระยะเวลาช่วงที่ 3 นาทีมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9804 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) มากกว่าช่วงเวลานอื่นๆที่ใช้ในการทดลองและเป็นช่วงที่สารทำปฏิกิริยาในการทดลองได้อย่างเหมาะสม

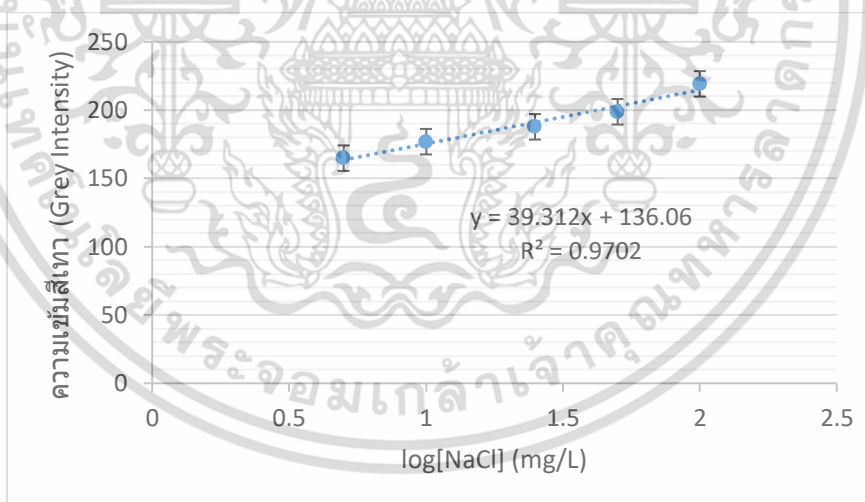
#### 4.4 ผลการศึกษาระยะห่างระหว่างไฟกับขวดแก้วใส

ทำการศึกษากาการวิเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มสี โดยใช้โมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) และเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นนำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส ตั้งแต่ระยะที่ 2, 4, 5, 6 และ 8 cm. เปิดฝาขวดจากนั้นนำฝากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน และนำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับระยะห่างระหว่างไฟและขวดแก้วใส และหาสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

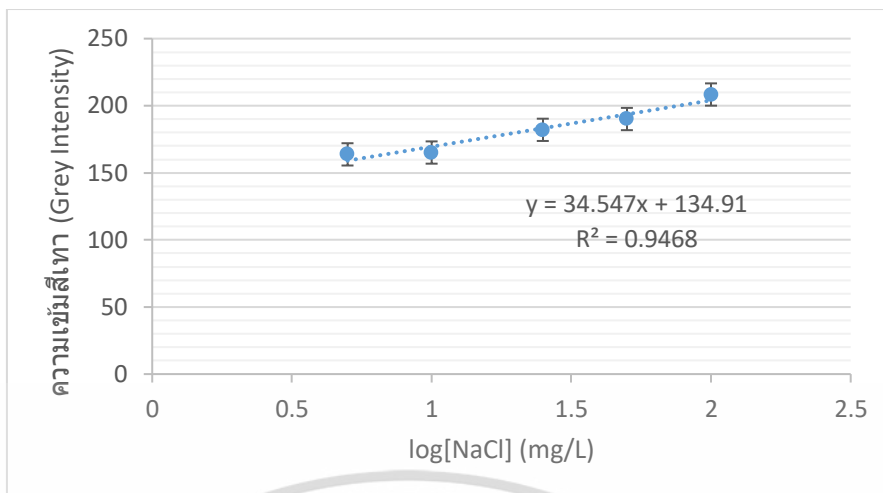


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 2 เซนติเมตร ที่ใช้ในการทดลองระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

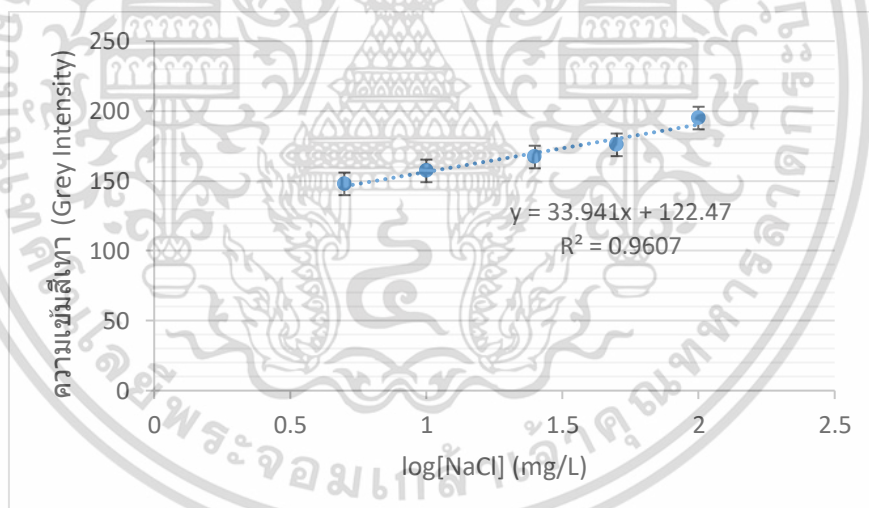


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใสที่ระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร ที่ใช้ในการทดลองระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

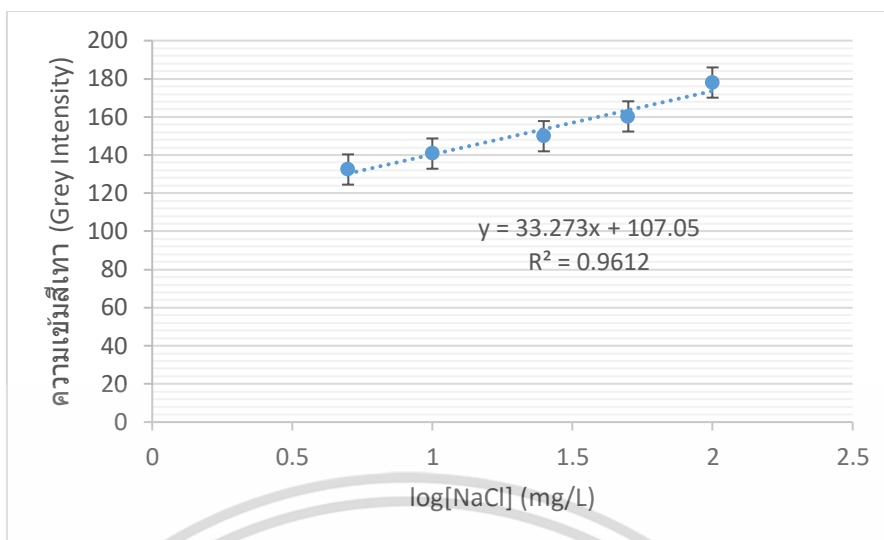


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 5 เซนติเมตร ที่ใช้ในการทดลองระยะห่างระหว่างของแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 6 เซนติเมตร ที่ใช้ในการทดลองระยะห่างระหว่างของแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 8 เซนติเมตร ที่ใช้ในการทดลองระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.4 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการสแกนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส

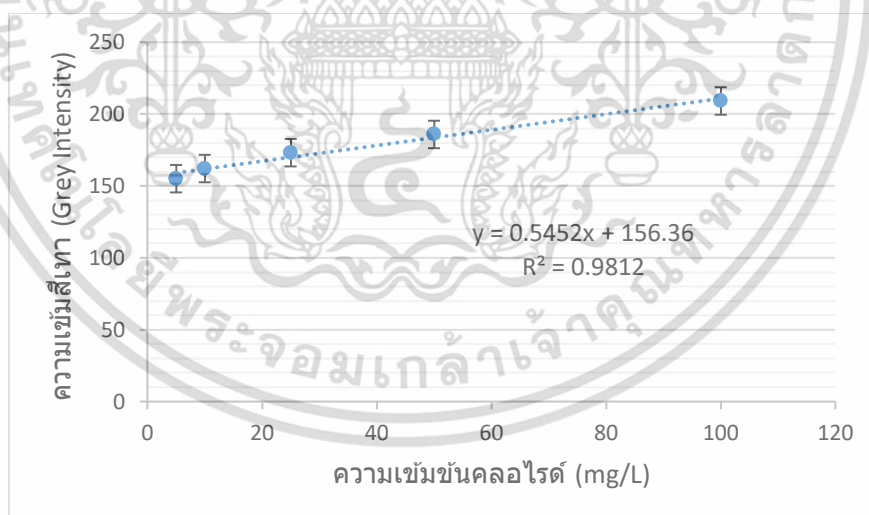
| ระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงและขวดแก้วใส (cm) | สมการเส้นตรง           | ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) |
|--|------------------------|--------------------------------------|
| 2  | $y = 40.666x + 169.18$ | 0.9592                               |
| 4  | $y = 39.312x + 136.06$ | 0.9702                               |
| 5  | $y = 34.547x + 134.91$ | 0.9468                               |
| 6  | $y = 33.941x + 122.47$ | 0.9607                               |
| 8  | $y = 33.273x + 107.05$ | 0.9612                               |

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส พบว่าระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9702 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) มากกว่าระยะห่างอื่นๆที่ใช้ในการทดลองจึงเป็นระยะห่างที่เหมาะสมในการประมวลผลของเครื่องสแกนเนอร์เพราะหากแหล่งกำเนิดแสงมีระยะห่างกับขวดแก้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใสมากจนเกินไปเครื่องสแกนเนอร์จะไม่สามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้นคลอไรด์ได้ เพราะมีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวน

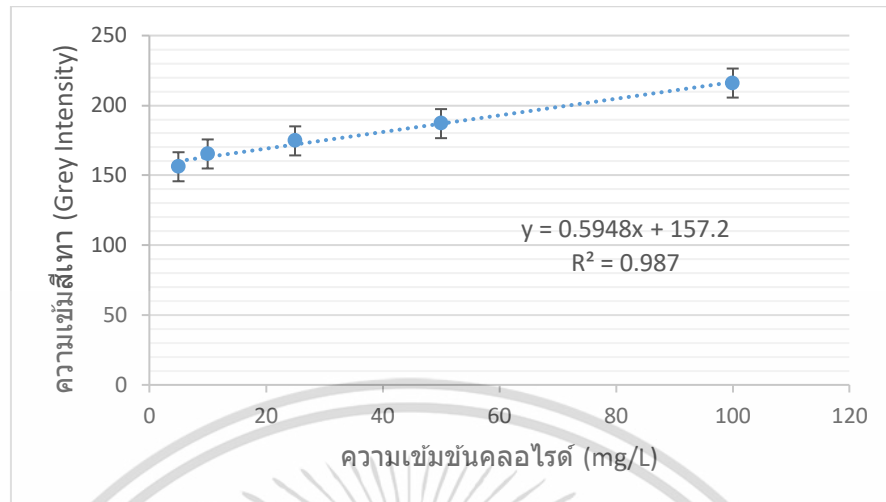
#### 4.5 ผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส

ทำการศึกษาการวิเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มข้น โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิเมตร และดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) จากนั้นเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที และระยะห่างระหว่างขวด ตั้งแต่ระยะที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 cm. เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน จากนั้นนำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มข้นในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าระยะห่างระหว่างขวด และหาสมการเส้นตรง

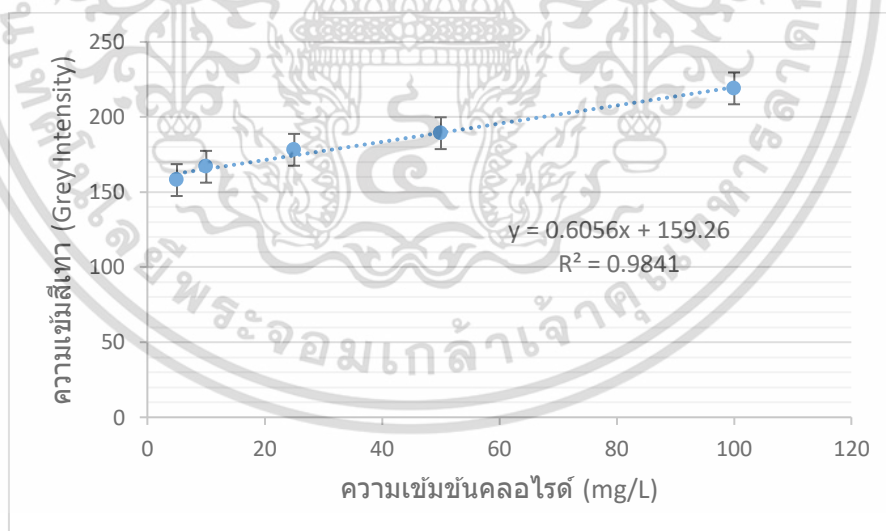


**รูปที่ 4.20** กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 0 เซนติเมตร ที่ใช้ในการทดลองระยะห่างระหว่างขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

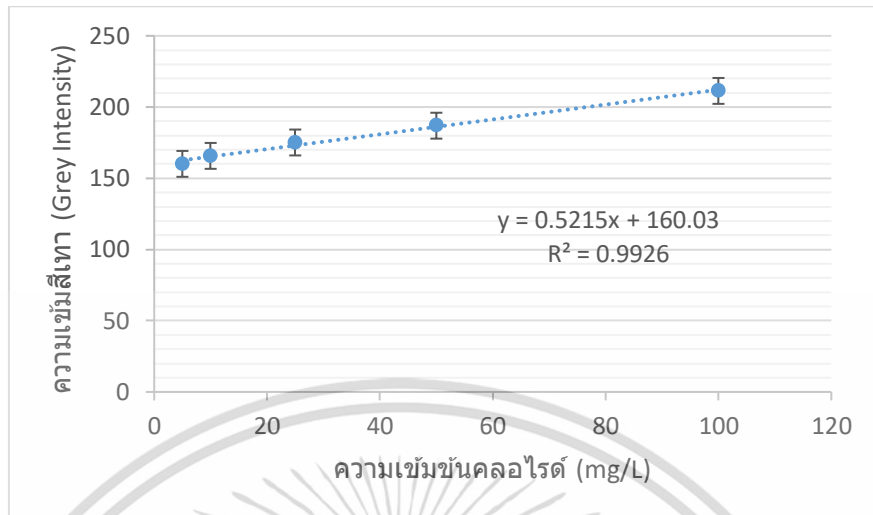


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 1 เซนติเมตร ที่ใช้ในการระยะห่างระหว่างขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

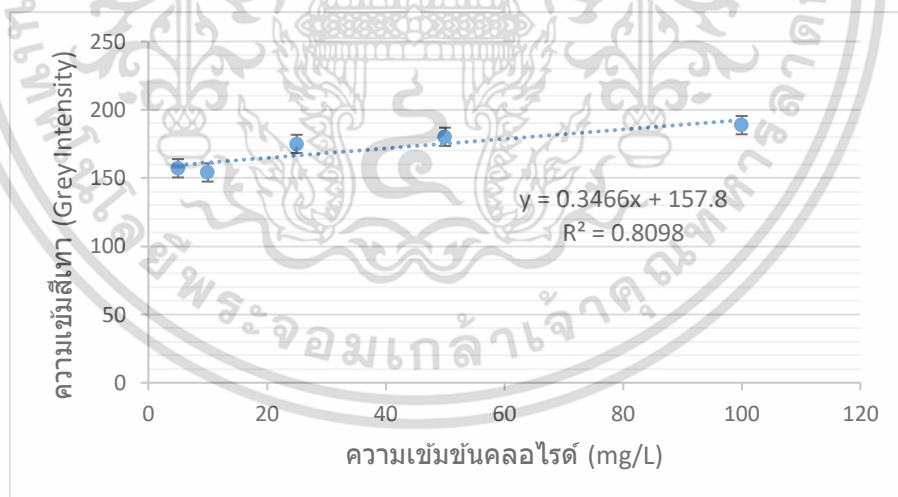


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 2 เซนติเมตร ที่ใช้ในการระยะห่างระหว่างขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 3 เซนติเมตร ที่ใช้ในการระยะห่างระหว่างขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลการศึกษาระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส ที่ระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร ที่ใช้ในการระยะห่างระหว่างขวดแก้วใสที่เหมาะสมต่อการสแกนภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์กับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการสแกนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาระยะห่างขวดแก้วใสกับขวดแก้วใส

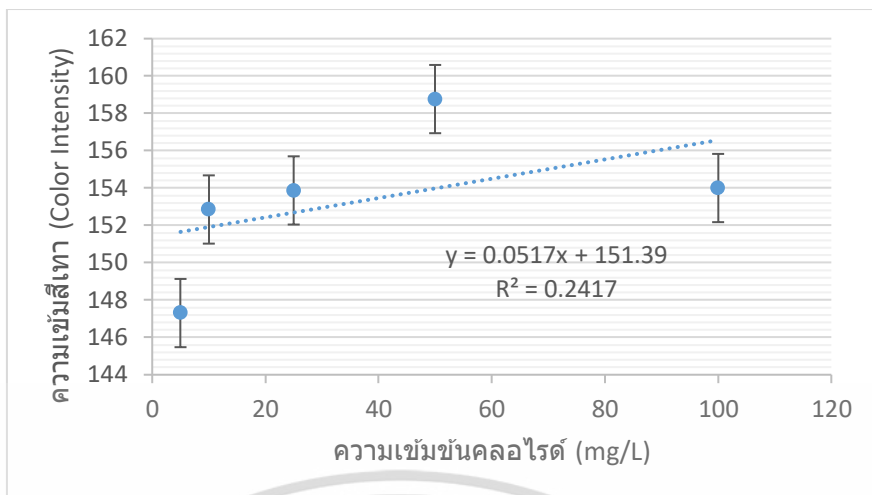
| ระยะห่างขวดแก้วใสกับขวดแก้วใส (cm) | สมการเส้นตรง           | ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) |
|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 0                                  | $y = 0.5452x + 156.36$ | 0.9812                               |
| 1                                  | $y = 0.5948x + 157.2$  | 0.987                                |
| 2                                  | $y = 0.6056x + 159.26$ | 0.9841                               |
| 3                                  | $y = 0.5215x + 160.03$ | 0.9926                               |
| 4                                  | $y = 0.3466x + 157.8$  | 0.8098                               |

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของระยะห่างระหว่างขวดแก้วใส พบว่าระยะห่างที่ 3 เซนติเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9926 ซึ่งค่า  $R^2$  ทั้งหมดมีค่า  $R^2$  ในช่วงที่ใกล้เคียงกันซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่มีผลต่อการทดลองแต่เป็นช่วงระยะห่างที่พอดีกับเครื่องสแกนเนอร์และสามารถวางขวดแก้วใสตามจำนวนที่ใช้ในการทดลองได้พอดี

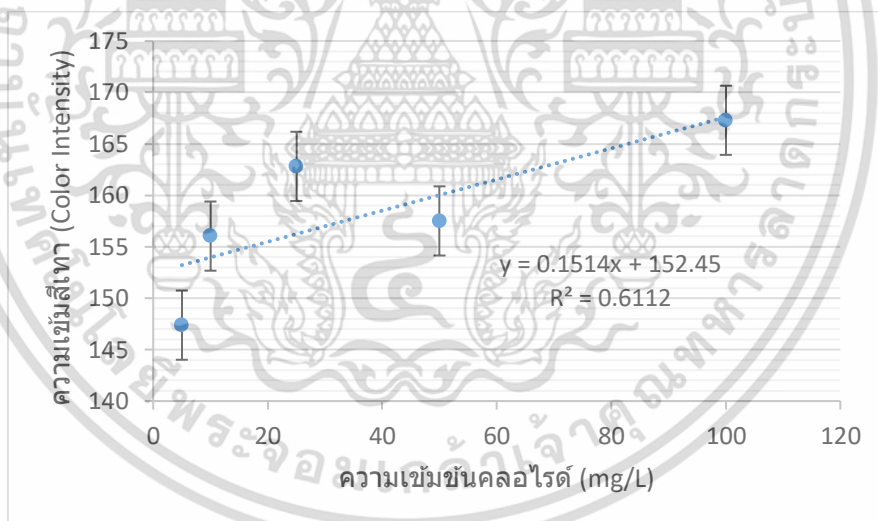
#### 4.6 ผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายในการทดลอง

ทำการศึกษากการวิเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มข้น โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 100 200 300 400 และ 500 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร และดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 6 มิลลิโมลาร์ ตั้งปริมาตร 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) จากนั้น เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที และนำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฟากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน นำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มข้นในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทกับค่าความเข้มข้นของสีในระบบ RGB และหาสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

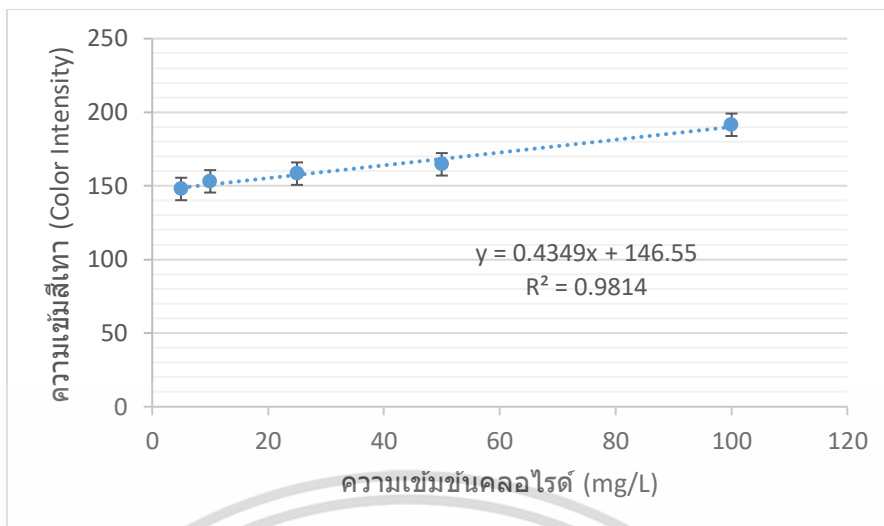


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ที่ใช้ในการทดลองปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

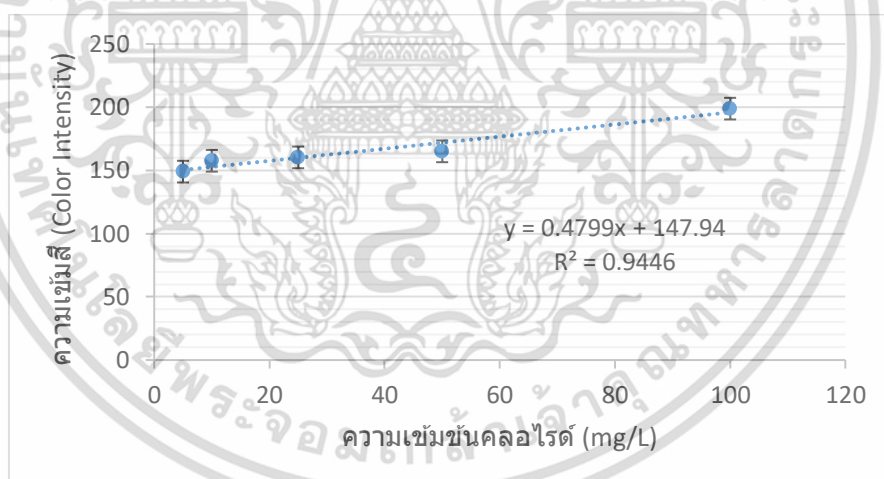


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ที่ใช้ในการทดลองปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

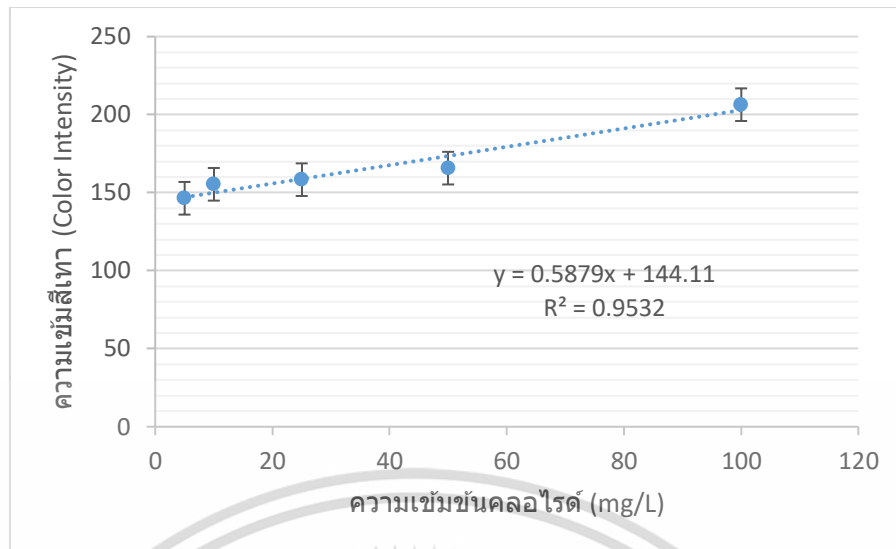


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ที่ใช้ในการทดลองปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

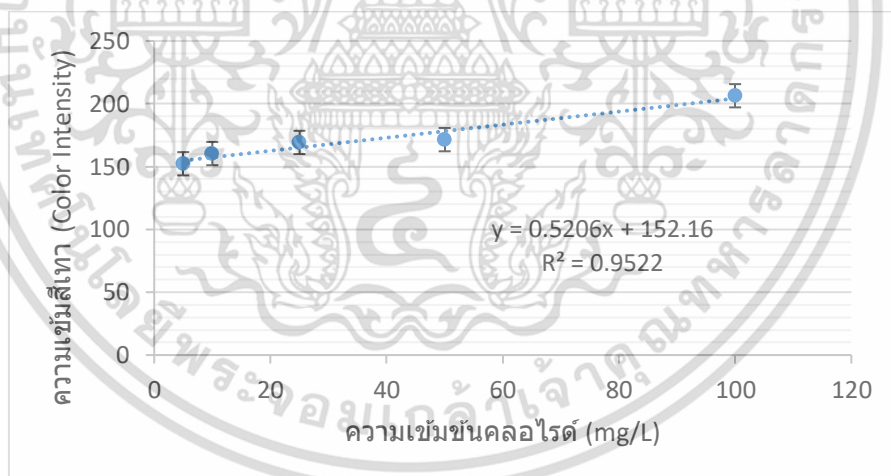


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ที่ใช้ในการทดลองปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ที่ใช้ในการทดลองปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลการศึกษาปริมาณของสารละลายในการทดลอง ที่ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ที่ใช้ในการทดลองปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอโรไฟต์ที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ที่ได้จากการสแกนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ช่วงความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของผลการศึกษาปริมาณที่ใช้ในการทดลอง

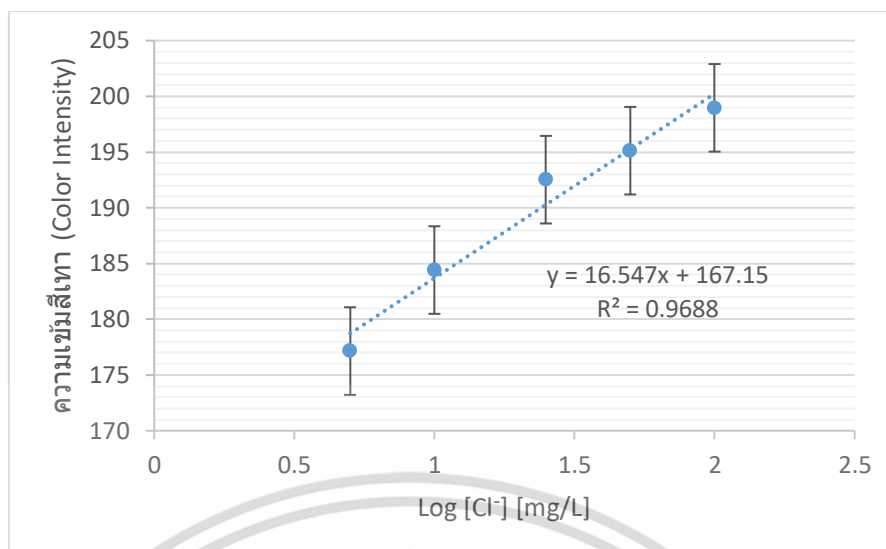
| ปริมาณสารละลาย<br>(ไมโครลิตร) | สมการเส้นตรง           | ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ<br>( $R^2$ ) |
|-------------------------------|------------------------|---|
| 50                            | $y = 0.0517x + 151.39$ | 0.2417                                  |
| 100                           | $y = 0.1514x + 146.55$ | 0.6112                                  |
| 200                           | $y = 0.4349x + 146.55$ | 0.9814                                  |
| 300                           | $y = 0.4799x + 147.94$ | 0.9446                                  |
| 400                           | $y = 0.5879x + 144.11$ | 0.9532                                  |
| 500                           | $y = 0.5206x + 152.16$ | 0.9522                                  |

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) ของปริมาณของสารละลายในการทดลองพบว่าปริมาณที่ 200 ไมโครลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9814 ซึ่งมีค่า  $R^2$  มากกว่าปริมาณของสารละลายในการทดลองอื่น ๆ และเป็นปริมาณของสารละลายที่เหมาะสมในการทดลอง

## 4.7 ผลการศึกษาการประเมินคุณลักษณะวิธี

### 4.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

ทำการศึกษารวเคราะห์คลอไรด์โดยวัดความเข้มข้น โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดแก้วใส ขนาด 2 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ขวดแก้วใสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำ 3 ซ้ำ) และเขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นนำวางไว้บนเครื่องสแกนเนอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 4 cm ระยะห่างจากขวด 3 cm เปิดฝาขวดจากนั้นนำฝากล่องปิดเครื่องสแกนเนอร์ แล้วเปิดความเข้มแสงระดับที่ 2 แล้วทำการสแกน และนำภาพไปประมวลผลค่าความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าความเข้มสีในระบบ RGB และหาสมการเส้นตรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปกราฟมาตรฐาน จากสภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษามาทั้งหมดได้นำมาใช้ในการทดลอง สร้างกราฟมาตรฐานคลอไรด์ที่กำหนด พบว่ากราฟมาตรฐานเชิงเส้น เป็น  $y = 16.547x + 167.15$  และมี ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9688 ดังนั้นกราฟมาตรฐานคลอไรด์แปรผันตรงกับ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่กำหนดที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง

| ความเข้มข้นคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) | $\bar{x} \pm S. D.$ |
|---------------------------------------|---------------------|
| 0.14                                  | 4.55                |
| 0.28                                  | 4.55                |
| 0.70                                  | 5.00                |
| 1.04                                  | 6.08                |
| 2.81                                  | 5.52                |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยเรื่องการพัฒนาวิธีตรวจวัดเชิงสีสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์ โดยการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในแก้วขนาด 2 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ทำปฏิกิริยากัน โดยการบันทึกความเข้มข้นด้วยเครื่องสแกนเนอร์และประมวลผลด้วยโปรแกรม Image J<sup>TM</sup> จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ที่เหมาะสมกับการวัดค่าสีอยู่ในช่วงความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ กราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้น  $y = 0.4177x + 162.81$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9772 ระยะเวลาในการทดลอง 3 นาทีกราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้นเป็น  $y = 0.4193x + 157.65$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9804 ระดับแสงไฟระดับที่ 2 กราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้นเป็น  $y = 27.638x + 133.38$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9357 ระยะห่างแหล่งกำเนิดแสงกับขวดแก้วใส 4 cm กราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้นเป็น  $y = 39.312x + 136.06$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9702 ระยะห่างขวดแก้วใสกับขวดแก้วใส 3 ซม. กราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้นเป็น  $y = 0.5215x + 160.03$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9926 ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 200:200 ไมโครลิตร กราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้นเป็น  $y = 0.4349x + 146.55$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9814 และการสร้างกราฟมาตรฐานเมื่อนำไปประมวลผลได้กราฟมาตรฐานสมการเชิงเส้นเป็น  $y = 16.547x + 167.15$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9688

ดังนั้นจึงสรุปผลการทดลองการพัฒนาวิธีตรวจวัดเชิงสีสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์ได้ว่าการวิเคราะห์หาคลอไรด์ด้วยวิธีการใช้เครื่องสแกนเนอร์มีแนวโน้มจะสามารถวิเคราะห์คลอไรด์แต่อาจจะต้องนำไปพัฒนาและต่อยอดการตรวจวัดวิเคราะห์คลอไรด์ให้มีสภาวะที่เหมาะสม และคงที่และนำไปประยุกต์การตรวจวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ เช่น ประปา น้ำดื่ม น้ำแร่ และน้ำบาดาลอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม image J™ กระบวนการที่นำรูปภาพมาวิเคราะห์ ช่วงที่หาความขุ่นของคลอไรด์มีแสงรบกวน ทำให้หาช่วงที่เหมาะสมยาก และทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนได้
2. เครื่องสแกนเนอร์มีแสงน้อยเกินไป จึงต้องมีหลอดไฟมาเพิ่มแสงจากด้านข้าง ทำให้ต้องควบคุมแสงในกล่องให้มีสภาวะที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์. น้ำประปาเค็มมีผลต่อสุขภาพ จริงหรือไม่? [online].  
Available: <https://www.chulabhornhospital.com/page.php?name=875> ; Search 19 Nov 2022
- [2] โรงพยาบาลราชวิถี. รู้ทัน “โซเดียม” เลี่ยงโรค [online].  
Available: <https://www.rajavithi.go.th/rj/?p=2046#> ; Search 19 Nov 2022
- [3] National Geographic. น้ำประปาเค็ม จากผลกระทบของน้ำทะเลหนุน [online].  
Available: <https://ngthai.com/environment/33671/salted-tap-water/> ; Search 19 Nov 2022
- [4] Disthai. คลอไรต์. [online]. Available: <https://www.disthai.com/17269241/คลอไรต์> ;  
Search 19 Nov 2022
- [5] Marumo. 2020. คลอรีน ประโยชน์และการใช้งาน. [online].  
Available: <https://marumothai.com/article/คลอรีน-ประโยชน์และการใช้งาน/> ; Search 19 Nov 2022
- [6] RidJasper. 2022. ซิลเวอร์ไนเตรท. [online]. Available: <https://th.m.wikipedia.org/wiki/ซิลเวอร์ไนเตรท> ; Search 19 Nov 2022
- [7] Lookruk. 2565. น้ำประปา. [online]. Available : <https://th.m.wikipedia.org/wiki/น้ำประปา> ; Search 19 May 2022
- [8] Hydrotek Public Company. ระบบผลิตน้ำ. [online].  
Available: <https://www.hydrotek.co.th/watertreatment-plant/> ; Search 9 Nov 2022
- [9] somsak. 2537. น้ำดื่มและเกลือแร่. [online].  
Available: <https://www.doctor.or.th/article/detail/3445>; Search 19 Nov 2022
- [10] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรมทรัพยากรธรณี. ความจริงของน้ำแร่ ที่แท้ต่างจากน้ำเปล่าธรรมดาจริงไหม. [online].  
Available: <https://health.kapook.com/view115501.html> ; Search 19 Nov 2022
- [11] Aquashakti Water Solution. 2565. **Packaged Drinking Water Plant, Manufacturer of Drinking Water Plant India - Aquashakti Water Solution.** [online]. Available : <https://www.aquashakti.com/product/packaged-drinking-water-plant/> ; Search 19 May 2022.
- [12] NGThai. 2020. น้ำบาดาล และแหล่งน้ำใต้ดิน. [online].  
Available: <https://ngthai.com/science/30365/groundwater/> ; Search 19 Nov 2022

- [13] Mittwater. 2020. 7 วิธีกรองน้ำบาดาล กำจัดหินปูน สนิมเหล็ก สิ่งเจือปน มีขั้นตอนอย่างไรบ้าง. [online]. Available:<https://www.mittwater.com/step-filter-groundwater/> ; Search 19 Nov 2022
- [14] การประปาส่วนภูมิภาค. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาการประปาส่วนภูมิภาค. [online]. Available:<https://www.pwa.co.th/download/pwastandard50-1.pdf> ; Search 25 Nov 2022
- [15] Safetydrink. 2016. มาตรฐานน้ำดื่ม กรมอนามัย, มอก และองค์การอนามัยโลก. [online]. Available :<https://www.safetydrink.com/article/13/มาตรฐานน้ำดื่ม-กรมอนามัย-มอก-และ-องค์การอนามัยโลก> ; Search 25 Nov 2022
- [16] Anonymous. 2548. น้ำแร่เพื่อบริโภค. [online]. Available:<https://www.doctor.or.th/article/detail/1812> ; Search 25 Nov 2022
- [17] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2542. มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค. [online]. Available:<http://www.dgr.go.th/bgr8/th/download/มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค> ; Search 25 Nov 2022
- [18] aakkawet209. 2014. การเกิดปฏิกิริยาเคมี.[online]. Available: <https://aakkawet209.wordpress.com/เกิดความรู/วิชาวิทยาศาสตร์/การเกิดปฏิกิริยาเคมี/> ; Search 19 Nov 2022
- [19] RGB. 2561. RGBคืออะไร.[online]. Available:<https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2172-rgb-คืออะไร.html> ;Search 19 Nov 2022
- [20] Khoiril Ngibad and Dheasy Herawati. 2019. “Analysis of Chloride Levels in Well and PDAM Water in Ngelom Village, Sidoarjo” JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia) ; Search 23 Nov 2022
- [21] Clifford E Hubach. 2020. “Potentiometric Determination of Chlorides in Wine, Distilled Spirits, and Wine Vinegar”  
Journal of Association of Official Analytical Chemists, Volume 49, Issue 3, 1 June 1966, Pages 498–501 ; Search 23 Nov 2022
- [22] มยุร หล้าสุบ, พีรดา ภักดีพิน, สราวุธ เดชมณีและรุ่งโรจน์ รัตนโอภาส. 2554. “การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์(Cl)โดยวิธีไอออนโครมาโตกราฟีในตัวอย่างน้ำดื่มจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช” : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ; Search 23 Nov 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] จรุง จันท์สมบุรณ์และจรุง จักรมณี. 2015. “การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรต์ในน้ำยาผสมคอนกรีตและวัสดุผสมคอนกรีต โดยเทคนิคโฟลอินเจกชันโพเทนชิอเมตรี” : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ; Search 23 Nov 2022
- [24] เบญจวรรณ นิลวงศ์. 2557. “การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำดื่มของโรงเรียนในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช” : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ; Search 23 Nov 2022
- [25] อรัชพร อุทัยรังษี. 2561. “การตรวจวัดวิตามินซีด้วยเทคนิคทางแสง” : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ; Search 23 Nov 2022



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



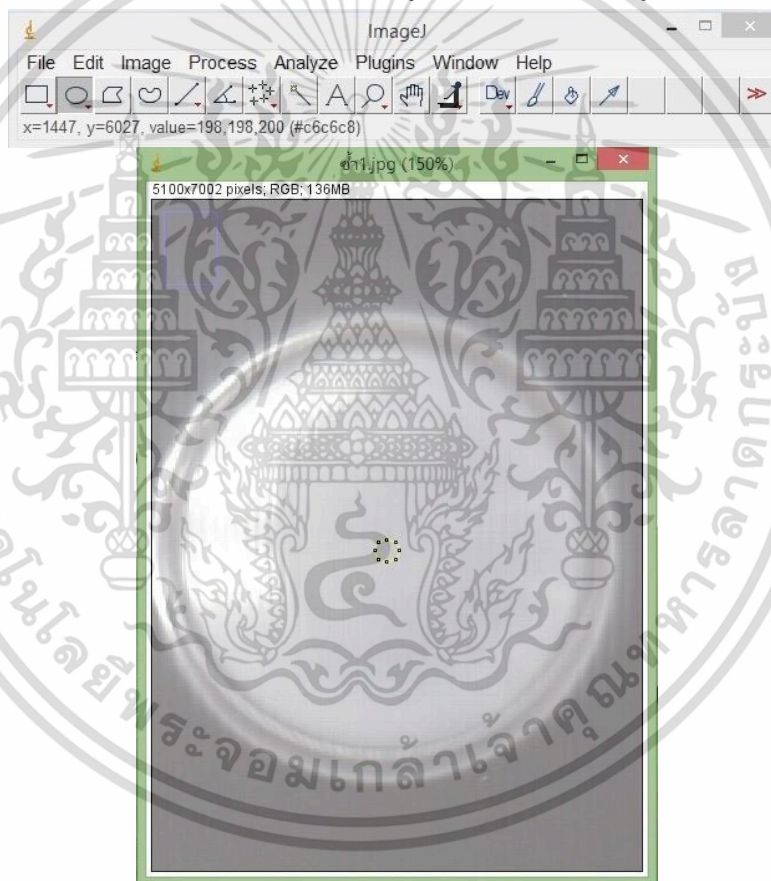
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### การวิเคราะห์ค่าความเข้มสีจากโปรแกรม Image J™

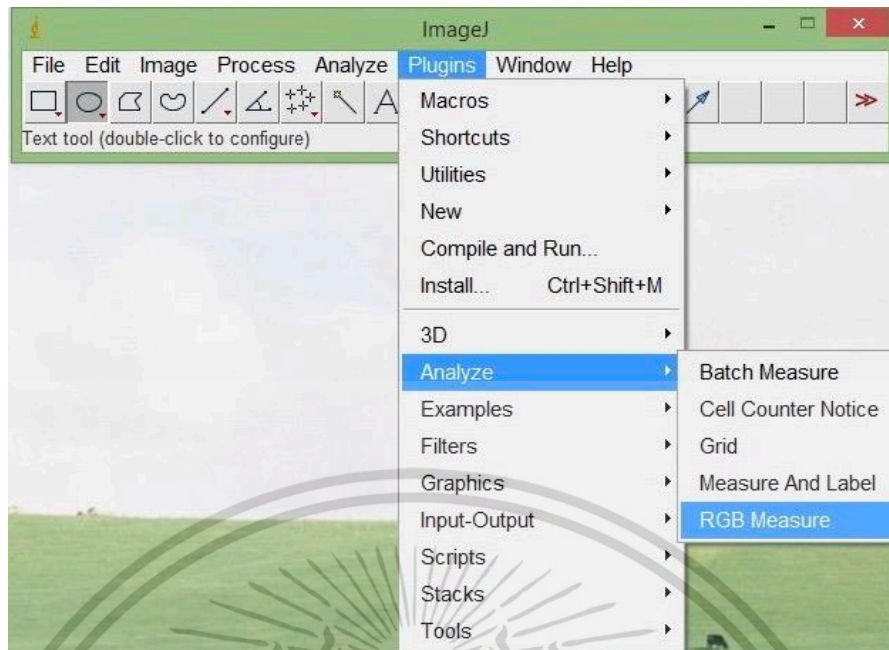
1. ทำการติดตั้งโปรแกรม Image J™
2. เปิดโปรแกรม Image J™ > เลือก File > Open > เลือกรูปภาพที่ต้องการตรวจวัดค่าความเข้มสีในระบบ RGB
3. เลือกพื้นที่การวิเคราะห์ในรูปภาพเป็นวงกลม เลือกส่วนที่ขุ่นที่สุดในภาพ
4. กด Shift พร้อมคลิกเมาส์ลากในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อสร้างกรอบรูปเป็นวงกลม โดยมีความกว้าง (w) เท่ากับ 10 และความสูง (h) เท่ากับ 10 ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การเลือกพื้นที่

5. เลือกที่ Plugins > Analyze > RGB Measure เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มของสีในระบบ RGB ดังรูปที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 วิธีการคำสั่งสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเข้มของสี RGB

6. หลังจากกดเมนู RGB Measure ในข้อที่ 5 จะปรากฏหน้าต่าง Result แสดงผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ ก.3

| File | Edit                 | Font | Results |         |     |     |
|------|----------------------|------|---------|---------|-----|-----|
|      | Label                |      | Area    | Mean    | Min | Max |
| 1    | Red                  |      | 80      | 199.200 | 195 | 204 |
| 2    | Green                |      | 80      | 198.575 | 194 | 204 |
| 3    | Blue                 |      | 80      | 202.450 | 199 | 206 |
| 4    | (R+G+B)/3            |      | 80      | 200.200 | 196 | 205 |
| 5    | 0.299R+0.587G+0.114B |      | 80      | 199.200 | 195 | 204 |

7. จากข้อที่ 4-6 ให้ทำการสุ่มตรวจทุกจุดแต่ในการทดลองมาจุดละ 1 จุด > เลือกค่า Mean ของ Red, Green, และ Blue หรือ (R+G+B)/3
8. นำค่าเฉลี่ยของ Red, Green, และ Blue มาใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานและนำมาใช้ในการคำนวณค่าระยะระหว่างตัวแปร (Euclidian Distance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้