



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ      ประสิทธิภาพของรูปแบบการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า  
Fortification Efficiency of Iodine in Egg Using Electrical Acceleration Technique

ชื่อนิสิต            นายชวกรณ์ สานุสันต์  
ภาควิชา             เคมี  
ปีการศึกษา        2559

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพของรูปแบบการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า

Fortification Efficiency of Iodine in Egg Using Electrical Acceleration  
Technique

โดย  
นายชวกรณ์ สานุสันต์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559

โครงการ ประสิทธิภาพของรูปแบบการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า  
โดย นายชวกรณ์ สานุสันต์  
ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... (รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ รัชตะสาร)	ประธานกรรมการ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรรณศุภากุล)	อาจารย์ที่ปรึกษา
..... (อาจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ)	กรรมการ

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)  
หัวหน้าภาควิชาเคมี  
วันที่ ..... เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ  ดีมาก  ดี  พอใช้

ชื่อโครงการ                      ประสิทธิภาพของรูปแบบการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า

ชื่อนิสิต                              นายชวกรณ์ สาณสันต์                      เลขประจำตัวนิสิต 5633062323

อาจารย์ที่ปรึกษา                      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรรณสุภากุล  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2559

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายไอออน โดยเลือกใช้ไข่สดที่หาซื้อได้จากท้องตลาดทั่วไป ทำการเสริมไอโอดีนในไข่สดโดยใช้สารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेट ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเลือกทำการเสริมไอโอดีนในไข่สดที่ศักย์ไฟฟ้า 0, 7.2, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ ณ เวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที การตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สดจะนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบฉีดยา โดยอาศัยปฏิกิริยาแซนเดลล์ – โคลธอฟฟ์ ซึ่งเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดไตรคลอโรแอสติก โดยการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้านั้น ได้จำแนกกลุ่มในการเสริมไอโอดีนในไข่สดเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ไข่สดจะถูกแช่ในสารละลายไอโอดีน ซึ่งวางอยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ต่อกับแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้าในการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า กลุ่มที่ 2 ไข่สดจะถูกวางอยู่กึ่งกลางกระเบระระหว่างสารละลาย ซึ่งถูกกั้นออกจากกันระหว่างสารละลายไอโอดีนกับสารละลายไอโอดีน หรือสารละลายไอโอดีนกับน้ำ ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดจะอยู่ในสารละลายฝั่งละขั้วเพื่อให้มั่นใจว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของสารละลายไอโอดีนจะผ่านเปลือกไข่เข้าสู่ไข่สดได้ และกลุ่มที่ 3 ไข่สดจะวางอยู่กึ่งกลางกระเบระระหว่างสารละลายไอโอดีน ซึ่งขั้วประจุลบอยู่ในสารละลายไอโอดีน ส่วนขั้วประจุบวกจะติดกับไข่สดโดยตรงเพื่อให้มั่นใจว่าสารละลายไอโอดีนจะผ่านเข้าสู่ไข่สดได้ เมื่อทำการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ปริมาณไอโอดีนในไข่สดมีความแปรปรวนสูง แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนในไข่สดไม่ชัดเจน เนื่องจากใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेटต่ำ อาจส่งผลให้ไม่เห็นการเคลื่อนย้ายไอออนผ่านเปลือกไข่เข้าสู่ไข่สดได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนในไข่สดเริ่มต้น จะส่งผลให้ปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังการเสริมไอโอดีนมีความแปรปรวนเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามยังสังเกตเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังการเสริมไอโอดีนด้วยกระบวนการที่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนย้ายไอออนได้

คำสำคัญ : การเสริม, ไข่สด, ไอโอดีน, ไอโอดेट, การเคลื่อนย้ายไอออน

Title Fortification Efficiency of Iodine in Egg Using Electrical Acceleration Technique

Student Name Mr.Chawakorn Sanusan ID 5633062323

Advisor Assistant Professor Dr.Pakorn Varanusupakul

Department of chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic year 2016

### Abstract

This study evaluated the electrical accelerated iodine fortification efficiency in eggs using various setups. Eggs were randomly purchased from the local market. The eggs were electrically fortified into eggs using 500 mg/L potassium iodate solution. The electrical potentials and fortification time varied from 0, 7.2, 15.7, 24.4 and 32.9 volt at 1, 5, 10 and 15 minutes were investigated. The iodine contents in eggs were determined by flow injection analysis method based on Sandell – Kolthoff reaction after removal of egg matrices by protein precipitation method using trichloroacetic acid. The electrical accelerated iodine fortification setups could be categorized into three groups; one was that the egg was soaked in the iodine solution between electrical electrodes; one was that the egg was located on the sealed socket separated between iodine:iodine or iodine:water solutions where electrodes were placed in each solution to ensure the direction of iodine being transported through the egg; one was that the egg was located on the sealed socket having one side being exposed the iodine solution with negative electrode and the other side being attached to the positive electrode to ensure the transportation of iodine into the egg. The results showed that the iodine contents found from all setups were widely scattered. There was no significant improvement of iodine content being achieved after electrical fortification. The use of such a low concentration of potassium iodate might not provide effective ion transfer through the egg shell under studied conditions. Moreover, the variation of iodine contents that were originally present in the egg may attribute to the variation of the iodine content found after electrical fortification as well. However, a trend of iodine content improvement after electrical fortification might be observed for the setups with controlled iodine direction.

Keywords: Fortification, Eggs, Iodine, Iodate, Iontophoresis

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรกรณ์ วรรณสุภากุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ อีกทั้งช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยด้วยความตั้งใจและเอาใจใส่ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์ รัชตะสาคร และอาจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ ที่ช่วยปรับปรุงแก้ไข ให้คำชี้แนะในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมา

ขอขอบคุณนายทศพร ศรีวรกุล สำหรับคำปรึกษา ความช่วยเหลือและการแก้ไขปัญหาเรื่องเครื่องวิเคราะห์แบบชนิดไหล และการตกตะกอนโปรตีนในการทำวิจัยนี้ จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนางสาวชิตชนก ทับทิมหิน สำหรับคำปรึกษา ความช่วยเหลือและการแก้ไขปัญหาหลายอย่างที่เกิดขึ้นตลอดการดำเนินงานการทำวิจัยนี้ จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2559 (CU-59-013-FW)

ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ของคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเป็นพิเศษสำหรับกำลังใจ ความห่วงใย และการสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยจากบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ณ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.5.1 วิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สด	3
1.5.1.1 วิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน	3
1.5.2 วิธีการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน	4
1.5.2.1 ปฏิกิริยาแซนเทลล์ – โคลธอฟฟ์ (Sandell – Kolthoff Reaction)	5
1.5.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Thio – Nit	5
1.5.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยกะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Capillary Electrophoresis)	5
1.5.3 การเตรียมตัวอย่างไข่สด	6
1.5.3.1 การเตรียมตัวอย่างด้วยการเผาให้เป็นขี้เถ้าที่อุณหภูมิสูง (Alkali dry ashing)	6
1.5.3.2 การเตรียมสารตัวอย่างโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยโซเดียม โดเดคซิล ซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate) หรือเอสดีเอส (SDS)	6

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
1.5.3.3 การเตรียมสารตัวอย่างโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดไตรคลอโรแอสีติก (Trichloroacetic acid) หรือทีซีเอ (TCA)	6
1.5.4 การวิเคราะห์แบบฉีดไหล (Flow Injection Analysis)	7
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	8
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	8
2.2 สารเคมี	8
2.3 วิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สด	9
2.3.1 รูปแบบการเสริมไอโอดีน	9
2.3.2 การเตรียมสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากโพแทสเซียม ไอโอดेट (KIO <sub>3</sub> )	11
2.4 วิธีการตรวจวัดไอโอดีนในไข่สด	11
2.4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน จากโพแทสเซียม ไอโอดेट (KIO <sub>3</sub> )	11
2.4.2 การเตรียมสารละลายความเข้มข้น 0.008 โมลต่อลิตร ซีเรียม ซัลเฟต (Ce(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	11
2.4.3 การเตรียมสารละลายความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อาร์เซนิก ไตรออกไซด์ (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	11
2.4.4 การเตรียมสารละลายความเข้มข้น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร กรดไตรคลอโรแอสีติก (TCA)	12
2.4.5 การเตรียมสารตัวอย่างไข่สดด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรแอสีติก (TCA)	12
2.5 เครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สด	12
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผล	14
3.1 กราฟมาตรฐานการหาปริมาณไอโอดีนด้วยปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์	14
3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในไข่สดที่มีการเสริมในรูปแบบต่าง ๆ	15
3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า	22
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	24
เอกสารอ้างอิง	25



สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

ภาคผนวก

27

ประวัติผู้วิจัย

33



## สารบัญญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
1.1 การเคลื่อนย้ายไอออน	4
1.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของเอสดีเอส (SDS)	6
1.3 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แบบฉีดไหล	7
2.1 ชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1	9
2.2 รูปแบบที่ 1	9
2.3 ชุดควบคุมของรูปแบบที่ 2 และ 3	9
2.4 รูปแบบที่ 2	10
2.5 รูปแบบที่ 3	10
2.6 รูปแบบที่ 4	10
2.7 เครื่องวิเคราะห์แบบฉีดไหลที่ใช้ในการตรวจวัด	13
3.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโพแทสเซียม ไอโอเดต	14
3.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโพแทสเซียม ไอโอเดตหลังเปลี่ยนตัวดำเนินการ	15
3.3 กราฟแสดงปริมาณไอโอดีนในไซตของชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ	16
3.4 กราฟแสดงปริมาณไอโอดีนในไซตของรูปแบบที่ 2 ที่เวลาต่าง ๆ	17
3.5 กราฟแสดงปริมาณไอโอดีนในไซตของชุดควบคุมรูปแบบที่ 2 และ 3 และรูปแบบที่ 3 ที่เวลาต่าง ๆ	18
3.6 กราฟแสดงปริมาณไอโอดีนในไซตของรูปแบบที่ 4 ที่เวลาต่าง ๆ	19
3.7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในไซตรูปแบบที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ	20
3.8 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในไซตรูปแบบที่ 2 ที่เวลาต่าง ๆ	21

## สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

3.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในไข่สดรูปแบบที่ 3 ที่เวลาต่าง ๆ

21

3.10 กราฟแท่งแสดงปริมาณไอโอดีน ณ ความต่างศักย์สูงที่สุด ณ เวลา 15 นาที

23



## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
2.1 ปริมาตรที่ใช้ในการปิเปตสารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेटในการปรับความเข้มข้น	11
ก.1 ปริมาณไอโอดีนในไซสโต	27
ก.2 ปริมาณไอโอดีนในไซสโตหลังการเสริมในชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 1	28
ก.3 ปริมาณไอโอดีนในไซสโตหลังการเสริมในรูปแบบที่ 2	29
ก.4 ปริมาณไอโอดีนในไซสโตหลังการเสริมในชุดควบคุมของรูปแบบที่ 2 และ 3 และรูปแบบที่ 3	30
ก.5 ปริมาณไอโอดีนในไซสโตหลังการเสริมในรูปแบบที่ 4	31



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ไอโอดีน (Iodine) มีความสำคัญและจำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ เนื่องจากไอโอดีนเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นในการผลิตไทรอยด์ฮอร์โมนหรือฮอร์โมนไทรอกซิน ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าว มีหน้าที่ควบคุมอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย ควบคุมการดูดซึมน้ำตาลจากลำไส้เล็ก รวมถึงควบคุมสภาวะของผม เล็บ และฟัน อีกทั้งไอโอดีนมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของร่างกาย ช่วยส่งเสริมให้ร่างกายผลิตพลังงาน กระตุ้นการทำงานของหัวใจ และกระตุ้นให้มีการหลั่งน้ำนมเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปร่างกายต้องการไอโอดีนเฉลี่ยขั้นต่ำ วันละ 150 ไมโครกรัม และสตรีมีครรภ์ควรได้รับ วันละ 250 ไมโครกรัม ถึงอย่างไรก็ตาม มนุษย์มีความจำเป็นต้องได้รับไอโอดีนในทุกวันเนื่องจากร่างกายไม่สามารถเก็บสะสมไอโอดีนไว้ได้ [1] องค์การอนามัยโลกได้กำหนดหากได้รับไอโอดีนไม่เพียงพอในแต่ละวัน สามารถก่อให้เกิดโรคคอพอก (Goiter) หรือโรคเอ๋อ (Congenital Hypothyroidism) ในเด็กทารกที่คลอดจากสตรีมีครรภ์ที่ได้รับไอโอดีนไม่เพียงพอต่อความต้องการ [2] กระทรวงสาธารณสุขกล่าวว่าโรคดังกล่าวพบมากบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดความผิดปกติต่ออวัยวะภายในร่างกาย ทำให้สมรรถภาพในการทำงานของร่างกายลดลง และส่งผลต่อการทำงานของสภาพจิตใจ [3-5] โดยเฉพาะในปัจจุบันพบว่าปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญและยังส่งผลต่อดัชนีชี้วัดสุขภาพของประเทศ อีกทั้งพบว่าบริเวณที่ติดกับทะเล ยังมีการขาดไอโอดีนเช่นเดียวกัน อาจเป็นเพราะสภาพเศรษฐกิจทำให้สิ่งบริโภคมีราคาสูงขึ้น หรืออาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมที่เสื่อมลง ทำให้ทรัพยากรขาดแคลนและหายากขึ้น ดังนั้นกระทรวงสาธารณสุขจึงมีนโยบายให้ผู้ผลิตอาหาร เสริมไอโอดีนระหว่างกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็น เกลือ น้ำปลา นมผงสำหรับเด็กทารก บะหมี่กึ่งสำเร็จ หรือแม้แต่ไข่สด [6] เนื่องจากอาหารเหล่านี้มีราคาไม่สูงมาก สามารถหามาบริโภคได้ง่าย และเป็นสิ่งที่บริโภคเป็นประจำ

ในประเทศไทยมีการเสริมไอโอดีนในอาหารทั้งการเสริมไอโอดีนโดยตรงลงในเครื่องปรุงในการประกอบอาหาร เช่น เกลือ น้ำปลา ซีอิ๊วขาว โดยกระทรวงสาธารณสุขได้ส่งเสริมให้เติมโพแทสเซียมไอโอเดตในเกลือเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนในระดับมาตรฐานร้อยละ 63.8 [7] และการเสริมไอโอดีนในวัตถุดิบในการประกอบอาหาร เช่น ไข่สด ซึ่งพบว่ามีปริมาณไอโอดีนในไข่สดโดยปี ค.ศ. 2003 Unak, T. และคณะ [8] ได้ทำการส่งผ่านไอโอดีนเข้าสู่ไข่สดด้วย ไอโอดีน - 131 (I - 131) ในรูปที่เป็นอิสระซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสี โดยโซเดียมไอโอไดด์ (Sodium Iodide; NaI) เกิดพันธะกับอะนิลีน (Aniline; C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>N) จากนั้นส่งไปตามร่างกายของไก่ โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 รูปแบบ พบว่าการกระตุ้นด้วยไอโอดีน - 131 สามารถผ่านเข้าไปในส่วนต่างๆของไข่สดได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามยังมีความอันตรายเนื่องจากสารกัมมันตภาพรังสีตกค้าง ต่อมาในปี ค.ศ. 2004 Songserm, O. และคณะ [9] ได้ศึกษาผลของการเสริม

ไอโอดีนจาก 2 กลุ่มการทดลอง โดยกระบวนการเสริมไอโอดีนด้วยวิธีการใส่โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide; KI) และโพแทสเซียม ไอโอเดต (Potassium Iodate;  $KIO_3$ ) ลงในอาหารไก่ ซึ่งเสริมไอโอดีน 4 กรัมต่ออาหาร 1000 กิโลกรัม พบว่าปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังจากให้อาหารไก่ที่เสริมไอโอดีนเท่ากับ 56.33 และ 68.28 ไมโครกรัมต่อฟองตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่าไข่สดในกลุ่มควบคุม 37.91 และ 52.14 ไมโครกรัมต่อฟองตามลำดับ แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายมนุษย์ต่อหนึ่งวัน อีกทั้งใช้เวลาในการเลี้ยงไก่ไขวยาวนานและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการเสริมไอโอดีนในไข่สดจึงถูกปรับเปลี่ยนเป็นการเสริมไอโอดีนในไข่สดโดยตรงเพื่อกำจัดปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว โดยในปี ค.ศ. 2002 Suvanprakorn, P. และคณะ [10] ได้พัฒนาเทคนิคการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคนำส่งด้วยไฟฟ้า ซึ่งประยุกต์จากเทคนิคการนำส่งยาด้วยวิธีการเคลื่อนย้ายไอออน (Iontophoresis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดความแตกต่างระหว่างประจุของสารละลายไอโอดีนกับขั้วไฟฟ้า ในการทำให้ไอโอดีนเคลื่อนที่เข้าภายในไข่สด พบว่าสามารถเสริมไอโอดีนเข้าไปในไข่สดได้ แต่เทคนิคมีปัญหาเกี่ยวกับความสม่ำเสมอของไอโอดีนที่เสริมในไข่สด [11] ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดวางเครื่องมือ ชนิดของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ และวิธีการตรวจวัด และ ค.ศ. 2012 สมโภชน์ อัมเธิบและคณะ [12] ได้เสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออนโดยใช้สารละลายโพแทสเซียม ไอโอไดด์ ซึ่งใช้สนามไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสคงที่ 10 มิลลิแอมแปร์ เป็นตัวกระตุ้นให้สารละลายโพแทสเซียม ไอโอไดด์ เข้าสู่ไข่สด พบว่าปริมาณไอโอดีนที่ถูกเคลื่อนย้ายเข้าสู่ไข่สดจะขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าและเวลา และสามารถเสริมไอโอดีนลงไข่สดได้ปริมาณไอโอดีนเท่ากับ 150 ไมโครกรัมต่อฟอง ภายในเวลาน้อยที่สุด 11 นาที ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้า 30 โวลต์ ส่งผลให้ปริมาณไอโอดีนในไข่สดเพิ่มขึ้น 6 เท่าจากปริมาณไอโอดีนในไข่สดที่มี 24.9 ไมโครกรัมต่อฟอง ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่ดีในระดับหนึ่ง แต่ในกระบวนการเสริมนั้นไม่ได้บังคับทิศทางเคลื่อนที่ของไอโอดีน ไอออนให้เคลื่อนที่เข้าสู่ไข่สด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า พร้อมกับเปรียบเทียบกระบวนการในการเสริมไอโอดีนแบบต่าง ๆ เพื่อให้ไข่สดมีปริมาณไอโอดีนที่สูงขึ้น เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน ส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้แก่ผู้บริโภค และสามารถบ่งชี้กระบวนการในการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทำการเสริมไอโอดีนในไข่สดที่สามารถหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป เนื่องจากมีราคาไม่สูงมากเกินไปและหาผู้บริโภคได้เป็นประจำ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เปรียบเทียบการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ในการจัดวางเครื่องมือรูปแบบต่าง ๆ
2. เปรียบเทียบวิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ในการจัดวางเครื่องมือรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

สภาพการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ในการจัดวางเครื่องมือรูปแบบต่าง เพื่อให้ได้ไข่สดที่มีปริมาณไอโอดีนเพิ่มสูงขึ้น โดยเลือกใช้ไข่สดจากตลาดสดและห้างสรรพสินค้า ใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ซึ่งนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบฉีดไหลของแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์ (Sandell - Kolthoff Flow Injection Method) ที่ตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) เพื่อหาปริมาณไอโอดีนในไข่สดที่อยู่ในรูปของไอโอเดตไอออน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รูปแบบการจัดวางเครื่องมือที่สามารถเสริมไอโอดีนไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าได้ โดยมีประสิทธิภาพสูงที่สุด มีเสถียรภาพสูงที่สุด และมีความเหมาะสมกับไข่สดมากที่สุด

### 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1.5.1 วิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สด

##### 1.5.1.1 วิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน

เทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน (Iontophoresis) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับแรงทางไฟฟ้าซึ่งเกิดกับไอออนที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้าที่ว่าประจุไฟฟ้าขั้วเดียวกันจะผลักกัน ถ้าหากประจุไฟฟ้าขั้วต่างกันจะดึงดูดกัน โดยมีแรงกระตุ้นจากแรงดันไฟฟ้าหรือการให้ศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระตุ้นไอออนที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า ให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วที่มีประจุตรงข้าม โดยแรงดันไฟฟ้าหรือการให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นการเพิ่มแรงขับไอออนให้เคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 1.1 โดยเฉพาะกับสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นรูพรุน อาทิ เยื่อเซลล์ ผิวหนัง หรือเปลือกไข่ ปัจจุบันเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน นิยมใช้ในการนำส่งตัวยาหรือสารเคมีผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกาย การเคลื่อนย้ายไอออนในสารละลายขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของสารละลาย ขนาดของไอออน ขนาดของรูพรุน และเวลา ในปี ค.ศ. 1991 Pikal, M. J. และ Shah S. [13] ได้ศึกษากลไกของการเพิ่มพลังชีพไฟฟ้าผ่านผิวหนังของหนูไร่ขนด้วยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน พบว่าสามารถขนส่งกลูโคสผ่านผิวหนังของหนูด้วยกระแสกระตุ้นได้ ถัดมาในปี ค.ศ. 2003 Wang, Y. และคณะ [14] ได้ศึกษาผลกระทบของกรดไขมันและการเคลื่อนย้ายไอออนของไมโดดรีน ไฮโดรคลอไรด์ (Midodrine hydrochloride) ผ่านผิวหนังมนุษย์ ในปีเดียวกัน C. R. Anderson และคณะ [15] ได้ทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนย้ายไอออนผ่านผนังเซลล์ของสัตว์ทดลอง พบว่า การใช้กระแสไฟฟ้าต่ำควบคุมกับการใช้เวลาในการให้กระแสไฟฟ้าน้อย จะได้ผลที่ดีมากกว่าในการใช้กระแสไฟฟ้าสูงควบคุมกับการใช้เวลาในการให้กระแสไฟฟ้าน้อย และปี ค.ศ. 2005 Yan, G. และคณะ [16] ได้พัฒนาการนำส่งยาเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ด้วยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน ซึ่ง





$[Ce^{4+}]$  = ความเข้มข้นที่เวลาใดๆของซีเรียมไอออน (Ce(IV))

$k$  = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบอันดับหนึ่งเทียม มีค่า  $k_{\text{ก่อนเร่งปฏิกิริยา}}$  +  $k_{\text{หลังเร่งปฏิกิริยา}}[I]$

หรือจากกฎของเบียร์ (Beer's law) สามารถแก้ไขสมการได้ดังสมการที่ 1.3 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสร้างกราฟมาตรฐานได้ 2 วิธี ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ปฏิกิริยากับความเข้มข้นของไอโอดีนและความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาคงที่กับความเข้มข้นของไอโอดีน

$$-\ln[A]_t = -\ln[A]_0 + tk_{\text{ก่อนเร่งปฏิกิริยา}} + tk_{\text{หลังเร่งปฏิกิริยา}}[I] \quad (1.3)$$

### 1.5.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Thio – Nit

เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนโดยสังเกตความเข้มสีที่เปลี่ยนไป โดยเกิดการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างเฟอโรไทโอไซยาเนตไอออน (Ferrocyanate ion;  $SCN^-$ ) กับไนโตรเจนไดออกไซด์ไอออน (Nitrogen dioxide ion;  $NO_2^-$ ) ซึ่งเฟอโรไทโอไซยาเนตไอออนเป็นสารที่มีสีแดงส้ม เมื่อเติมไนโตรเจนไดออกไซด์ไอออน จะเกิดปฏิกิริยาการฟอกจางสี ทำให้สีส้มแดงค่อย ๆ จางลง โดยใช้ไอโอดีนไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มสีขึ้นกับปริมาณไอโอดีนที่เติมลงไป หากเติมไอโอดีนไอออนในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการฟอกจางสีอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความเข้มสีต่ำลง จากนั้นจึงนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ดังสมการที่ 1.4



ในปี ค.ศ. 2010 กัญชลิ อัครโกวิททวงศ์ และลัดดาพร สิมะรักษ์อำไพ [19] ใช้การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Thio – Nit พบว่าปริมาณไอโอดีนในไข่สดมีค่าอยู่ในช่วง 9 – 32 ไมโครกรัมต่อฟอง ปริมาณไอโอดีนในไข่สดจากฟาร์มมีค่าประมาณ 85 ไมโครกรัมต่อฟอง และปริมาณไอโอดีนในไข่สดที่ทำการเสริมไอโอดีนอยู่ในช่วง 167 – 261 ไมโครกรัมต่อฟอง ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Thio – Nit จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถหาปริมาณไอโอดีนในไข่สดได้ แต่ยังมีขาดความถูกต้องและแม่นยำ

### 1.5.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยกะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Capillary Electrophoresis)

เทคนิคที่ใช้แยกสารภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าในท่อกะพิลลารีที่ประกอบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยหลักการในการแยกอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสารละลายแต่ละชนิด (Electrophoretic mobility) ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างประจุต่อขนาดไอออนของสารละลาย

ในปี ค.ศ. 2012 ณจรี ประคองทรัพย์ และบารมี ไชยิตชัยวัฒน์ [20] ได้จำลองเปลือกไข่สำหรับศึกษาการเสริมไอโอดีนในไข่สดโดยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคกะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสในการตรวจปริมาณไอโอดีนในไข่สด พบว่าสามารถตรวจพบไอโอดีนในไข่สดที่ยังไม่ผ่านการเสริมไอโอดีนและไข่สดที่ทำการเสริมไอโอดีนแล้วได้

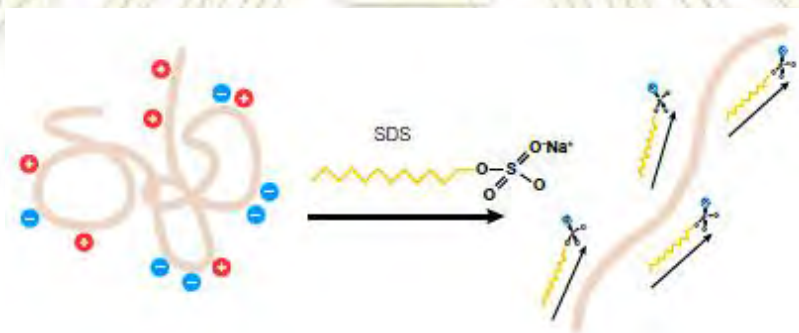
### 1.5.3 การเตรียมตัวอย่างไขสด

#### 1.5.3.1 การเตรียมตัวอย่างด้วยการเผาให้เป็นขี้เถ้าที่อุณหภูมิสูง (Alkali dry ashing)

การเตรียมสารตัวอย่างด้วยการเผาให้เป็นขี้เถ้าที่อุณหภูมิสูง (Alkali dry ashing) เป็นวิธีการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนที่อยู่ในรูปของไอโอไดด์ โดยนำสารตัวอย่างที่เตรียมใส่ครุชชีเบล (Crucible) ที่ถูกทำให้เป็นสภาวะเบสโดยเติมสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) หรือสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium Carbonate;  $K_2CO_3$ ) จากนั้นนำไปทำให้แห้งบนแผ่นให้ความร้อน เผาไล่ควันออกให้หมด ต่อมานำไปเผาให้เป็นขี้เถ้าที่อุณหภูมิ 400 – 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อได้ขี้เถ้าจึงนำไปชะด้วยน้ำและนำไปวิเคราะห์

#### 1.5.3.2 การเตรียมสารตัวอย่างโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยโซเดียม โดเดคซิล ซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate) หรือเอสดีเอส (SDS)

การเตรียมสารตัวอย่างด้วยเอสดีเอส (SDS) และแอสซีเตตบัฟเฟอร์ เป็นส่วนหนึ่งของเทคนิค Alkali lysis ซึ่งเอสดีเอสเป็นสารลดแรงตึงผิวขั้วลบ (Anionic Surfactant) ที่ทำหน้าที่แยกประจุของก้อนโปรตีนออกเป็นเส้น หลังจากนั้นแอสซีเตตบัฟเฟอร์จะทำหน้าที่ปรับประจุของก้อนโปรตีนที่ถูกแยก ทำให้โปรตีนที่เป็นเส้นกลับมารวมกันและตกตะกอนเป็นก้อนโปรตีนขนาดใหญ่อีกครั้ง ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของเอสดีเอส (SDS)

ในปี ค.ศ. 2015 Srivorakul, T. [21] ได้ตรวจวัดไอโอดีนในไขสดโดยใช้การเตรียมสารตัวอย่างด้วยเอสดีเอส (SDS) พบว่าเป็นวิธีการเตรียมสารตัวอย่างที่สามารถใช้กับการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณไอโอดีนในไขสดได้ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความถูกต้อง แม่นยำ

#### 1.5.3.3 การเตรียมสารตัวอย่างโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดไตรคลอโรแอสติก (Trichloroacetic acid) หรือทีซีเอ (TCA)

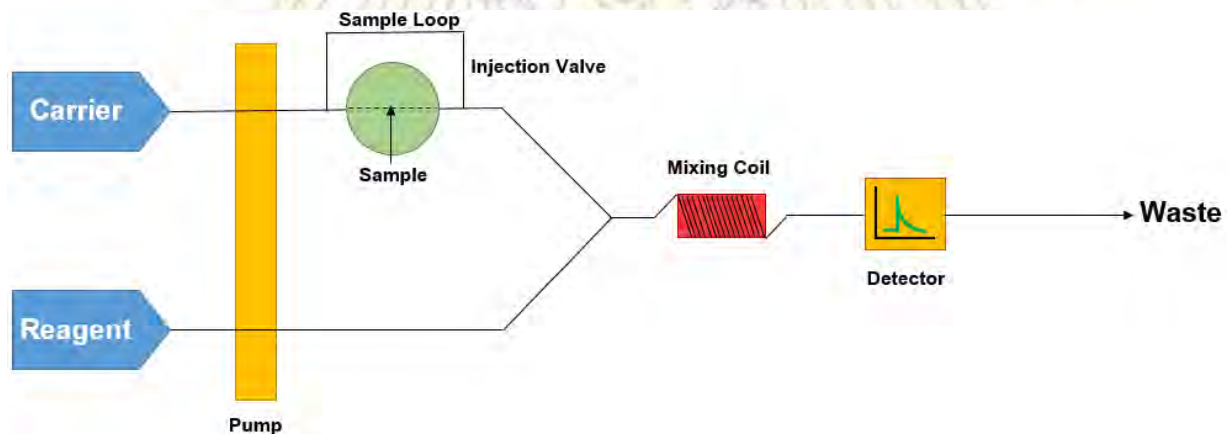
การเตรียมสารตัวอย่างด้วยทีซีเอ (TCA) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ปัจจุบันยังไม่สามารถอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้ ซึ่งทีซีเอจะทำหน้าที่เป็นตัวนำในการตกตะกอน (Precipitating agent) ของการตกตะกอนโปรตีน โดยประจุลบของไตรคลอโรแอสซีเตตไอออน (Trichloroacetate ion;  $C_2Cl_3O_2^-$ ) เข้าไป

ทำลายปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีน ทำให้โปรตีนถูกแยกออกและเกิดการเข้าร่วมกันใหม่ของส่วนไม่มีขั้วกับอีกส่วนที่ไม่มีขั้วเช่นกัน ทำให้โปรตีนตกตะกอนได้

ในปี ค.ศ. 2015 Srivorakul, T. [21] ได้ตรวจวัดไอโอดีนในไข่สดด้วยการเตรียมสารตัวอย่างด้วยทีซีเอ (TCA) พบว่าสามารถใช้ในการตรวจหาปริมาณไอโอดีนในไข่สดได้ โดยสามารถทำได้สะดวก ให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ซึ่งสามารถวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สดจากบริษัทต่างๆ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.62 ถึง 13.2 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักไข่สด ตามแต่ละบริษัท นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการเผาให้เป็นขี้เถ้าที่อุณหภูมิสูง (Alkali dry ashing) และวิธีเอสดีเอส (SDS) ได้อีกด้วย

#### 1.5.4 การวิเคราะห์แบบฉีดไหล (Flow Injection Analysis)

การวิเคราะห์แบบฉีดไหลเป็นการวิเคราะห์เชิงอัตโนมัติ ซึ่งสารที่ต้องการวิเคราะห์จะผสมกับตัวทำปฏิกิริยาก่อนตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดที่จำเพาะต่อความต้องการในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์แบบฉีดไหลจะส่งผ่านสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่กระแสการไหลของตัวทำปฏิกิริยาโดยการฉีด ซึ่งกระแสการไหลของตัวทำปฏิกิริยานั้นจะไหลอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันการวิเคราะห์แบบฉีดไหลสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์แบบสเปกโทรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) การวิเคราะห์แบบฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรเมทรี (Fluorescence spectrometry) แมส สเปกโทรเมทรี (Mass spectrometry) เป็นต้น ลักษณะการทำงานของ การวิเคราะห์แบบฉีดไหล มีลักษณะดังภาพที่ 1.3 โดยมีเครื่องสูบลำโพงที่ในการทำให้เกิดกระแสการไหลของตัวทำปฏิกิริยาและผลักดันสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าเครื่องตรวจวัด



ภาพที่ 1.3 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แบบฉีดไหล

## บทที่ 2

### วิธีการทดลอง

#### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1.1 เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้า
- 2.1.2 ขั้วโลหะสแตนเลส
- 2.1.3 กระบะแก้วสำหรับการเสริมไอโอดีน
- 2.1.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.1.5 เครื่องเซนตริฟิวส์
- 2.1.6 เครื่องให้ความร้อน
- 2.1.7 เครื่องวิเคราะห์แบบฉีดไหล
- 2.1.8 เครื่องยู่วี - วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี
- 2.1.9 ปีกเกอร์ ขนาด 10, 25, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- 2.1.10 ขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 10, 25, 100, 250 และ 1000 มิลลิลิตร
- 2.1.11 ไมโครปิเปต ขนาด 1000 ไมโครลิตร และ 10 มิลลิลิตร
- 2.1.12 ซ้อนตักสาร
- 2.1.13 กระบอกตวง
- 2.1.14 หลอดหยอด
- 2.1.15 หลอดไมโครเซนตริฟิวก์
- 2.1.16 ตัวกรอง ขนาด 0.45 ไมโครเมตร
- 2.1.17 เข็มฉีดยา

#### 2.2 สารเคมี

- 2.2.1 ไข่ไก่สด บริษัท เทสโก้ โลตัส (Tesco Lotus)
- 2.2.2 น้ำปราศจากไอออน (DI water)
- 2.2.3 โพแทสเซียม ไอโอเดต ( $KIO_3$ )
- 2.2.4 อาร์เซนิก ไตรออกไซด์ ( $As_2O_3$ )
- 2.2.5 ซีเรียม ซัลเฟต ( $Ce(SO_4)_2$ )
- 2.2.6 โซเดียม คลอไรด์ (NaCl)
- 2.2.7 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.  $H_2SO_4$ )
- 2.2.8 กรดไตรคลอโรแอสติก (TCA)

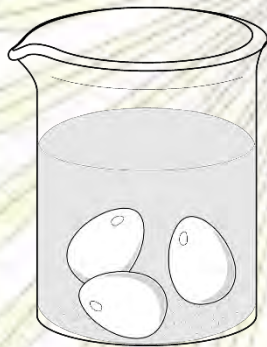
## 2.3 วิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สด

### 2.3.1 รูปแบบการเสริมไอโอดีน

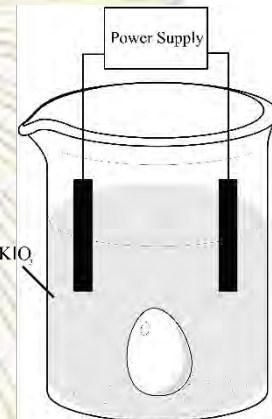
#### 2.3.1.1 กลุ่มที่ 1

1. ชุดควบคุม ลักษณะเป็นปีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โพแทสเซียมไอโอเดต ดังภาพที่ 2.1

2. รูปแบบที่ 1 ลักษณะเป็นปีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โพแทสเซียมไอโอเดต ต่อกับแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1

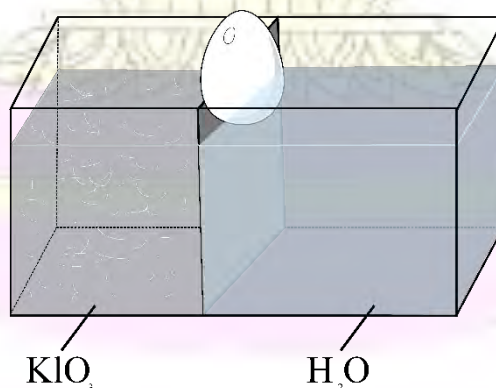


ภาพที่ 2.2 รูปแบบที่ 1

#### 2.3.1.2 กลุ่มที่ 2

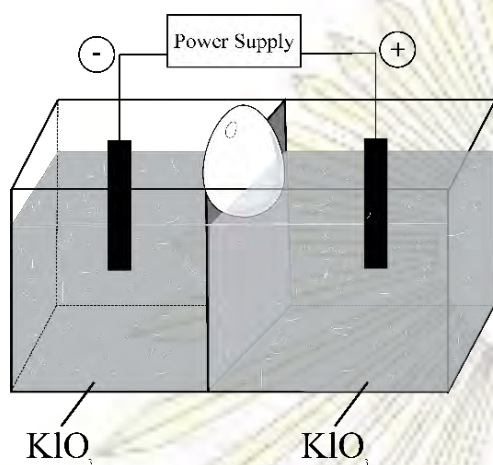
1. ชุดควบคุม ลักษณะเป็นกระบะแก้วที่มีแนวกันพลาสติกแบ่งสารละลายความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โพแทสเซียม ไอโอเดต กับน้ำปราศจากไอออนออกจากกัน ดังภาพที่ 2.3

2. รูปแบบที่ 2 ลักษณะเป็นกระบะแก้วที่มีแนวกันพลาสติกแบ่งสารละลายความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โพแทสเซียม ไอโอเดต ออกจากกัน ต่อกับแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.4

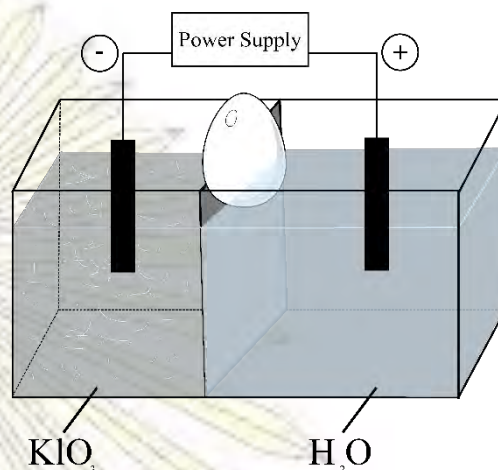


ภาพที่ 2.3 ชุดควบคุมของรูปแบบที่ 2 และ 3

3. รูปแบบที่ 3 ลักษณะเป็นกระบะแก้วที่มีแนวกันพลาสติกแบ่งสารละลายความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม ต่อลิตร โพแทสเซียม ไอโอเดต กับน้ำปราศจากไอออนออกจากกัน ต่อกับแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.5



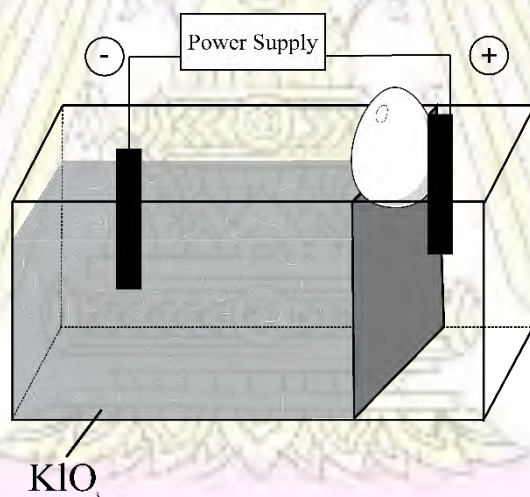
ภาพที่ 2.4 รูปแบบที่ 2



ภาพที่ 2.5 รูปแบบที่ 3

#### 2.3.1.4 กลุ่มที่ 3

1. รูปแบบที่ 4 ลักษณะเป็นกระบะแก้วที่มีแนวกันพลาสติก กั้นสารละลายความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม ต่อลิตร โพแทสเซียม ไอโอเดต ต่อกับแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า โดยขั้วประจุบวกนั้นติดอยู่กับไข่สด ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 รูปแบบที่ 6

### 2.3.2 การเตรียมสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากโพแทสเซียม ไอโอเดต ( $KIO_3$ )

1. ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต 0.2108 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน
2. ปรับปริมาตรในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปใช้เป็นสารละลายในการเสริมไอโอดีน

## 2.4 วิธีการตรวจวัดไอโอดีนในไข่สด

### 2.4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน จากโพแทสเซียม ไอโอเดต ( $KIO_3$ )

1. ชั่งโพแทสเซียม ไอโอเดต 0.2108 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน
2. ปรับปริมาตรในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียม ไอโอเดต ปริมาตร 200 ไมโครลิตรด้วยไมโครปิเปตลงในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อลิตร
4. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียม ไอโอเดตจากขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อปรับความเข้มข้น ได้แก่ 100, 250, 500, 750 และ 1000 ppb ลงในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาตรที่ใช้ในการปิเปตสารละลายโพแทสเซียม ไอโอเดตในการปรับความเข้มข้น

ขวดที่	ปริมาตรที่ปิเปต (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	2.50	100
2	6.25	250
3	12.50	500
4	18.75	750
5	-	1000

### 2.4.2 การเตรียมสารละลายความเข้มข้น 0.008 โมลต่อลิตร ซีเรียม ซัลเฟต ( $Ce(SO_4)_2$ )

1. ชั่งซีเรียม ซัลเฟต 2.800 กรัม ละลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.75 โมลต่อลิตร ปริมาตร 95 มิลลิลิตร
2. เเทลงในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

### 2.4.3 การเตรียมสารละลายความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อาร์เซนิก ไตรออกไซด์ ( $As_2O_3$ )

1. ชั่งอาร์เซนิก ไตรออกไซด์ 10 กรัม และโซเดียม คลอไรด์ 50 กรัม ผสมสารละลายทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

2. ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 500 มิลลิลิตร นำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส จนกว่าสารละลายจะละลายจนหมด
3. ระหว่างที่ให้ความร้อน ค่อยๆเติมกรดซัลฟิวริกปริมาตร 27.8 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์
4. เทสารละลายลงในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

#### 2.4.4 การเตรียมสารละลายความเข้มข้น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร กรดไตรคลอโรแอสติก (TCA)

1. เตรียมสารละลายความเข้มข้น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร กรดไตรคลอโรแอสติก โดยชั่งกรดไตรคลอโรแอสติก (TCA) 20 กรัม ลงในบีกเกอร์
2. ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เทสารละลายกรดไตรคลอโรแอสติกลงในขวดกำหนดปริมาตร

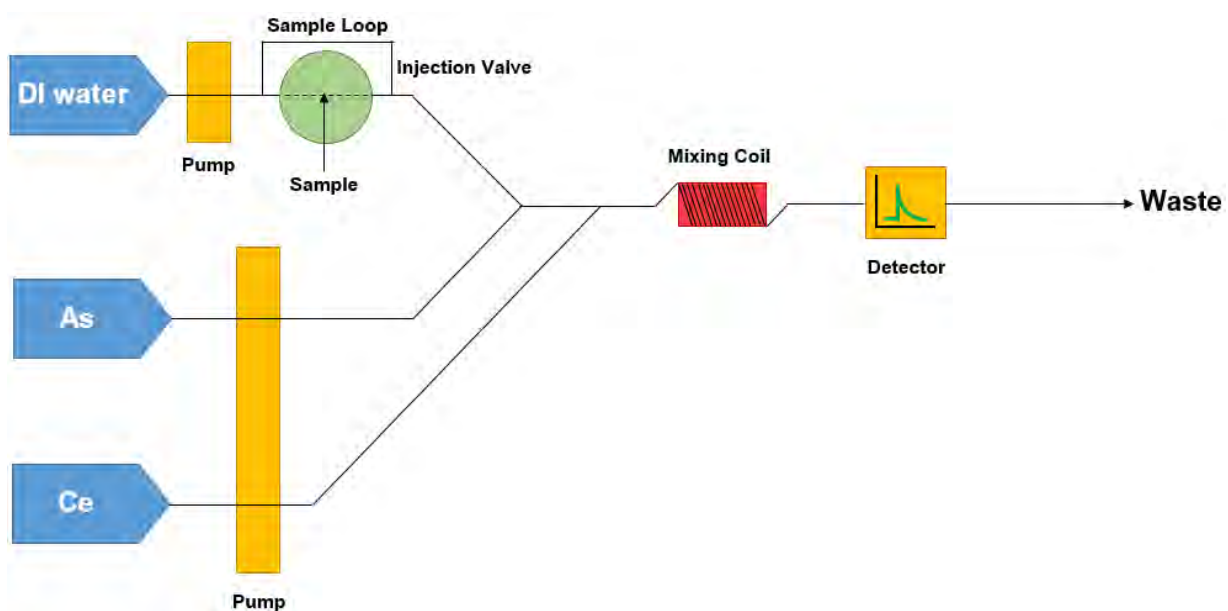
#### 2.4.5 การเตรียมสารตัวอย่างไข่สดด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรแอสติก (TCA)

1. เตรียมไข่สดโดยตีไข่สดให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำไข่สดที่ตีแล้วไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.5 กรัม
2. เติมสารละลายความเข้มข้น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร กรดไตรคลอโรแอสติก ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในสารตัวอย่างไข่สดที่เตรียมไว้
3. เติมน้ำปราศจากไอออนลงไป 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
4. เลือกเฉพาะสารละลายตัวอย่างส่วนที่ใส เทลงในหลอดเซนตริฟิวก์ ขนาด 2 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวก์ ที่ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
5. หลังจากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างด้วยเข็มฉีดยา กรองด้วยตัวกรอง 0.45 ไมโครเมตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร ต่อจากนั้นเก็บสารละลายตัวอย่างไว้ในตู้เย็น

#### 2.5 เครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สด

ในการทำการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สดเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบชนิดไหลที่ต่อกับเครื่องยูวี - วิสibel สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร ปริมาตรของสารตัวอย่างที่ใช้เท่ากับ 1 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 2.7 โดยมีปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์เป็นปฏิกิริยาหลักในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สด โดยกำหนดรูปแบบของการเสริมไอโอดีนทั้งหมด 4 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า





ภาพที่ 2.7 เครื่องวิเคราะห์แบบฉีดไหลที่ใช้ในการตรวจวัดของปฏิกิริยาแซนเดิลล์ - โคลธอฟฟ์

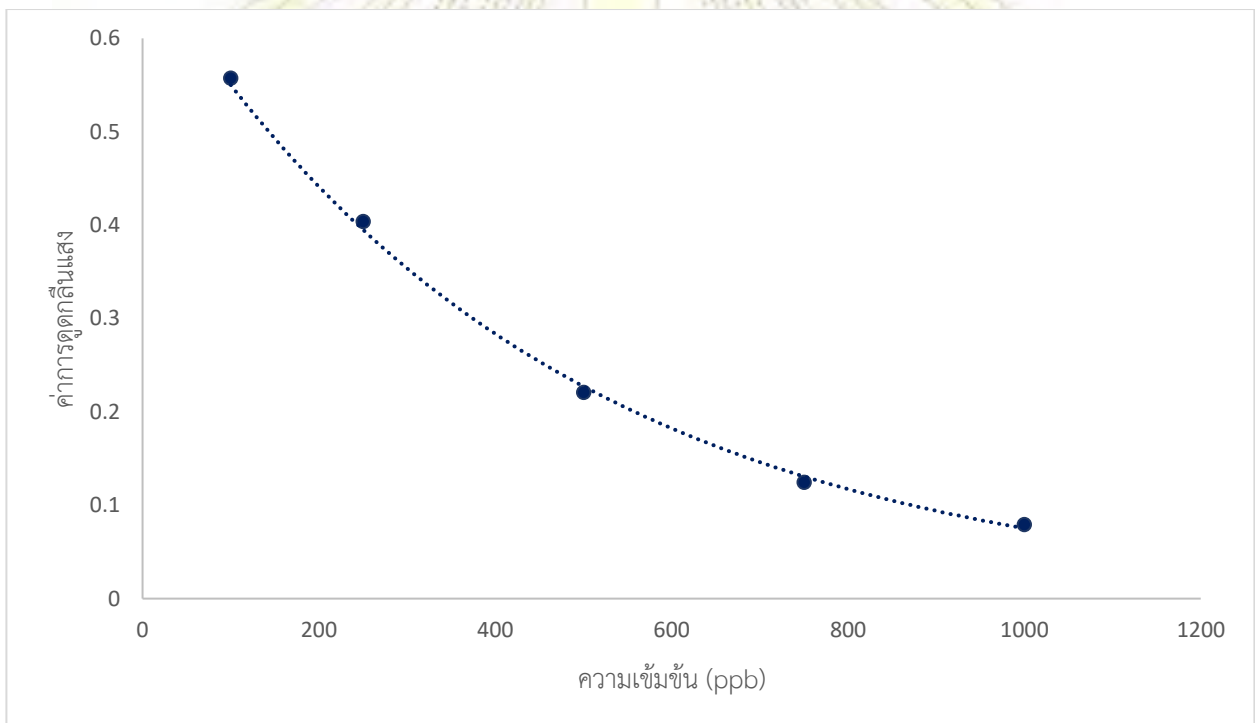


### บทที่ 3

#### ผลการทดลองและอภิปรายผล

##### 3.1 กราฟมาตรฐานการหาปริมาณไอโอดีนด้วยปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์

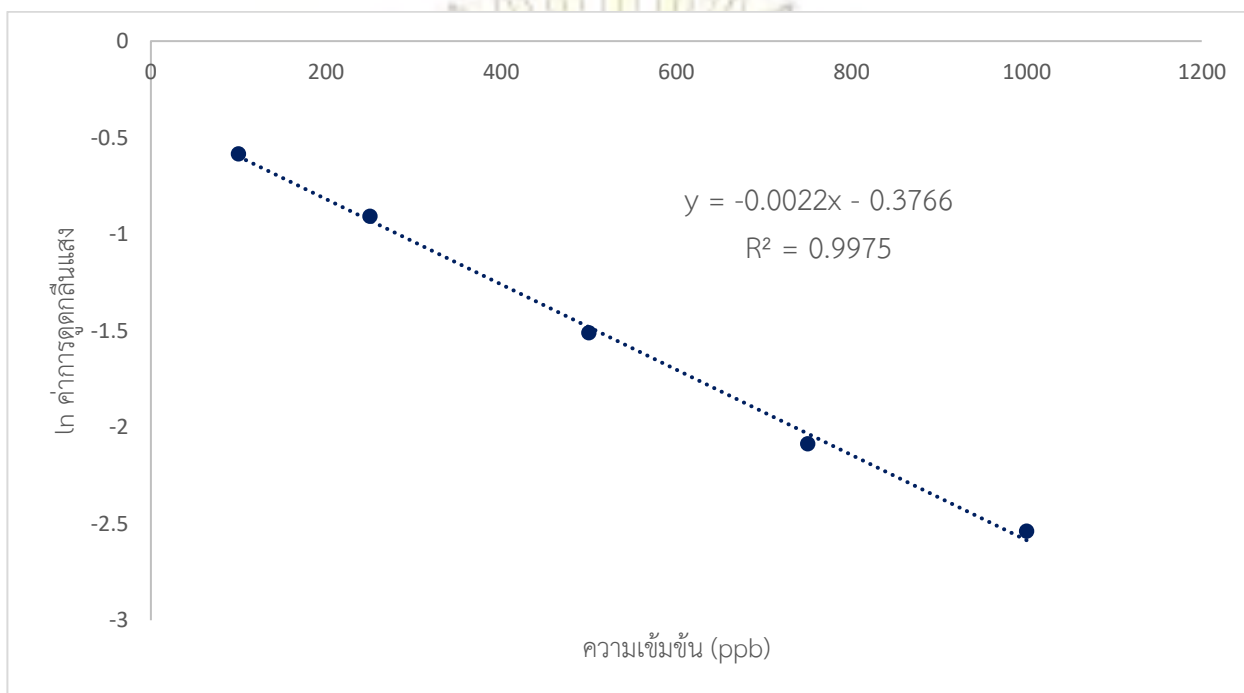
การตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไข่สดต้องอาศัยกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ ซึ่งตัวอย่างไข่ที่ต้องการวิเคราะห์หลังผ่านการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยทีซีเอ (TCA) นั้นจะถูกตรวจวัดด้วยการวิเคราะห์แบบฉีดไหลภายใต้ปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์ ในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนด้วยปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์นั้น สารละลายสีเหลืองของซีเรียมไอออน ( $Ce(IV)$ ) จะถูกรีดิวซ์ด้วยอาร์เซนิกไอออน ( $As(III)$ ) ซึ่งเป็นสารละลายไม่มีสี โดยมีไอโอดีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอัตราเร็วในการฟอกจางสีจะขึ้นกับปริมาณของไอโอดีน กล่าวคือการลดลงของการดูดกลืนแสงของ  $Ce(IV)$  จะแปรผันตามความเข้มข้นของไอโอดีน กราฟมาตรฐานระหว่าง การดูดกลืนแสงของ  $Ce(IV)$  กับความเข้มข้นไอโอดีน แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेट

พบว่ากราฟมาตรฐานมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์ นั้นมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นลำดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order) โดยให้ความเข้มข้นของสารตัวใดตัวหนึ่งมีมาก จนถือได้ว่าการเปลี่ยนแปลงน้อย อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับสารที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสารที่มีความเข้มข้นต่ำในปฏิกิริยาแซนเดลล์ - โคลธอฟฟ์คือซีเรียม ไอออน ( $Ce(IV)$ ) จะเป็นตัวกำหนดปฏิกิริยา ในการปรับกราฟมาตรฐานให้มีลักษณะเป็นเส้นตรงต้องดำเนินการทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยลอการิทึมฐานธรรมชาติ ( $\ln$ )

ซึ่งกราฟมาตรฐานที่ได้ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination;  $R^2$ ) มากกว่า 0.99 ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งสามารถยอมรับได้

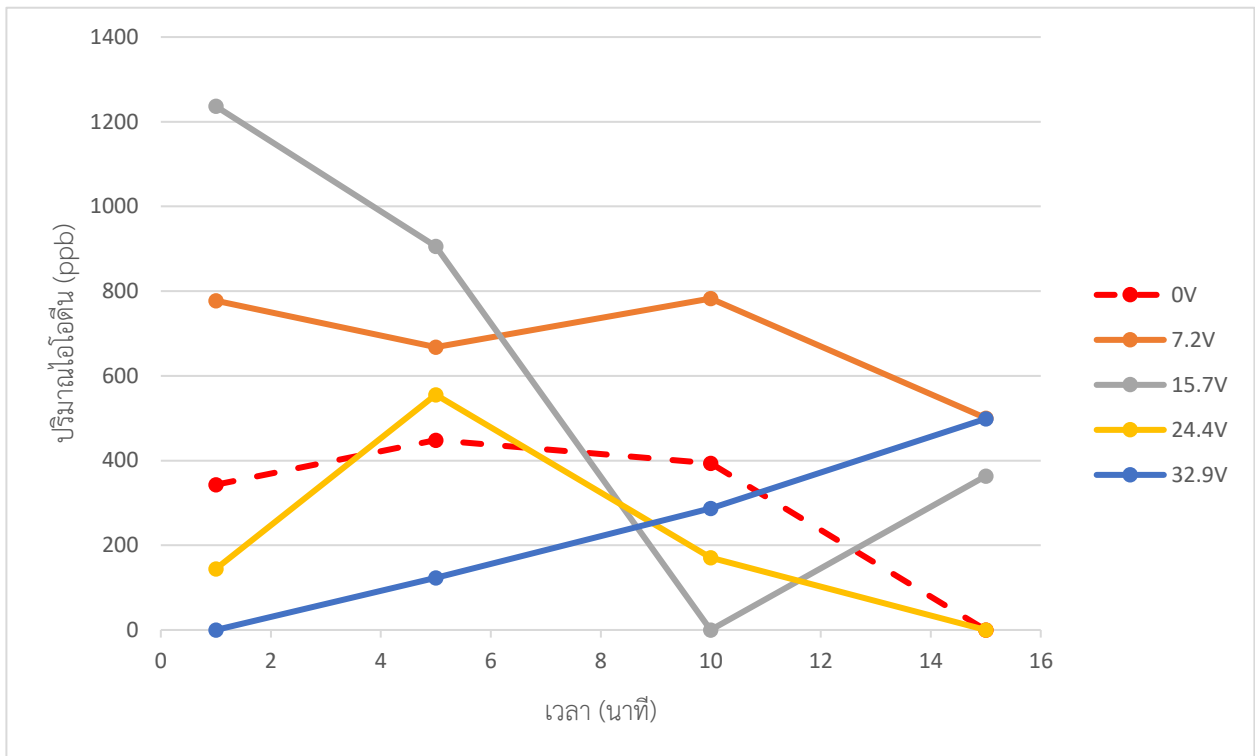


ภาพที่ 3.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโพแทสเซียม ไอโอเดตหลังเปลี่ยนตัวดำเนินการ

จากกราฟมาตรฐานซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นต่าง ๆ ในระดับไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9975 และมีลักษณะเป็นเส้นตรงภายใต้แนวโน้มที่ลดลง เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างไขที่ต้องการวิเคราะห์ จะใช้ค่าลอการิทึมธรรมชาติของค่าการดูดกลืนแสงแทนค่าลงในสมการของกราฟมาตรฐาน จากนั้นคำนวณย้อนกลับเพื่อหาปริมาณไอโอดีนในไขสด

### 3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในไขสดที่มีการเสริมในรูปแบบต่าง ๆ

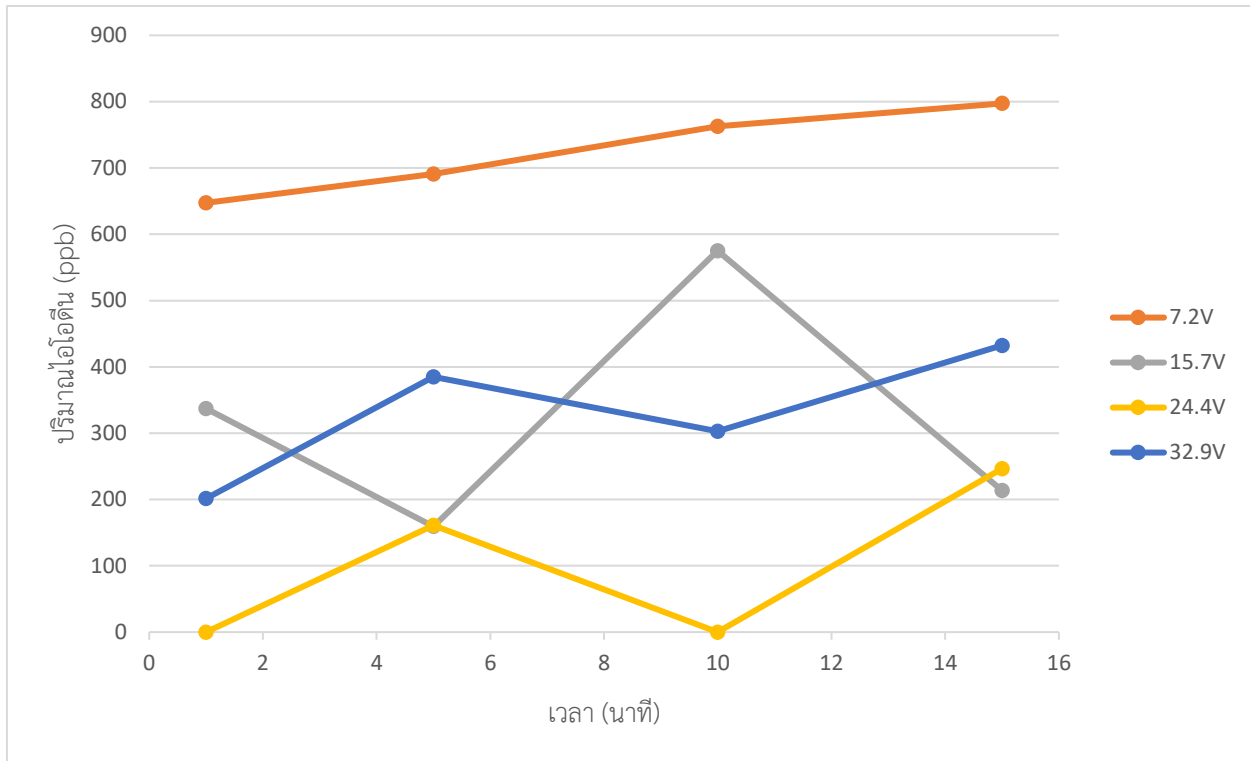
จากการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไขสด พบว่าไขสดมีปริมาณไอโอดีนในช่วง 170 – 330 ไมโครกรัมต่อลิตร กลุ่มที่ 1 ซึ่งกำหนดสมมติฐานว่าถ้าไฟฟ้าสามารถผลักรสละลายโพแทสเซียม ไอโอเดตได้ ไอโอดีนจะสามารถตรวจพบได้ โดยมีรูปแบบการเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าทั้งหมด 2 รูปแบบ ได้แก่ ชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 1 โดยใช้ช่วงเวลาในการเสริมไอโอดีน 1, 5, 10 และ 15 นาที ที่ความต่างศักย์ 0, 7.2, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ตามลำดับ ปริมาณไอโอดีนที่พบในไขสดด้วยชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 1 แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงปริมาณโอโซนในไซสของชุดควบคุม และรูปแบบที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ

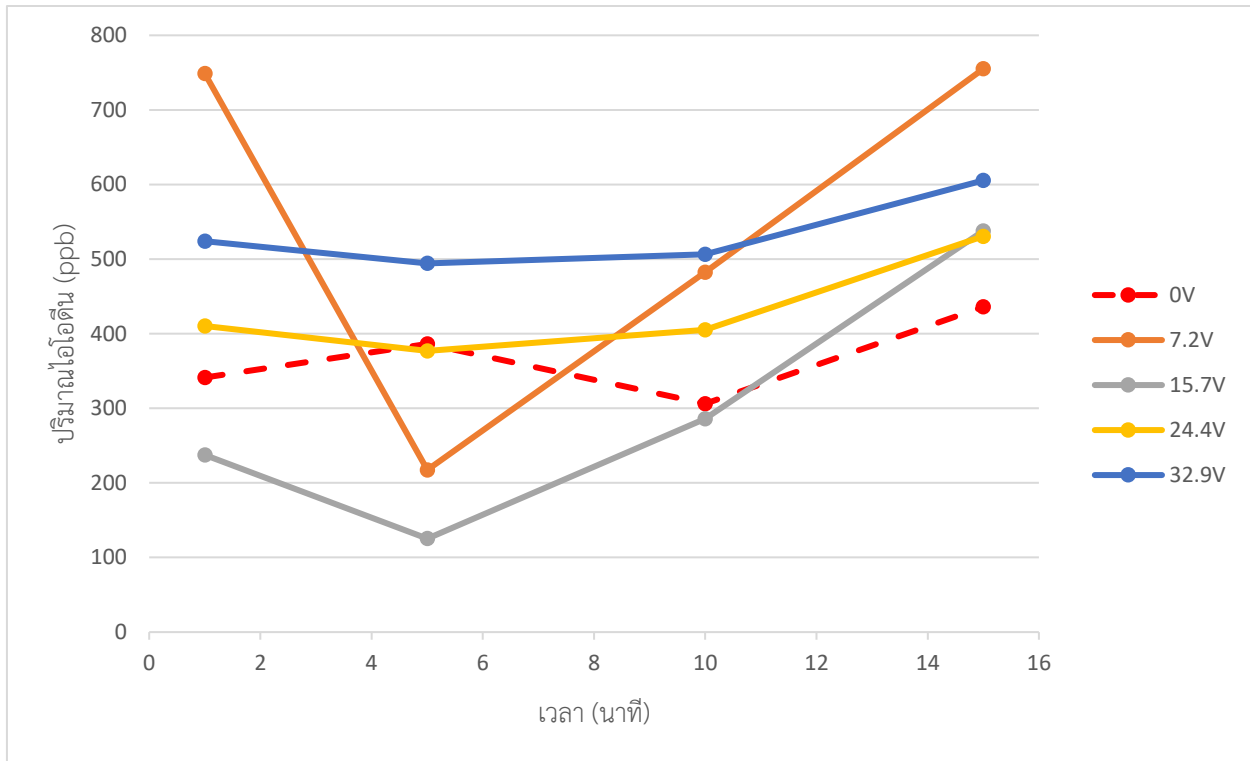
จากกราฟพบว่าปริมาณโอโซนในไซสแต่ละฟองมีค่าปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณากราฟของปริมาณโอโซนในไซสที่ 0 โวลต์ หรือไม่ให้ศักย์ไฟฟ้า ซึ่งกำหนดให้เป็นชุดควบคุม แนวโน้มปริมาณโอโซนในไซสที่ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วงเวลา 5 ถึง 10 นาทีอยู่ในช่วง 100 ถึง 800 ไมโครกรัมต่อลิตร ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ไม่เลือก ณ เวลา 15 นาที เนื่องจากปริมาณโอโซนในไซสค่อนข้างลดลงและมีความแปรปรวนของปริมาณโอโซนในไซสสูง กราฟของปริมาณโอโซนในไซส ณ ทุกค่าความต่างศักย์เมื่อเทียบกับการทดลองควบคุม พบว่าแนวโน้มปริมาณโอโซนในไซสไม่ชัดเจน มีความแปรปรวนสูง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

ในกลุ่มที่ 2 ซึ่งกำหนดสมมติฐานว่าถ้าไฟฟ้ามีผลกับการผลึกสารละลาย แล้วทิศทางมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेटเข้าสู่ไซส โดยมีรูปแบบการเสริมโอโซนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า จำนวน 3 รูปแบบ คือชุดควบคุมของรูปแบบที่ 2 และ 3 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เมื่อให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 0, 7.2, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ ซึ่งที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 0 โวลต์เป็นชุดควบคุม โดยใช้ช่วงเวลาในการเสริมโอโซน 1, 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ ดังภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงปริมาณไอโอดีนในไซสตรของรูปแบบที่ 2 ที่เวลาต่าง ๆ

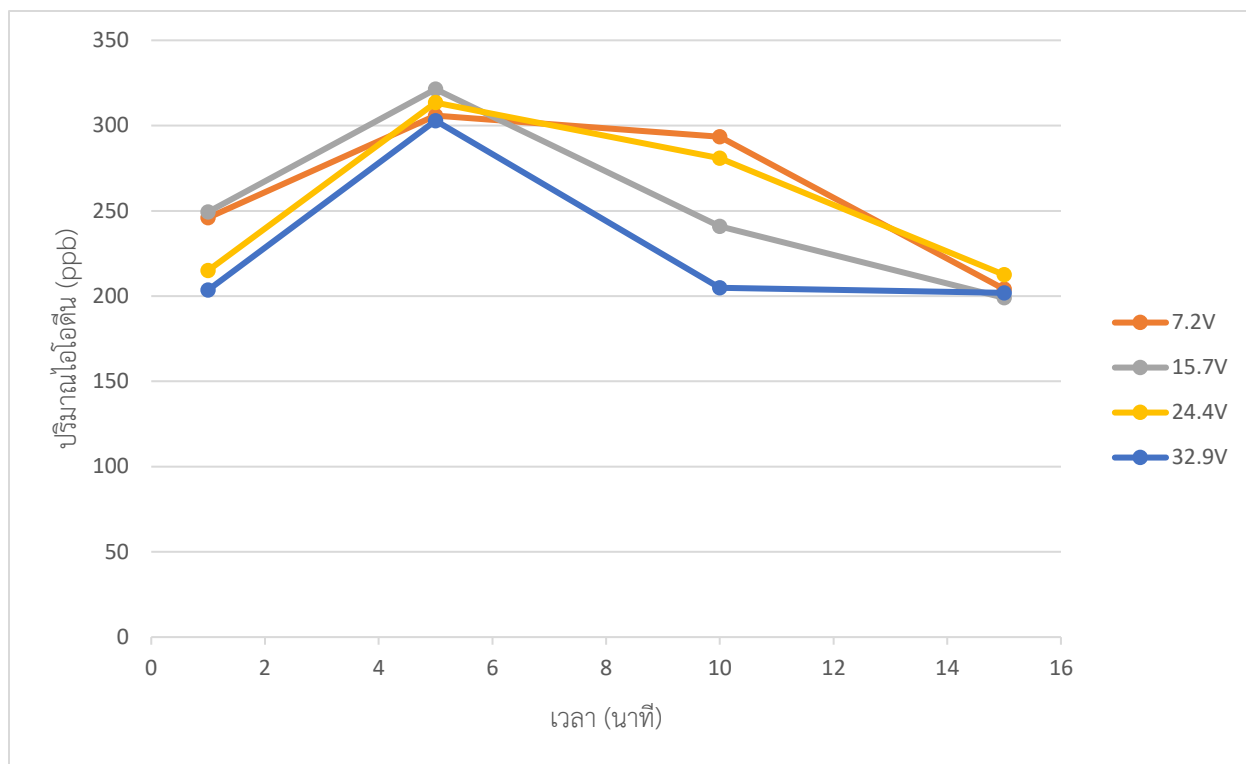
จากกราฟพบว่ากราฟของปริมาณไอโอดีนในไซสตร ณ ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า มีแนวโน้มปริมาณไอโอดีนในไซสตรอยู่ในช่วง 100 ถึง 600 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนยังคงไม่มีความชัดเจนและพบความแปรปรวนสูง พบเพียงกราฟของปริมาณไอโอดีน ณ 7.2 โวลต์ ที่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนอย่างชัดเจนเมื่อเวลามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังพบความแปรปรวนสูง



ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงปริมาณไอโอดีนในไซสโตของชุดควบคุม และรูปแบบที่ 3 ที่เวลาต่าง ๆ

จากกราฟพบว่ากราฟของปริมาณไอโอดีนในไซสโต ณ 0 โวลต์ หรือไม่ให้ศักย์ไฟฟ้า ซึ่งกำหนดให้เป็นการทดลองควบคุม พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนไม่ชัดเจน มีความแปรปรวนของข้อมูล ส่วนกราฟของปริมาณไอโอดีนในไซสโตที่ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้ามีปริมาณในช่วง 100 ถึง 700 ไมโครกรัมต่อลิตร พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนในไซสโต ณ เวลา 5 นาทีขึ้นไปตามเวลา แต่ยังไม่พบความแปรปรวนของข้อมูลสูง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเทียบกับการทดลองควบคุมได้

กลุ่มที่ 3 กำหนดสมมติฐานว่าถ้ากระแสไฟฟ้าสามารถผลึกสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตได้ แล้วกระแสไฟฟ้าต้องเคลื่อนที่จากขั้วประจุลบไปหาประจุบวก ซึ่งรูปแบบการเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า มีจำนวน 1 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 4 ใช้ความต่างศักย์ 7.2, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ โดยใช้เวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที ดังภาพที่ 3.6

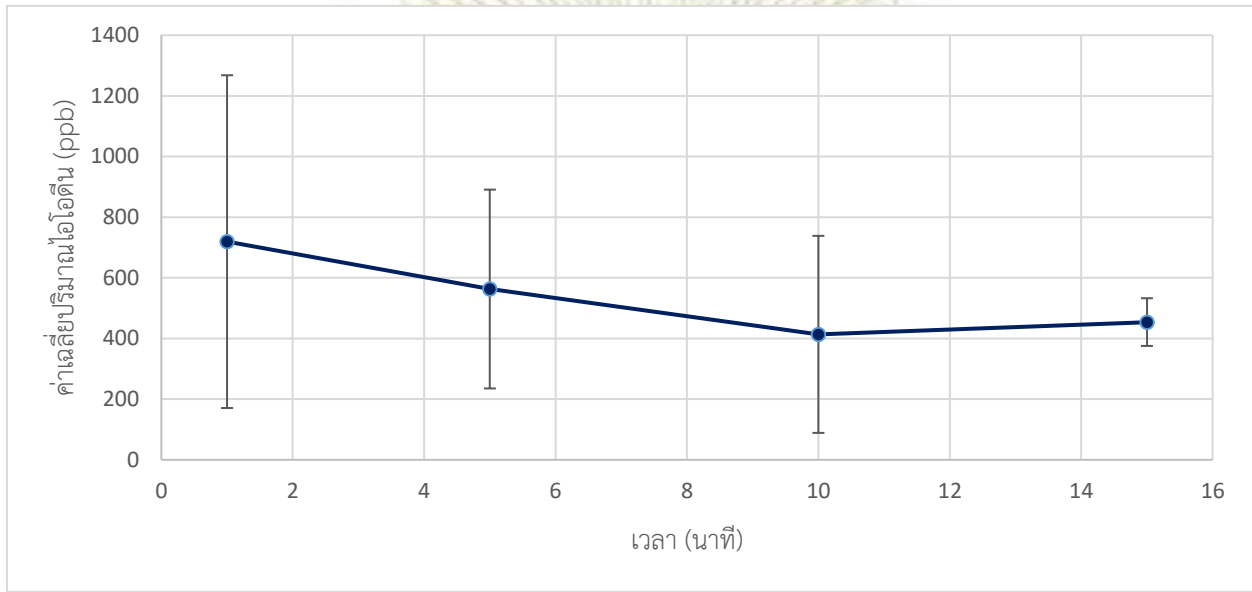


ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงปริมาณโอโซนในไซสโตของรูปแบบที่ 4 ที่เวลาต่าง ๆ

จากกราฟพบว่ากราฟของปริมาณโอโซนในไซสโต 7.2, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซนในไซสโตไม่ชัดเจนและมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลไม่ครบวงจร ความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงไม่เกิดขึ้น ไม่เกิดการเคลื่อนย้ายไอออน ส่งผลให้ปริมาณโอโซนในไซสโตไม่เพิ่มขึ้นและมีความแปรปรวนสูง

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณโอโซนในไซสโตของรูปแบบทั้งหมด 4 รูปแบบนั้น มีความแปรปรวนของข้อมูลมาก และมีความชัดเจนของการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซนในไซสโตค่อนข้างน้อย เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากความต่างศักย์จากแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ไม่ต่างกันมากนัก ผู้วิจัยได้ทำการเฉลี่ยข้อมูลของแต่ละความต่างศักย์ของแต่ละเวลา เพื่อสังเกตแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซนในแต่ละกลุ่ม ลดความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมโอโซนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าระหว่างกลุ่ม ซึ่งพบว่ากลุ่มที่มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซนในไซสโต ประกอบด้วยรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 ในส่วนของรูปแบบที่ 4 ไม่พบแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของโอโซน อีกทั้งในกระบวนการเสริมโอโซนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีใด ๆ ขึ้น ดังนั้นรูปแบบที่ 4 จึงไม่เข้าข่ายของการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซนในไซสโต โดยผู้วิจัยเลือกรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมโอโซน ซึ่งรูปแบบที่ 1 พบว่ากราฟของปริมาณโอโซนในไซสโต มีลักษณะดังภาพที่ 3.7 ซึ่งรูปแบบที่ 1 เลือกความต่างศักย์ 7.4, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ ช่วงเวลา 1, 5, 10

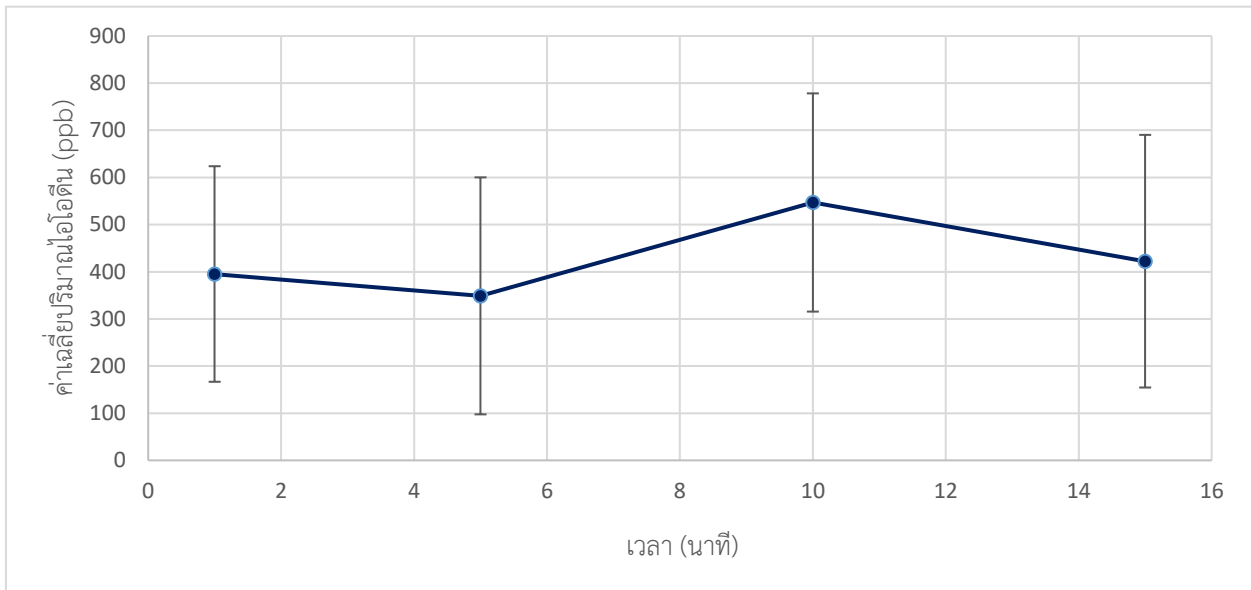
และ 15 นาที ซึ่งแนวโน้มปริมาณไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ปริมาณไอโอดีนในไข่สดของรูปแบบที่ 1 มีมากที่สุด ณ เวลา 1 นาทีของค่าเฉลี่ยในทุกความต่างศักย์ มีค่าน้อยที่สุด ณ เวลา 10 นาทีของค่าเฉลี่ยในทุกความต่างศักย์ ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของไอโอดีนได้ แต่เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดในการเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า



ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในไข่สดของรูปแบบที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ

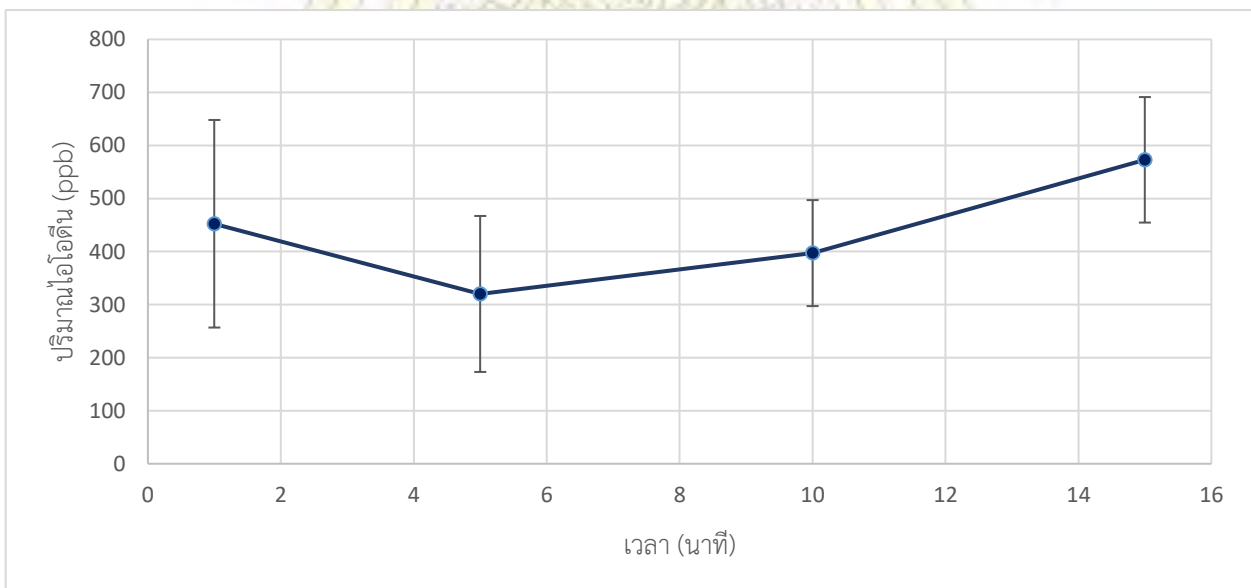
รูปแบบที่ 2 เลือกความต่างศักย์ 7.4, 15.7, 24.4 และ 32.9 ในการเฉลี่ยข้อมูลปริมาณไอโอดีนในไข่สดที่เวลา 1, 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ ซึ่งรูปแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 3.8 แนวโน้มปริมาณไอโอดีนของรูปแบบที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่ชัดเจน ซึ่ง ณ เวลา 5 นาที ปริมาณไอโอดีนในไข่สดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอโอดีน ณ เวลาต่าง ๆ จึงไม่สามารถกล่าวได้ว่าการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้ารูปแบบที่ 2 พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของไอโอดีนในไข่สดอย่างชัดเจน และไม่สามารถให้ความชัดเจนกับสมมติฐานที่กำหนดได้





ภาพที่ 3.8 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณโอโอดินในไซ้สดของรูปแบบที่ 2 ที่เวลาต่าง ๆ

กลุ่มสุดท้ายที่นำข้อมูลมาเฉลี่ยคือรูปแบบที่ 3 โดยเลือกความต่างศักย์ 7.4, 15.7, 24.4 และ 32.9 โวลต์ เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ใช้ช่วงเวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที ได้กราฟที่มีลักษณะดังภาพที่ 3.9 พบว่าแนวโน้มปริมาณโอโอดินในไซ้สดของรูปแบบที่ 3 มีแนวโน้มของปริมาณโอโอดินในไซ้สดเพิ่มขึ้น ณ เวลา 5 นาทีขึ้นไป แต่ยังคงไม่มีความชัดเจน เนื่องจาก ณ เวลา 1 นาที มีปริมาณโอโอดินในไซ้สดสูงกว่า ณ เวลา 5 และ 10 นาที ดังนั้นไม่สามารถกล่าวได้ว่ารูปแบบที่ 3 สามารถเสริมโอโอดินในไซ้สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าได้ และไม่สามารถกล่าวได้ว่ารูปแบบที่ 3 เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

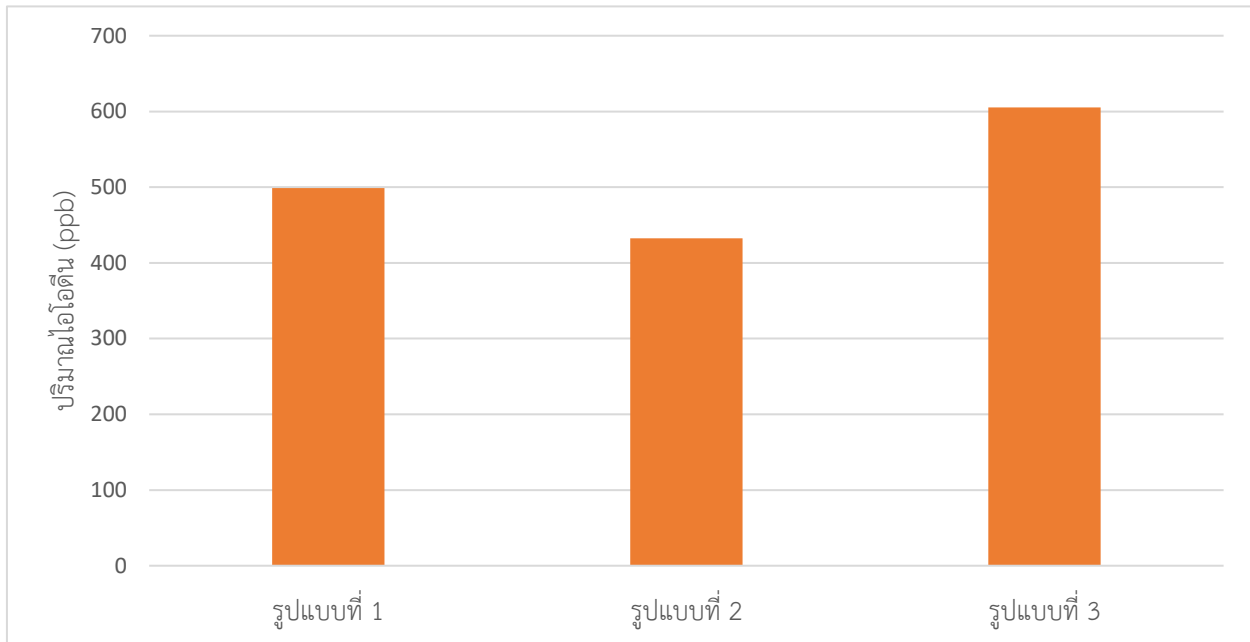


รูปภาพที่ 3.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณโอโอดินในไซ้สดของรูปแบบที่ 3 ที่เวลาต่าง ๆ

จากกราฟปริมาณไอโอดีนในไข่สดของรูปแบบทั้ง 4 รูปแบบ และกราฟค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนของรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 นั้นมีความแปรปรวนของข้อมูลมาก ส่งผลให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบผลได้ชัดเจนเท่าที่ควร ซึ่งสาเหตุของความแปรปรวนนั้นอาจเกิดขึ้นจากการที่ใช้สารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेटในการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าน้อยเกินไป ซึ่งใช้ความเข้มข้นเพียง 500 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ไอออนไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ไข่สดได้น้อยหรือไม่เข้าสู่ไข่สด อีกทั้งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งแก้ไขได้โดยเตรียมสารละลายโพแทสเซียม ไอโอดेटให้อิ่มตัวจะเป็นวิธีลดปัญหาที่กล่าวมา กรณีถัดมาเป็นเรื่องการเตรียมตัวอย่าง เนื่องจากไข่สดประกอบด้วยโปรตีนค่อนข้างมาก ซึ่งโปรตีนจะรบกวนการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน การตกตะกอนโปรตีนจึงเป็นสิ่งสำคัญ ผู้วิจัยได้ทำการตกตะกอนโปรตีนด้วยทีซีเอ (TCA) ซึ่งให้ผลที่ดี มีความน่าเชื่อถือ แต่การตกตะกอนโปรตีนอาจจะมีโปรตีนที่ตกค้างในสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน ไม่ถูกต้องและน่าเชื่อถือเท่าที่ควร ซึ่งการลดปัญหาดังกล่าวต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญในการเตรียมตัวอย่างเป็นพิเศษ ประกอบกับไข่สดแต่ละฟองมีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ไม่สามารถควบคุมปริมาณไอโอดีนให้เท่ากันได้ทั้งหมดทุกใบ แต่สามารถควบคุมได้ถ้าหากเลือกไข่ไข่สดในการวิเคราะห์จากแหล่งเดียวกัน ขนาดของไข่สดที่เท่ากัน ใช้จำนวนไข่สดหลายฟอง และทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีจำนวนมาก เมื่อเฉลี่ยข้อมูลจะได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ เป็นค่ากลาง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ และลดความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้

### 3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยเลือกกลุ่มในการเปรียบเทียบซึ่งประกอบด้วย รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เนื่องจากมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของไอโอดีนอยู่ จึงเหมาะสมที่จะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ส่วนรูปแบบที่ 4 นั้นไม่มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอโอดีนในไข่สดในทุกความต่างศักย์ ณ เวลาต่าง ๆ จึงไม่เลือกในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะนำข้อมูลปริมาณไอโอดีนในไข่สด ณ ความต่างศักย์ 32.9 โวลต์ ณ เวลา 15 นาที มาเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนในไข่สดเพียงข้อมูลเดียวตามแต่ละกลุ่ม ซึ่งลักษณะกราฟที่ใช้แสดงผลมีลักษณะเป็นแผนภูมิแท่ง ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 กราฟแท่งแสดงปริมาณโอโซน ณ ความต่างศักย์สูงที่สุด ณ เวลา 15 นาที

จากกราฟแท่งพบว่าที่ความต่างศักย์สูงที่สุด คือ 32.9 โวลต์ ณ เวลา 15 นาทีของรูปแบบที่ 1 มีปริมาณโอโซนในไซสโตเท่ากับ 498.6436 ไมโครกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 2 มีปริมาณโอโซนในไซสโตเท่ากับ 432.4074 ไมโครกรัมต่อลิตร และรูปแบบที่ 3 มีปริมาณโอโซนในไซสโตเท่ากับ 605.4597 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่ารูปแบบที่ 3 มีปริมาณโอโซนในไซสโตมากที่สุด ถัดมาเป็นรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เป็นอันดับสุดท้าย รูปแบบที่ 1 กับรูปแบบที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมโอโซนในไซสโตได้ หากกล่าวถึงรูปแบบที่ 3 ถือว่ายังไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เช่นกัน เนื่องจากปริมาณโอโซนในไซสโตมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ส่งผลให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องและชัดเจนมากเท่าที่ควร ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่ากลุ่มใดมีประสิทธิภาพในการเสริมโอโซนในไซสโตด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าได้ดีที่สุด แต่สามารถสรุปได้หากมีข้อมูลที่มีจำนวนมากในการวิเคราะห์และข้อมูลมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ความแปรปรวนต่ำ

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

จากการผลการทดลองการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าทั้ง 4 รูปแบบ พบว่า ปริมาณไอโอดีนในไข่สดที่ยังไม่ผ่านวิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สดมีปริมาณไอโอดีนในไข่สดต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับ ไข่สดแต่ละฟอง เมื่อทำการเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้าในรูปแบบที่ 1 พบว่าแนวโน้มปริมาณ ไอโอดีนในไข่สดไม่ชัดเจน มีความแปรปรวนสูง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ และไม่สามารถวิเคราะห์ ประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนได้อย่างชัดเจน รูปแบบที่ 2 พบว่าแนวโน้มปริมาณไอโอดีนในไข่สดเพิ่มมากขึ้น ณ ความต่างศักย์ 7.2 โวลต์อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มปริมาณไอโอดีนในไข่สด ณ ความต่างศักย์อื่น ยังมีความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนในไข่สดสูง ถัดมาที่รูปแบบที่ 3 แนวโน้มปริมาณไอโอดีนในไข่สดเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลาตั้งแต่ 5 นาทีขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถวิเคราะห์การเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่ง ด้วยไฟฟ้าทุกความต่างศักย์ได้ เนื่องจากมีความแปรปรวนสูง และรูปแบบที่ 4 ไม่พบแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณไอโอดีนในไข่สด และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนในไข่สดของรูปแบบที่ 1 รูปแบบ ที่ 2 และรูปแบบที่ 3 พบว่ารูปแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพในการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการเร่งด้วยไฟฟ้า ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าวิธีการเสริมไอโอดีนในไข่สดกลุ่มใดเป็นวิธีที่ดีที่สุดและเหมาะสม ที่สุด เนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลมากและข้อมูลไม่มีความชัดเจนเท่าที่ควร

## เอกสารอ้างอิง

1. Wirunthanakhwan, N. ไอโอดีน คืออะไรและมีความสำคัญอย่างไร.  
<https://healthgossip.co/what-is-iodine> [2016, September]
2. WHO. Surveillance System for Tracking progress forwards the Sustainable Elimination of IDD in Thailand. *Ministry Public Health of Thailand*. **2005**.
3. Thurlow, R. A., Winichagoon, P., Pongcharoen, T., Gowachirapant, S., Boonpradern, A., Manger, M. S., Baily, K. B., Wasantwisut, E., Gibson, R. S. Risk of zinc, iodine and other micronutrient deficiencies among school children in North East Thailand. *Eur J Clin*. **2006**, *60*, 623-632.
4. สายพิณ โชติวิเชียร., ปิยนิตย์ ธรรมภรณ์พิลาต., แสงโสม สีนะวัฒน์. การได้รับไอโอดีนจากแหล่งต่างๆ ของประชากรไทย. **2002**.
5. Bureau of nutrition, Department of health. Assessment on availability and consumption of iodized salt at household in Thailand. **1999**.
6. อาหารที่มีไอโอดีนสูง มีอะไรบ้าง. <http://www.knowledge2u.com> [2016, September]
7. สุจิตต์ สาลีพันธ์., ณรงค์ สายวงศ์., นันทจิต บุญมงคล., พูนศรี เลิศลักษณ์วงศ์., อวิทธ์ เขาวนัถลิตกุล. คุณภาพเกลือเสริมไอโอดีนในครัวเรือนของประเทศไทย. **2006**.
8. Unak, T., Yildirim, Y., Avcibasi, U., Unak, G. Transfer of orally administrated iodine-131 into chicken eggs. *Applied Radiation and Isotopes*. **2003**, *58(3)*, 299-307.
9. Songserm, O., Chaunchom, S., Sa-nguanphan, S., Triwutanon, O., Plaiboon, A. Iodine supplementation in layer diets for commercial production of iodine-enriched eggs. **2004**.
10. Suvanprakorn, P., Tanasugarn, L., Limahksohn, A., Sinawat, S., Vathipongse, P. Method for the iodine fortification of eggs. *U.S. patent 6*. **2005**, *60*, 410.
11. ฐนิสา เก่งถนอมม้า., สุประวีณ์ วงศ์สุโขโต. การเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยวิธีไอออนโตโพเรซิส. *โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. **2007**.
12. สมโภชน์ อิมเอิบ. ไข่เสริมไอโอดีนโดยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. **2012**, *20(2)*, 289-293.
13. Pikal, M. J., Shah, S. Study of the mechanisms of flux enhancement through hairless mouse skin by pulsed DC iontophoresis. *Pharm Res*. **1991**, *8(3)*, 365-369.
14. Wang, Y., Fan, Q., Song, Y., Michniak, B. Effects of fatty acids and iontophoresis on the delivery of midodrine hydrochloride and the structure of human skin. *Pharm Res*. **2003**, *20(10)*, 1612-1618.

15. Anderson, C. R., Morris, R. L., Boeoh, S. B., Panus, P. C., Sembrowich W. L. Effect of iontophoresis current magnitude and duration on dexamethasone deposition and localized drug retention. *Physical therapy*. **2003**, *83*, 161-170.
16. Yan, G., Li, S. K., Higuchi, W. I. Evaluation of constant current alternating current iontophoresis for transdermal drug delivery. *Journal of controlled release*. **2005**, *110*, 141-150.
17. Sandell, E. B., Kolthoff, I. M. Micro determination of iodine by a catalytic method. *Eingegangen am*. **1936**, *10*, 9-25.
18. นวลละออ รัตนวิมานวงศ์. การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในน้ำปัสสาวะสำหรับการประเมินภาวะการขาดสารไอโอดีนในประชากร. *SWU sci J*. **2012**, *28(2)*, 117-131.
19. กัญชลิ อัครโกวิททวงศ์, ลัดดาพร สิมะรักษ์อำไพ. การตรวจวัดหาปริมาณไอโอดีนในไข่ไก่ และเกลือเสริมไอโอดีน. *โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. **2010**.
20. ณจรี ประคองทรัพย์, บารมี โฆษิตชัยวัฒน์. การใช้แบบจำลองเปลือกไข่สำหรับศึกษาการเสริมไอโอดेटในไข่สดโดยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า. *โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. **2010**.
21. Todsaporn Srivorakul. Precipitation of proteins as sample preparation for determination of iodine content in eggs by Sandell – Kolthoff flow injection method. Master's Thesis, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 2015.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลการศึกษาหาปริมาณไอโอดีนในไข่สด

ตาราง ก.1 ปริมาณไอโอดีนในไข่สด

ชื่อฉลากไข่สด	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง	ln ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง	ปริมาณไอโอดีน (ppb)
E1	0.426613	-0.851878	299.298
E2	0.425119333	-0.855385365	303.982
E3	0.466280333	-0.762968252	188.460
E4	0.470672667	-0.753592402	176.740
E5	0.415372	-0.878580775	332.975



ตาราง ก.2 ปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังการเสริมในชุดควบคุมของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 1

ชื่อฉลาก ไข่สด	เวลา (นาทีก)	ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ln ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ไอโอดีนที่พบ (ppb)
A1	1	0.474839667	-0.744778076	0	342.9269193
A2	1	0.512348667	-0.668749896	7.2	777.49896
A3	1	0.48936	-0.714656864	15.7	1236.56864
A4	1	0.504029	-0.685121473	24.4	144.0715763
A5	1	0.522021	-0.650047462	32.9	27.1582067454701
A6	5	0.460066	-0.776385322	0	448.2844051
A7	5	0.51798	-0.657818648	7.2	668.18648
A8	5	0.505822333	-0.681569791	15.7	905.6979125
A9	5	0.445503	-0.808551298	24.4	555.504327
A10	5	0.507230333	-0.678790072	32.9	122.9669073
A11	10	0.467710333	-0.759906121	0	393.3537352
A12	10	0.512088667	-0.669257492	7.2	782.5749185
A13	10	0.548559	-0.600460439	15.7	94.604389623345
A14	10	0.499974667	-0.693197849	24.4	170.9928284
A15	10	0.482858	-0.728032664	32.9	287.1088814
A16	15	0.336193	-1.090069879	0	1493.89959721432
A17	15	0.526744667	-0.641039351	7.2	500.3935133
A18	15	0.534016	-0.627329478	15.7	363.2947792
A19	15	0.526373	-0.641745192	24.4	0.516026400627645
A20	15	0.453167667	-0.791493097	32.9	498.6436563

ตาราง ก.3 ปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังการเสริมในรูปแบบที่ 2

ชื่อฉลาก ไข่สด	เวลา (นาทีก)	ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ln ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ไอโอดีนที่พบ (ppb)
B1	1	0.519059833	-0.655736117	7.2	647.3611666
B2	1	0.535424667	-0.624695077	15.7	336.9507748
B3	1	0.553559333	-0.591386336	24.4	3.86335951071626
B4	1	0.542729333	-0.611144549	32.9	201.4454864
B5	5	0.516814	-0.660072237	7.2	690.722371
B6	5	0.545021	-0.606930953	15.7	159.3095295
B7	5	0.562748333	-0.574922761	24.4	160.7723915
B8	5	0.532872	-0.629474034	32.9	384.7403375
B9	10	0.513095667	-0.667292966	7.2	762.9296647
B10	10	0.522823	-0.648512304	15.7	575.1230432
B11	10	0.484906	-0.723800221	24.4	1328.00221262088
B12	10	0.537260667	-0.621271889	32.9	302.7188946
B13	15	0.511335	-0.670730326	7.2	797.3032628
B14	15	0.542083	-0.612336153	15.7	213.3615274
B15	15	0.540290667	-0.615648013	24.4	246.4801264
B16	15	0.530338	-0.63424074	32.9	432.4073985

ตาราง ก.4 ปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังการเสริมในชุดควบคุมของรูปแบบที่ 2 และ 3 และรูปแบบที่ 3

ชื่อฉลาก ไข่สด	เวลา (นาทีก)	ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ln ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ไอโอดีนที่พบ (ppb)
C1	1	0.45036640	-0.67430213	0	341.3858503
C2	1	0.420418667	-0.866504239	7.2	748.680796
C3	1	0.490085667	-0.713175073	15.7	237.5835774
C4	1	0.469345670	-0.76598345	24.4	410.5050495
C5	1	0.4492748	-0.8003496	32.9	524.0595893
C6	5	0.45998306	-0.67992532	0	386.5024523
C7	5	0.493054667	-0.707135225	7.2	217.4507512
C8	5	0.506875	-0.679490854	15.7	125.302847
C9	5	0.47305065	-0.76049588	24.4	376.9574736
C10	5	0.45112422	-0.78990503	32.9	494.2506043
C11	10	0.4610103	-0.67001285	0	306.130456
C12	10	0.455378667	-0.786625972	7.2	482.4199057
C13	10	0.483049667	-0.727635801	15.7	285.7860036
C14	10	0.435894054	-0.7058694	24.4	405.1039467
C15	10	0.45879324	-0.78439595	32.9	506.2348645
C16	15	0.4603040	-0.764050644	0	435.9620486
C17	15	0.419618	-0.868410505	7.2	755.0350179
C18	15	0.447879667	-0.803230684	15.7	537.7689461
C19	15	0.446937549	-0.803558751	24.4	530.5968824
C20	15	0.435065050	-0.82505643	32.9	605.459674

ตาราง ก.5 ปริมาณไอโอดีนในไข่สดหลังการเสริมในรูปแบบที่ 4

ชื่อฉลาก ไข่สด	เวลา (นาทีก)	ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ln ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง	ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ไอโอดีนที่พบ (ppb)
D1	1	0.4985603	-0.7206607	7.2	245.9538459
D2	1	0.497396	-0.7210063	15.7	249.304983
D3	1	0.5020559	-0.71994347	24.4	214.98392
D4	1	0.509547	-0.70129571	32.9	203.494983
D5	5	0.461044	-0.6739567	7.2	305.847583
D6	5	0.46085843	-0.68320256	15.7	321.3444593
D7	5	0.4600357	-0.67042448	24.4	313.448304
D8	5	0.4610566	-0.67402359	32.9	302.8838293
D9	10	0.492955	-0.67498213	7.2	293.4093011
D10	10	0.4947138	-0.7201134	15.7	240.947302
D11	10	0.4598836	-0.72560654	24.4	280.9483839
D12	10	0.5090258	-0.71129586	32.9	204.9584793
D13	15	0.5091115	-0.71130506	7.2	204.0935603
D14	15	0.5084764	-0.70048589	15.7	199.0009493
D15	15	0.5023654	-0.71870545	24.4	212.4958503
D16	15	0.5085313	-0.71058649	32.9	201.9077585

## ประวัติผู้วิจัย

นายชวกรณ์ สานุสันต์ เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2538 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ 121 หมู่ 9 ถนนขัวญเมือง ตำบลรัตนบุรี อำเภอรัตนบุรี จังหวัดสุรินทร์ 32130

