รายงานฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ การผลิตเครื่องตรวจความเค็มในตัวอย่างอาหารและปัสสาวะ เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนทั่วไป

Project name Development of Salt Meter in Food and Urine for Thai Health Promotion

โดย

ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการ ผศ.ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์

ดร.พรพิมล ศรีทองคำ

ชื่อองค์กรรับทุน มหาวิทยาลัยมหิดล

ได้รับทุนสนับสนุนโดย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

ธันวาคม 2557

รายงานฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ การผลิตเครื่องตรวจความเค็มในตัวอย่างอาหารและปัสสาวะ เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนทั่วไป

(ข้อตกลงที่ 56-00-1764)

โดย

ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการ ผศ.ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์

ดร.พรพิมล ศรีทองคำ

ชื่อองค์กรรับทุน มหาวิทยาลัยมหิดล

ได้รับทุนสนับสนุนโดย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

ธันวาคม 2557

Final Report

Project Development of Salt Meter in Food and Urine for Thai Health Promotion

(Contract no 56-00-1764)

By

Project Manager Asst.Prof. YodchananWongsawat, Ph.D.

Pornpimol Sritongkham, Ph.D.

Organization Mahidol University

This project was supported by

Thai Health Promotion Foundation (Thai Health)

December, 2014

บทคัดย่อ

เกลือเป็นเครื่องปรุงที่มีบทบาทสำคัญมากของอาหารไทย การหลีกเลี่ยงการใช้เกลือจึงแทบเป็นไปไม่ได้เลยสำหรับคนไทย วิธีที่ดีที่สุดที่จะหลีกเลี่ยงการเป็นโรคที่เกิดจากการบริโภคเค็มมากเกินไปคือการตรวจวัดความเค็มในอาหารก่อนการบริโภค หรือการตรวจวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะเพื่อตรวจสอบระดับความเค็มที่บริโภคเข้าไป ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การผลิตอุปกรณ์ที่สามารถวัดความเค็มในอาหารและปัสสาวะที่ตอบสนองต่อโซเดียมคลอไรด์อย่างรวดเร็ว ที่มีราคาประหยัด เพื่อสามารถใช้ได้กับบุคคลทั่วไป เหมาะกับการนำไปใช้ในการรณรงค์ของ สสส และสำหรับบุคคลากรทางการแพทย์ที่ต้องวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในห้องปฏิบัติการ และจุดบริการทางการแพทย์ นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์จากการใช้เครื่องมือราคาสูง และจากการใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางได้อีกด้วย สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเค็มในอาหารผลิตโดยใช้หลักการนำไฟฟ้าของวัดการนำไฟฟ้าของโซเดียมคลอไรด์ ในน้ำซึ่งมีโซเดียมคลอไรด์ 0-10% (g/100ml) จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง ± 0.5% และในน้ำซึ่งมีโซเดียมคลอไรด์ 10.1-20% จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง ± 1% สำหรับแผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะนั้น นักวิจัยใช้ใช้สารเคมีซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) ร่วมกับไดคลอโรฟลูออเรสซีน (dichlorofluorescein) จากการทดสอบพบว่ากระดาษทดสอบดังกล่าวตอบสนองต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 0.05% - 1%

Abstract

Salt is one of the important ingredients in Thai food for a long period of time. Avoiding the use of salt is almost impossible for Thai people. The best way to avoid the disease because of consuming too much salt is to measure the salt level in food before eating or to measure the sodium chloride level in urine to quantify the level of consuming salt. Therefore, this research aims to produce two low cost salt meters, one will be used in food and another one will be used in urine. The device will be designed for normal people and will be suitable for the low salt campaign of the Thai Health Promotion. For the salt meter in food, the conductivity method is employed. By measuring 0-10 gram of salt in 100 ml water (0-10%), the average error of the proposed device is only ±0.5%. In addition, for the measuring of 10.1-20% salt, the average error of the proposed device is slightly increased to ±1% which is still acceptable for the use in the campaign. For the proposed sodium chloride measurement strip, silver nitrate and dichlorofluorescein are both employed. The result reveals that the proposed strip can response efficiently with sodium chloride of 0.05%-1%.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการผลิตเครื่องตรวจความเค็มในตัวอย่างอาหารและปัสสาวะ เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนทั่วไป เกิดขึ้นและดำเนินการจนสำเร็จลงได้ด้วยวิสัยทัศน์ ความเพียร และความร่วมมือรวมพลังของบุคลากรจากเครื่อข่ายลดการบริโภคเค็ม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) มหาวิทยาลัยมหิดล และหน่วยงานภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายจนมิอาจกล่าวนามและกิตติคุณไว้ได้หมด ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักรับผิดชอบให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยนี้ และได้ให้ความไว้วางใจห้องปฏิบัติการเชื่อมต่อสัญญาณสมองด้วยคอมพิวเตอร์และห้องปฏิบัติการไบโอเซนเซอร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ร่วมเรียนรู้ในการดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาในครั้งนี้ ขอขอบคุณ น.ต.หญิง พญ.วรวรรณ ชัยลิมปมนตรี ที่จุดประกายความคิดในการผลิตเครื่องตรวจความเค็มในตัวอย่างอาหารและปัสสาวะ

ขอขอบคุณนักวิจัยจากองปฏิบัติการเชื่อมต่อสัญญาณสมองด้วยคอมพิวเตอร์ และห้องปฏิบัติการไบโอเซนเซอร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้สร้างสรรค์ผลงานและนวัตกรรมทีเกี่ยวข้อง ทำให้งานวิจัยเรื่องนี้สามารถสังเคราะห์เป็น รูปแบบ วิธีการ กระบวนการ เทคนิค ที่เป็นประโยชน์ต่อการสืบค้นและพัฒนางานวิจัยต่อยอดต่อไป

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ากระบวนการและผลการวิจัยในครั้งนี้ จะสร้างเสริมให้ก่อเกิดนวัตกรรมใหม่สำหรับการส่งเสริมลดการบริโภคเค็มเพื่อการมีสุขภาพที่ดีของคนไทย

ด้วยความขอบคุณและศรัทธา
คณะผู้วิจัย

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานที่รวบรวมรายละเอียดงานของโครงการวิจัยการผลิตเครื่องตรวจความเค็มในตัวอย่างอาหารและปัสสาวะ เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนทั่วไป โดยรายงานฉบับนี้ได้เขียนสรุปกรอบแนวคิด แผนการดำเนินงาน วัตถุประสงค์และเป้าหมาย กลุ่มเป้าหมายและพื้นที่ดำเนินการ สถานที่ในการดำเนินการ ระยะเวลาดำเนินงาน ผลการดำเนินการ ข้อเสนอแนะต่างๆ รวมถึงรายชื่อผู้ที่ร่วมทำโครงการทั้งหมด

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่ออธิบายให้ผู้อ่านเข้าใจถึงภาพรวมโครงการ เข้าใจความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ รวมถึงเข้าใจการทำงานของผู้ร่วมทำโครงการวิจัยในครั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

ชื่อโครงการ **1**

ความเป็นมา หลักการ และเหตุผล **1**

กรอบแนวคิด และยุทธศาสตร์หลัก **1**

วัตถุประสงค์ และเป้าหมาย **2**

กลุ่มเป้าหมาย และพื้นที่ดำเนินการ **2**

สถานที่ในการดำเนินการ **2**

ระยะเวลาดำเนินงาน **2**

ผลการดำเนินงาน **2**

ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา **3**

รายละเอียดเครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity **4**

1. หลักการของเครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity 4

2. การพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องวัดความเค็ม CHEM METER 4

2.1 Prototype 1 4

2.2 Prototype 2 5

2.3 Prototype 3 5

2.4 Prototype 4 5

3. **การทดลองวัดค่าความนำไฟฟ้าในตัวอย่างอาหารเทียบกับผลการทดสอบเชิงเคมี** 9

3.1 **การเตรียมตัวอย่างอาหาร** 9

3.2 **ขั้นตอนและวิธีการทดลอง** 11

6.3 **ผลการทดลอง** 11

4. Prototype 5 15

5. วิธีใช้งาน เครื่องวัดความเค็ม CHEM METER 17

6. คำแนะนำสำหรับการบริโภค 18

7. การเปลี่ยนแบตเตอรี่ 19

8. การสอบเทียบเครื่อง CHEM METER 19

7. ข้อควรระวัง 20

รายละเอียดการพัฒนาแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ 15

1. บทนำ 15

2. วิธีการศึกษา และผลการศึกษา 17

2.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ silver nitrate/dichlorofluoroscein/sodium chloride 17

2.2 สารเคมีและวิธีเตรียมสารเคมี 18

2.3 ผลการศึกษา 18

3.การผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 18

3.1 สรุปผลการศึกษา 19

4. ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 19

4.1. วิธีการศึกษา และผลการศึกษา 20

4.2 สารเคมีและวิธีเตรียมสารเคมี 20

4.3 ขั้นตอนการทดลอง 21

4.4 ผลการศึกษา 21

4.5 สรุปผลการศึกษา 22

5.ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 23

5.1 สารเคมีและวิธีเตรียมสารเคมี 23

5.2 ขั้นตอนการทดลอง 24

5.3 ผลการศึกษา 24

5.4 สรุปผลการศึกษา 25

รายละเอียดการผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ 25

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ 25

2. วิธีการผลิตแถบตรวจวัด 25

3. การประกอบแผ่นทดสอบและการบรรจุภัณฑ์ 26

ต้นทุนการผลิตการผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ 27

ต้นทุนผันแปร 27

ต้นทุนคงที่ 27

ค่าแรง 28

เอกสารอ้างอิง **15**

ภาคผนวก **15**

1. ชื่อ และ รายละเอียดของ ผู้รับผิดชอบโครงการ และคณะ 15

2.โครงสร้างการบริหารจัดการ 16

3. การกำกับติดตาม และประเมินผลภายใน 16

ชื่อโครงการ

การผลิตเครื่องตรวจความเค็มในตัวอย่างอาหารและปัสสาวะ เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนทั่วไป

ความเป็นมา หลักการ และเหตุผล

ในอาหารเกือบทุกชนิดจะใช้โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกงเป็นองค์ประกอบ การบริโภคเกลือในปริมาณสูงจะเกิดการรบกวนการดูดซึมและการใช้อาหาร และทำให้ไตต้องทำงานหนักเพื่อรักษาระดับโซเดียมในร่างกาย ในระยะยาวอาจส่งผลให้การทำงานลดลงและเสื่อมสภาพ การวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะบ่งบอกความผิดปกติในการทำงานของไตได้ นอกจากนี้การควบคุมปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในอาหารไม่ให้สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานก็เป็นกลไกหนึ่งที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดภาวะสุขภาพถดถอยจากการเสื่อมของไต

การวิจัยและพัฒนาที่ดำเนินการเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ เป็นการใช้เทคนิคคัลเลอริเมทริกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่มีความแตกต่างทั้งเฉดสีและความเข้มของสีเมื่อมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างปัสสาวะที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ชุดตรวจที่พัฒนาอยู่ในรูปแบบกระดาษทดสอบ โดยการตรึงสารที่มีความจำเพาะต่อโซเดียมคลอไรด์บนกระดาษ กระดาษทดสอบดังกล่าวสามารถตอบสนองต่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะในช่วง 0.1-1.0% ใช้งานสะดวก เพียงหยดตัวอย่างปัสสาวะ 1 หยดบนกระดาษก็สามารถบ่งบอกปริมาณเกลือในตัวอย่าง นอกจากนี้ยังช่วยลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

นอกจากนี้เพื่อความสะดวกในการวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในอาหาร ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดความเค็มแบบอิเล็คทรอนิกส์ในอาหารซึ่งสามารถพกพาได้สะดวก โดยอุปกรณ์นี้จะใช้หลักการนำไฟฟ้าในสารละลาย อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้หลักการของไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้นมาจากไซน์เวฟซึ่งมีความถี่สูงเพื่อให้สามารถวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ได้ถูกต้อง (ซึ่งเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจาก กระแสตรงที่ผ่านเครื่องจะแยกโมเลกุลของโซเดียมและคลอไรด์ออกจากกัน ทำให้ไม่สามารถวัดค่าความเค็มได้) จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์นี้คือสามารถวัดความเค็มได้ในปริมาณที่สูงกว่าอุปกรณ์จากต่างประเทศ จึงเหมาะกับการตรวจสอบอาหารไทยซึ่งมีรสจัด

กรอบแนวคิด และยุทธศาสตร์หลัก

โครงการนี้มีกรอบแนวคิดและยุทธศาสตร์หลักเป็นไปตามโครงการใหญ่ของแผนการรณรงค์ของเครือข่ายลดการบริโภคเค็ม

วัตถุประสงค์ และเป้าหมาย

เพื่อพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณโซเดียมในอาหารและปัสสาวะ โดยแบ่งเป็น

1) เครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity

2) แผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ

กลุ่มเป้าหมาย และพื้นที่ดำเนินการ

กลุ่มเป้าหมายของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นคือประชาชนทั่วไป ผู้ประกอบการร้านอาหาร ทั้งในกรุงเทพฯ ปริมณฑล และต่างจังหวัด

สถานที่ในการดำเนินการ

อุปกรณ์ในโครงการวิจัย ได้ทำการพัฒนาขึ้นที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม

ระยะเวลาดำเนินงาน

ตั้งแต่วันที่ 23 ธันวาคม 2556 ถึง วันที่ 22 ธันวาคม 2557

ผลการดำเนินงาน

ก. ผลที่ได้ตาม ตัวชี้วัด/ เป้าหมายของโครงการ

ตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินงาน

1) เครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity	1 ระบบ
2) แผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ	1 ชุดต้นแบบ

ผลที่ได้ตามตัวชี้วัด

บรรลุเป้าหมายในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณโซเดียมในอาหารและปัสสาวะ โดยแบ่งเป็น

1) เครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity	1 ระบบ
2) แผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ	1 ชุดต้นแบบ

ข. ผลอื่น ๆที่ได้ นอกเหนือจากเป้าหมาย/ที่คาดการณ์ไว้

1. เกิดความร่วมมือของภาคีเครือข่ายสสส. ซึ่งต่อยอดงานวิจัยโดยนำอุปกรณ์ต้นแบบไปใช้ในโครงการวิจัยของแต่ละภาคีฯ

2. เกิดความร่วมมือกับภาคเอกชนในการสนับสนุนต่อยอดการนำผลผลิตที่ได้จากโครงการไปใช้และเผยแพร่ในระดับนานาชาติ และเกิดการสร้างเครือข่ายในการพัฒนาอุตสาหกรรมทางการแพทย์ของประเทศไทย

3. เกิดความร่วมมือระหว่างผู้เชี่ยวชาญทางด้านการแพทย์ โภชนาการ วิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ในการพัฒนานวัตกรรมเพื่อตอบโจทย์การประเมินผลสัมฤทธิ์ของการรณรงค์เรื่องลดการบริโภคเค็มของคนไทย

4. ทำให้ประเทศไทยตระหนักถึงถึงความสามารถของนักวิจัย ไทยในการพัฒนานวัตกรรมเชิงเทคโนโลยี

ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา

1. การให้การสนับสนุนในด้านการประชาสัมพันธ์เชิงรุกเพื่อให้ประชาชน ภาคเอกชนและภาคีเครือข่ายได้ทราบถึงการดำเนินงานอย่างทั่วถึง

2.การให้คำปรึกษาในเรื่องการพัฒนางานวิจัยให้มีศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ รวมถึงการสร้างเครือข่ายในภาคเอกชนเพื่อสนับสนุนการต่อยอดให้เกิดการผลิตขึ้นจริง

3.การพัฒนาฐานข้อมูลของนักวิจัยในเครือข่ายของสสส. รวมถึงข้อมูลงานวิจัยของภาคีเครือข่ายให้มีเสถียรภาพ เพื่อการสืบค้นข้อมูลและการสร้างความร่วมมือของนักวิจัยในเครือฯที่มีประสิทธิภาพ

รายละเอียดเครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity

1. หลักการของเครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity

เครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity ใช้หลักการนำไฟฟ้าในสารละลาย สามารถวัดค่าได้ในระดับ Parts Per Million (ppm) สามารถตั้งค่าให้วัดปริมาณเกลือชนิดต่างๆได้ โดยเฉพาะเกลือ NaCl เป็นต้น โดยการแปลงหน่วยการนำไฟฟ้าในสารละลาย (EC, Electrical Conductivity) เป็นหน่วย ppm โดยปกติ 1 EC x Conversion factor = ppm (สำหรับ NaCl มี Conversion factor = 500)

เครื่องวัดความเค็ม CHEM METER พัฒนาขึ้นเพื่อวัดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในอาหารด้วยหลักการวัดแบบ การนำไฟฟ้าในสารละลาย (Electrical Conductivity) ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการไหลผ่านอาหารเหลวตัวอย่างสามารถคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าความเค็มหรือปริมาณเกลือโซเดียมในอาหารนั้นๆได้

2. การพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องวัดความเค็ม CHEM METER

2.1 Prototype 1

เป็นต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาชิ้นแรก มุ่งเน้นให้มีราคาถูกโดยใช้หลักการนำไฟฟ้าด้วยวงจรอบบกระแสตรง โพรบนำไฟฟ้าเป็นโพรบที่ใช้ทั่วไปกับหูฟัง (รูปที่ 1)

ข้อดี: วงจรมีราคาถูกมาก

ข้อเสีย: หลักการนำไฟฟ้าด้วยวงจรอบบกระแสตรงทำให้ไม่สามารถวัดโซเดียมคลอไรด์ได้แม่นยำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้โพรบจะเกิดการขึ้นสนิมหากใช้ไปสักระยะ นอกจากนี้ยังไม่แยกความแตกต่างของความเค็มในอาหารที่มีอุหภูมิต่างกันได้

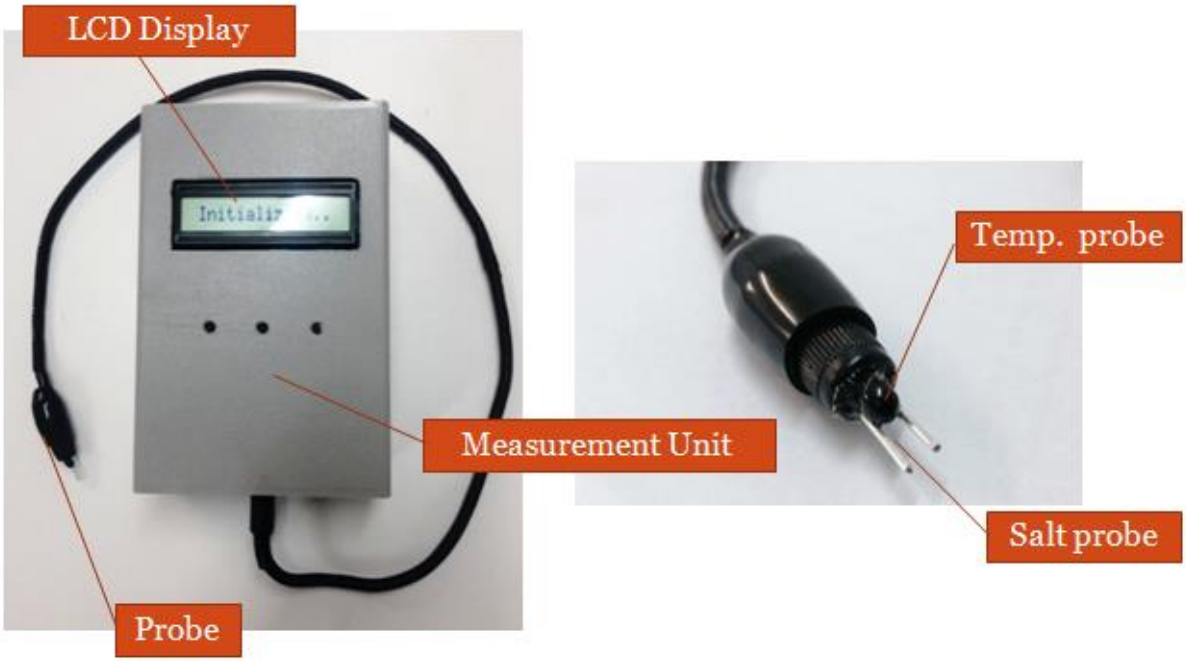
รูปที่ 1 Prototype 1 ของเครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity

2.2 Prototype 2

เป็นการปรับปรุงข้อเสียของ Prototype 1 โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับวิธีการวัดความนำไฟฟ้าของโซเดียมคลอไรด์โดยออกแบบวงจรให้สามารถสร้างสัญญาณเสมือนกระแสสลับจากไฟกระแสตรง (รูปที่ 2)

ข้อดี: ต้นแบบและวงจรที่ได้มีความแม่นยำสูงขึ้น และมีการออกแบบโพรบวัดอุณหภูมิ เพื่อที่จะสามารถวัดความนำไฟฟ้าได้แม่นยำในทุกอุณกภูมิ

ข้อเสีย: ต้นแบบและวงจรที่ได้มีความแม่นยำสูงขึ้นแต่ก็ยังมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานจริง



รูปที่ 2 Prototype 2 ของเครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity

2.3 Prototype 3

เป็น Prototype ที่ออกแบบขึ้น เพื่อเป็นการปรับปรุงข้อเสียของ Prototype 2 โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับลดขนาดของอุปกรณ์และวงจร ระบบจ่ายไฟทำโดยกระแสตรง (รูปที่ 3) แต่สามารถสร้างกระแสเสมือนกระแสสลับเพื่อการวัดปริมาณการนำไฟฟ้าจากโซเดียมคลอไรด์ได้ดีขึ้น โดยหลักการวงจรใช้ วงจรรวมเบอร์ AD5934 รวมถึงการประกอบวงจรเข้ากับลายวงจรที่พัฒนาขึ้นให้มีขนาดเล็กลง และเพื่อให้ Package มีความสวยงามและมีขนาดเล็ก ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบ Package ต้นแบบด้วยเครื่อง CNC

จากการทดสอบความวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 0-10 g ต่อน้ำ 100 ml (0-10%) จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง ± 0.5% และในน้ำซึ่งมีโซเดียมคลอไรด์ 10.1-20% จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง ± 1%

2.4 Prototype 4

เครื่องวัดความเค็ม Prototype 4 ได้มีการพัฒนาในส่วนของหน้าจอแสดงผลให้มีลักษณะสวยงามและบุคคลทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดความเค็ม Prototype 3 ที่มีเฉพาะตัวเลขที่บ่งบอกถึงเปอร์เซ็นเกลือในของเหลว ซึ่งในบางครั้งบุคคลทั่วไปไม่สามารถเข้าใจถึงค่าเปอร์เซ็นดังกล่าว ดังนั้นหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดความเค็ม Prototype 4 (รูปที่ 4) ได้พัฒนาให้บุคคลทั่วไปเข้าใจโดยง่ายด้วยการแสดงหน้าจอกราฟฟิครูปหน้าคนในสามระดับดังแสดง

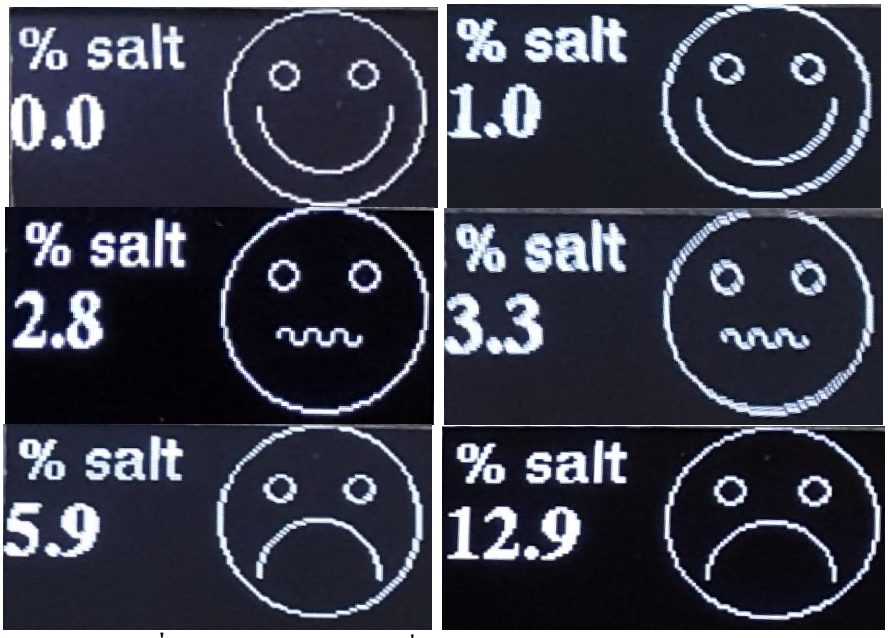
ในรูปที่ 6 เมื่อเปอร์เซ็นเกลือมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 2.5 เปอร์เซ็น จะปรากฏหน้ายิ้มดังแสดงในรูปที่ 6 แถวที่หนึ่ง ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างอาหารมีความปลอดภัยสามารถรับประทานได้ ในกรณีที่เปอร์เซ็นเกลือมีค่าอยู่ในช่วง 2.5 - 5 เปอร์เซ็น จะปรากฏหน้าบึ้งปานกลางดังแสดงในรูปที่ 6 แถวที่สอง ซึ่งบ่งบอกถึงควรหลีกเลี่ยงอาหารตัวอย่าง และหากเปอร์เซ็นเกลือมีค่ามากกว่า 5 เปอร์เซ็น จะปรากฏหน้าบึ้งมากดังแสดงในรูปที่ 6 แถวที่สามซึ่งบ่งบอกถึงอันตรายในการรับประทานอาหารตัวอย่าง

รูปที่ 3 Prototype 3 เครื่องวัดความเค็ม CHEM METER

ลักษณะของหัวโพรบวัดความนำไฟฟ้าได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย รูปที่ 5 (ซ้าย) แสดงหัวโพรบวัดความนำไฟฟ้าของเครื่องวัดความเค็ม Prototype 3 ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งลวดนำไฟฟ้าที่ยื่นออกมาโดยมีขอบพลาสติคคอยป้องกันการกระแทก ข้อเสียของโพรบลักษณะนี้คือไม่ทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าได้ทั่วถึงส่งผลให้การวัดค่าความเค็มครั้งต่อๆไปมีค่าความผิดพลาด รูปที่ 5 (ขวา) แสดงหัวโพรบวัดความนำไฟฟ้าของเครื่องวัดความเค็ม Prototype 4 ที่ได้ออกแบบให้สามารถทำความสะอาดง่ายยิ่งขึ้น โดยจะมีขั้วโลหะสองขั้วติดตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 1 เซนติเมตร

รูปที่ 4 ลักษณะหน้าจอแสดงผลค่าความเค็มของ เครื่องวัดความเค็ม Prototype 3 (บน) และ Prototype 4 (ล่าง)

นอกจากนี้เครื่องวัดความเค็ม Prototype 4 ได้มีการพัฒนาให้สามารถตรวจวัดและแจ้งเตือนระดับพลังงานของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย หากแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่ากำหนด หน่าจะแสดงผลจะปรากฏคำว่า “batt!!” ที่หน้าจอแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 7 หากระดับพลังงานลดต่ำลงมากๆ จะส่งผลให้ค่าความแม่นยำในการวัดค่าความเค็มมีค่าต่ำลง ดังนั้นควรเปลี่ยนแบตเตอรี่เมื่อระบบมีการแจ้งเตือนเกิดขึ้น



รูปที่ 6 ลักษณะหน้าจอของเครื่องวัดความเค็มในแต่ละค่าความเค็ม

รูปที่ 7 ลักษณะหน้าจอของเครื่องวัดความเค็มที่แจ้งเตือนระดับพลังงานของแบตเตอรี่

นอกจากนี้เครื่องวัดความเค็ม Prototype 4 ได้ถูกพัฒนอย่างต่อเนื่องในด้านของรูปปลักษณ์และความประหยัดพลังงาน เนื่องจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่จำกัดจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่สามารถทำให้เครื่องวัดความเค็มใช้งานยาวนานขึ้น ซึ่งผู้พัฒนาได้เพิ่มเติมในส่วนของวงจรที่สามารถเปิดหรือปิดไฟให้กับวงจรในส่วนการตรวจจับความนำไฟฟ้าในตัวอย่างของเหลว เมื่อถึงเวลาวัดค่าความเค็มในอาหาร ตัวประมวลผลจะส่งพัลส์สัญญาณไปควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เปิดเพื่อสร้างแรงดันและวัดสัญญาณในอาหารตัวอย่าง และส่งพัลส์สัญญาณไปปิดแรงดันเมื่อกระบวนการวัดสัญญาณเสร็จสิ้น

ในสภาวะเริ่มต้น เครื่องวัดความเค็มไม่สามารถบอกค่าความเค็มของสารละลายตัวอย่างขณะวัดได้ เนื่องจากระบบยังขาดสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการแปลงค่าความนำไฟฟ้าที่อ่านได้ให้เป็นค่า %เกลือโซเดียม ดังนั้นการทดลองเก็บค่าความนำไฟฟ้าในตัวอย่างสารละลายที่รู้ค่าแน่นอนเช่น สารละลายเกลือโซเดียม 10%, 7.5%, 5%, 2.5%, 1%,, 0.5% และ 0% สามารถนำมาใช้สร้างสมการสำหรับคำนวณค่า%เกลือโซเดียมย้อนกลับได้ ตารางที่ 1 แสดงค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากการทดลองวัดจำนวน 4 ครั้งในแต่ละตัวอย่างสารละลาย โดยค่าความนำไฟฟ้าจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่า %เกลือโซเดียมสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ระบุว่าไอออนของเกลือโซเดียมส่งผลให้ของเหลวนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้ด้วยเครื่องต้นแบบและ ค่า%เกลือโซเดียมในสารละลายที่รู้ค่าในตารางที่ 1 สามารถนำมาพร็อตแสดงความสัมพันดังแสดงในรูปที่ 8 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความนำไฟฟ้าและค่า%เกลือโซเดียมไม่มีความสัมพันในเชิงเส้นตรง (เส้นสีฟ้า) ฉนั้นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณจึงต้องใช้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น

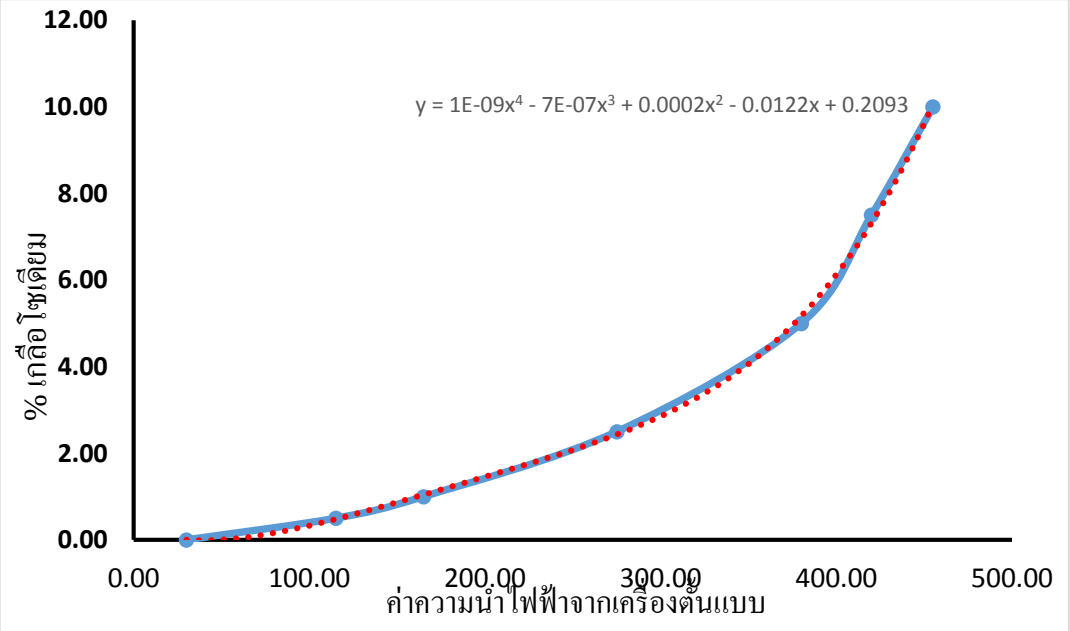
ตัวอย่างเช่นสมการแบบพหุนาม (Polynomial equation) ฉนั้นสมการที่ใช้คำนวณค่า %เกลือโซเดียมย้อนกลับจากค่าความนำไฟฟ้าดังแสดงในสมการที่ 1

$$y = (1\times10^{-9}x^4) - (7\times10^{-7}x^3) + (0.0002x^2) - 0.0122x + 0.2093 \quad (1)$$

เมื่อ y คือค่า %เกลือโซเดียมและ x คือค่าความนำไฟฟ้าที่วัดได้จากตัวเครื่อง เส้นประสีแดงในรูปที่ 12 แสดงกราฟที่ได้จากสมการที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากเครื่องต้นแบบเทียบกับค่า % เกลือโซเดียมในสารละลายเกลือ

ประเภทอาหาร	% เกลือโซเดียมจากการทดสอบเชิงเคมี	ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากเครื่องตั้นแบบ
สารละลายเกลือ	0.00	30.00
	0.50	115.00
	1.00	165.00
	2.50	275.00
	5.00	380.00
	7.50	420.00
	10.00	455.00



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความนำไฟฟ้าเทียบกับค่า%เกลือโซเดียม

จากการทดสอบความวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยเครื่องวัดความเค็ม Prototype 4 ผลปรากฏว่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 0-5 g ต่อน้ำ 100 ml (0-5%) จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง ± 0.2% ในโซเดียมคลอไรด์ 5.1-10% จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ ± 1% และในโซเดียมคลอไรด์ 10.1-20% จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ ± 3% รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างการวัดค่าความเค็มในตัวอย่างสารละลายที่มีปริมาณในโซเดียมคลอไรด์ 5% ค่าที่วัดได้มีค่าค่ากับ 4.8% พร้อมกับแสดงหน้าจอกราฟฟิครูปหน้าบึ้งปานกลาง

รูปที่ 9 แสดงการวัดค่าความเค็มในตัวอย่างสารละลายเกลือ 5%

3. การทดลองวัดค่าความนำไฟฟ้าในตัวอย่างอาหารเทียบกับผลการทดสอบเชิงเคมี

เนื่องจากอาหารไทยมีความหลากหลายของการใช้วัตถุดิบซึ่งวัตถุดิบต่างๆเหล่านี้อาจส่งผลกระทบค่าการตรวจวัดความเค็มด้วยหลังการตรวจวัดความนำไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นอาหารที่มีรสเปรี้ยวส่งผลให้มีความนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นกว่าปกติ หรือ อาหารที่มีความมันส่งผลให้ความนำไฟฟ้าลดต่ำลงกว่าปกติ ดังนั้นเครื่องวัดความเค็มอาจเกิดความคาดเคลื่อนในการอ่านค่าได้ เพื่อให้เครื่องวัดความเค็มมีความแม่นยำในการอ่านค่า ผู้จัดทำจริงได้ออกแบบการทดลองเพื่อออกแบบสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาค่าความเค็มให้เหมาะกับอาหารแต่ละประเภท

3.1 การเตรียมตัวอย่างอาหาร

ตัวอย่างอาหาร 4 ชนิดได้แก่ ซุปหมู ต้มยำไก่ แกงเทโพ และแกงเขียวหวานไก่ ได้ถูกปรุงขึ้นโดยฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลรามาธิบดี รูปที่ 10 แสดงภาพตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 10 การทดลองวัดค่าความนำไฟฟ้าในตัวอย่างอาหารในแต่ละประเภทที่มีค่าความเค็มแตกต่างกัน

ในแต่ละตัวอย่างอาหารจะถูกแบ่งปริมาตร 100 มิลลิลิตร และถูกทำให้มีค่าความเค็มที่ที่แตกต่างด้วยวิธีการ Self-Dilution ตามขั้นตอนดังนี้

1. น้ำซุปค่าเริ่มต้นปริมาตร 200 มิลลิลิตรจะถูกผสมด้วยเกลือจำนวน 10 กรัม (5% เกลือ)
2. น้ำซุปมีค่าเกลือ 5% ปริมาตร 100 ใน 200 มิลลิลิตร จะถูกเก็บสำหรับการวัดค่าซึ่งจะถูกเรียกว่า *S1*
3. นำน้ำซุปมีค่าเกลือ 5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาเจือจางโดยการนำน้ำซุปค่าเริ่มต้นปริมาตร 100 มิลลิลิตรมาผสม
4. จะได้น้ำซุปที่มีค่าความเค็ม 2.5% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

5. เจือจางค่าความเค็มซ้ำด้วยขั้นตอนที่ 2-4 จนได้น้ำซุปที่มีค่าความเค็ม 5% (S1), 2.5% (S2), 1.25% (S3), 0.625% (S4), 0.3125% (S5)
6. น้ำซุปค่าเริ่มต้นจะถูกเรียกว่า S6
7. นำน้ำซุ่มค่าเริ่มต้น 100 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำเปล่า 100 มิลลิลิตร จะได้น้ำซุปเจือจางลำดับที่ S7
8. นำน้ำซุ่มค่าเริ่มต้น 100 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำเปล่า 300 มิลลิลิตร จะได้น้ำซุปเจือจางลำดับที่ S8

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

การทดลองจะมีตัวอย่างสำหรับวัดผลทั้งหมด 32 ตัวอย่าง (S1-S8 ใน 4 ตัวอย่างอาหาร) โดย 32 ตัวอย่างนี้จะถูกวัดและบันทึกค่าความนำไฟฟ้าด้วยเครื่องต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น เครื่องต้นแบบจำนวน 4 เครื่องได้ถูกใช้ในการทดลองนี้โดยแต่ละเครื่องจะวัดค่าความนำไฟฟ้าทั้ง 32 ตัวอย่างและทำซ้ำจำนวน 4 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์และค่าเฉลี่ยทั้งหมด

24 ใน 32 ตัวอย่าง (S1, S4-S8 ใน 4 ตัวอย่างอาหาร) จะถูกส่งไปทดสอบเชิงเคมีเพื่อหาปริมาณโซเดียม (Na) ที่แท้จริงที่ห้องปฏิบัติการสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

6.3 ผลการทดลอง

ผลการทดสองเชิงเคมีของทั้ง 24 ตัวอย่าง (S1, S4-S8 ใน 4 ตัวอย่างอาหาร) จากห้องปฏิบัติการสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดลจะได้ผลลัพธ์ของปริมาณ %โซเดียม (Na) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากมวลโมเลกุลของเกลือโซเดียม (NaCl) มีค่า 58 กรัม ซึ่งประกอบไปด้วย โซเดียม (Na) 22.9 กรัม และ คลอไลด์ (Cl) 35.4 กรัม ฉนั้น %เกลือโซเดียม (%NaCl, ในหน่วย mg/100ml) สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\%\mathrm{NaCl} = \%\mathrm{Na} \times \frac{58}{23} \quad (2)$$

ค่า%เกลือโซเดียมของตัวอย่าง S1, S4-S8 ของทั้ง 4 ตัวอย่างอาหารดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งค่า % เกลือโซเดียมของตัวอย่าง S2 และ S3 มีค่าเท่ากับ $\frac{\square 1}{2}$ และ $\frac{\square 1}{3}$ ตามลำดับ

จากการทดลองวัดค่าความนำไฟฟ้าด้วยเครื่องต้นแบบจำนวน 4 เครื่องและทำซ้ำทั้งหมด 4 รอบในตัวอย่าง S1-S8 ของอาหารทั้ง 4 ประเภท โดยค่าความนำไฟฟ้าที่วัดได้ถูกหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการทดลองปรากฏว่าค่า % เกลือโซเดียมในแต่ละตัวอย่างอาหารมีความแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยสอดคล้องกับค่าความนำไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากเครื่องต้นแบบเทียบกับค่า % เกลือโซเดียมที่ได้จากการทดสอบทางเคมีในแต่ละตัวอย่าง (S1-S8)

ประเภทอาหาร		% เกลือโซเดียมจากการทดสอบเชิงเคมี	ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากเครื่องต้นแบบ
ซุปหมู	S8	0.01	31.81
	S7	0.02	29.88
	S6	0.03	69.31
	S5	0.46	410.81
	S4	0.83	456.06
	S3	1.43	473.56
	S2	2.87	481.31
	S1	5.73	506.38
ต้ำยำไก่	S8	0.01	31.50
	S7	0.02	14.13
	S6	0.03	82.31
	S5	0.34	402.94
	S4	0.40	435.44
	S3	1.34	434.13
	S2	2.68	448.63
	S1	5.37	455.69
แกงเทโพ	S8	0.05	289.25
	S7	0.09	344.63
	S6	0.16	397.56
	S5	0.41	410.25
	S4	0.73	439.50
	S3	1.25	458.56
	S2	2.49	451.06
	S1	4.98	448.38
เขียวหวานหมู	S8	0.17	327.88
	S7	0.30	386.69
	S6	0.49	404.13
	S5	0.53	417.13
	S4	0.87	427.94
	S3	1.37	446.56
	S2	2.74	459.13
	S1	5.48	465.19

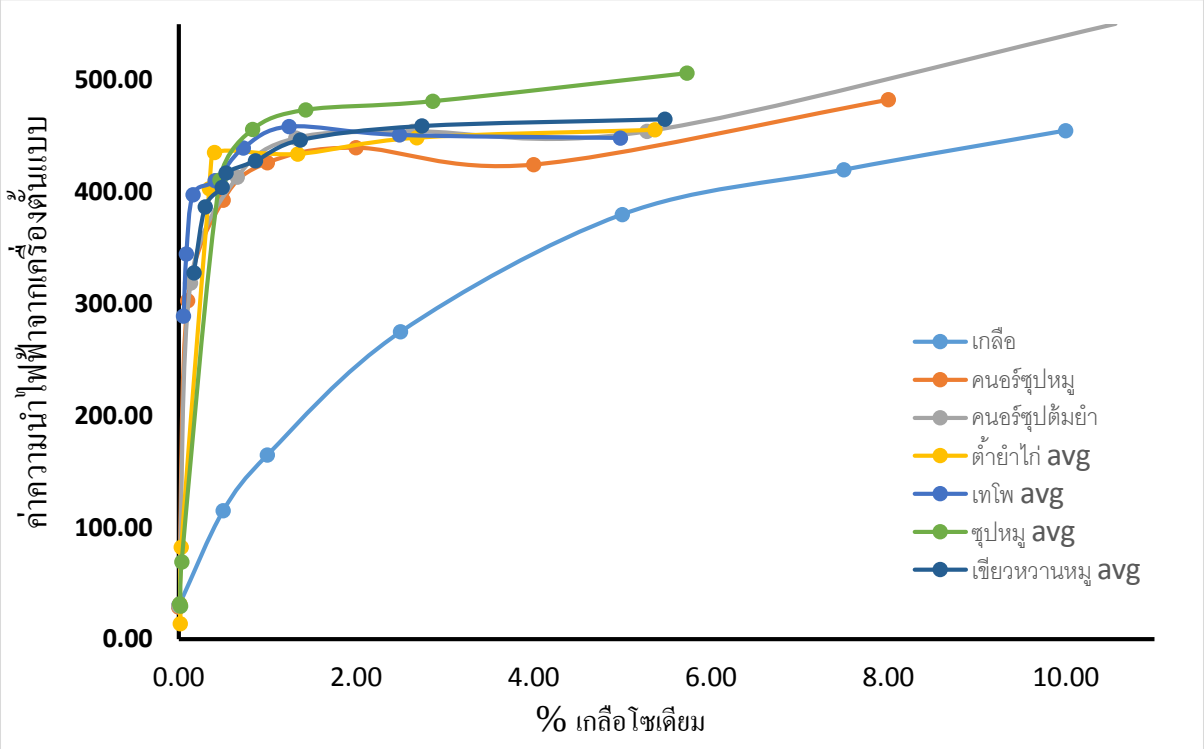
นอกจากนี้เครื่องวัดค่าความเค็มต้นแบบได้ถูกนำมาทดลองวัดค่าค่านำไฟฟ้าในตัวอย่างอาหารประเภทซุปก้อนที่ระบุค่าเกลือโซเดียมบนฉลากผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น คนอร์ซุปก้อนรสซุปต้มยำมีค่าเกลือโซเดียม10.56 กรัม, และคนอร์ซุปก้อนรสซุปหมูมีค่าเกลือโซเดียม 8 กรัม โดยตัวอย่างอาหารจะถูกนำมาเตรียมให้มีค่า %เกลือโซเดียมที่แตกต่างกันด้วยวิธีการเจือจางด้วยน้ำเปล่า ซึ่งตัวอย่างคนอร์ซุปก้อนรสซุปต้มยำมีตัวอย่างที่ความเข้มข้นที่ 10.56%, 5.28%, 2.64%, 1.32%, 0.66%, 0.13%,และ 0% ตัวอย่างคนอร์ซุปก้อนรสซุปหมูมีตัวอย่างที่ความเข้มข้นที่ 8%, 4%, 2%, 1%, 0.5%, 0.1%,และ 0% ตารางที่ 3 แสดงค่าความนำไฟฟ้าจากการวัดด้วยเครื่องต้นแบบในแต่ละตัวอย่างอาหาร ซึ่งผลปรากฏว่าค่าความนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่อตัวอย่างอาหารมีค่า%เกลือโซเดียมที่สูงขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากเครื่องต้นแบบเทียบกับค่า % เกลือโซเดียมเริ่มต้น (10.56% ในคนอร์ซุปก้อนรสซุปต้มยำ, 8% ในคนอร์ซุปก้อนรสซุปหมู) และตัวอย่างจากการเจือจางด้วยน้ำเปล่า

ประเภทอาหาร	% เกลือโซเดียมจากการเจือจาง	ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากเครื่องต้นแบบ
คนอร์ซุปต้มยำ	0.00	30.19
	0.13	318.60
	0.66	413.40
	1.32	448.30
	2.64	454.20
	5.28	454.30
	10.56	550.40
คนอร์ซุปหมู	0.00	29.00
	0.10	302.90
	0.50	392.70
	1.00	426.30
	2.00	439.70
	4.00	424.60
	8.00	482.60

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า%เกลือโซเดียมและค่าความนำไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องต้นแบบในสารละลายเกลือและอาหารแต่ละประเภท ผลปรากฏว่าค่าความนำไฟฟ้าในตัวอย่างอาหารในแต่ละประเภทมีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นสารละลายเกลือ ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้าและค่า%

เกลือโซเดียมในอาหารมีความอิ่มตัวของข้อมูลเมื่อเทียบกับสารละลายเกลือ การอิ่มตัวของข้อมูลส่งผลให้ระบบไม่สามารถคำนวณหาค่า %เกลือโซเดียมที่มีค่ามากกว่าจุดอิ่มตัวได้



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า%เกลือโซเดียมและค่าความนำไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องต้นแบบในสารละลายเกลือและอาหารแต่ละประเภท

สาเหตุของการอิ่มตัวของข้อมูลอาจเกิดจากตัวอย่างอาหารมีส่วนประกอบที่หลากหลายมากกว่าสารละลายเกลือ อีกหนึ่งสาเหตุอาจเกินจากข้อจำกัดของเครื่องวัดความเค็มต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นเนื่องจากเครื่องต้นแบบได้ถูกพัฒนาให้สามารถวัดค่าความเค็มในย่านของความเค็มคอนข้างกว้าง (0-20%) ส่งผลให้ค่าความเค็มในย่านต่ำมีโอกาสเกิดความผิดพลาดและเกิดการอิ่มตัวของข้อมูลได้

ผู้พัฒนาจริงได้ปรับเปลี่ยนวงจรไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการวัดค่าความเค็มในย่าน%เกลือโซเดียมต่ำด้วยการเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นและเพิ่มอัตราขยาย ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความชัดเจนขึ้น

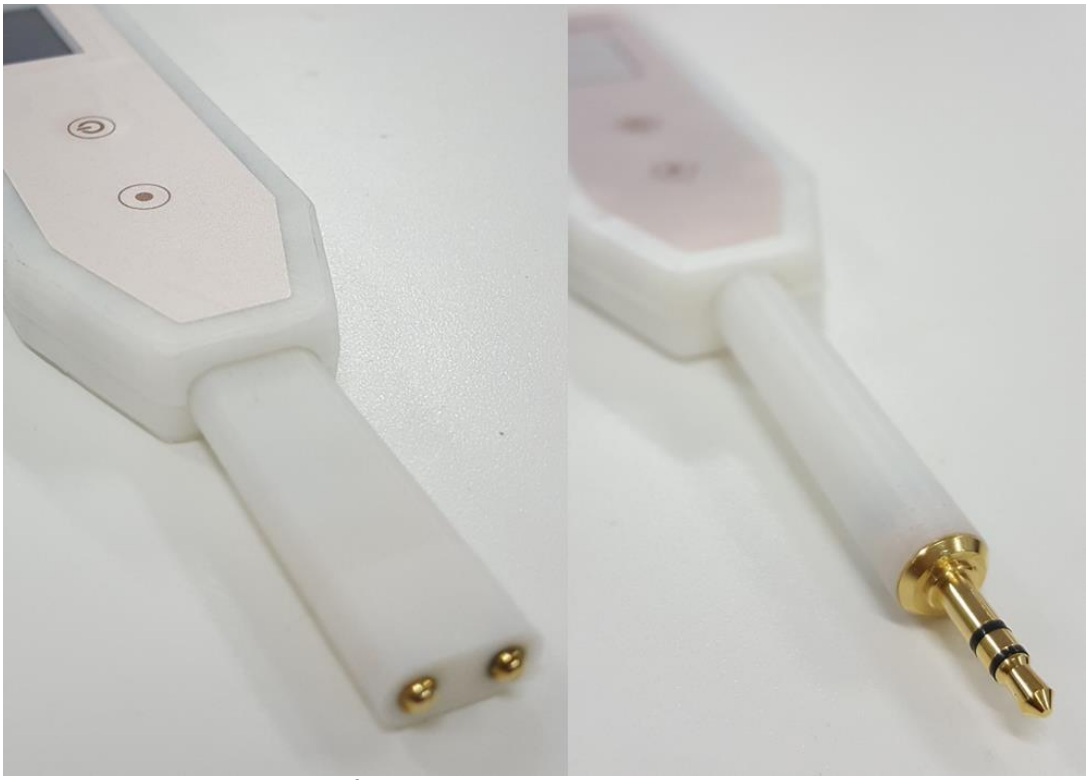
นอกจากนี้ผู้พัฒนาได้ปรับเปลี่ยนค่าระดับหน้ายิ้มให้เหมาะสมกับ%เกลือโซเดียมที่ร่างกายต้องการดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับหน้ายิ้มที่แสดงบนเครื่องวัดความเค็มต้นแบบในช่วง %เกลือโซเดียมต่างๆ

%เกลือโซเดียม	ระดับหน้ายิ้ม
<0.625	
0.626 – 0.750	
> 0.750	

4. Prototype 5

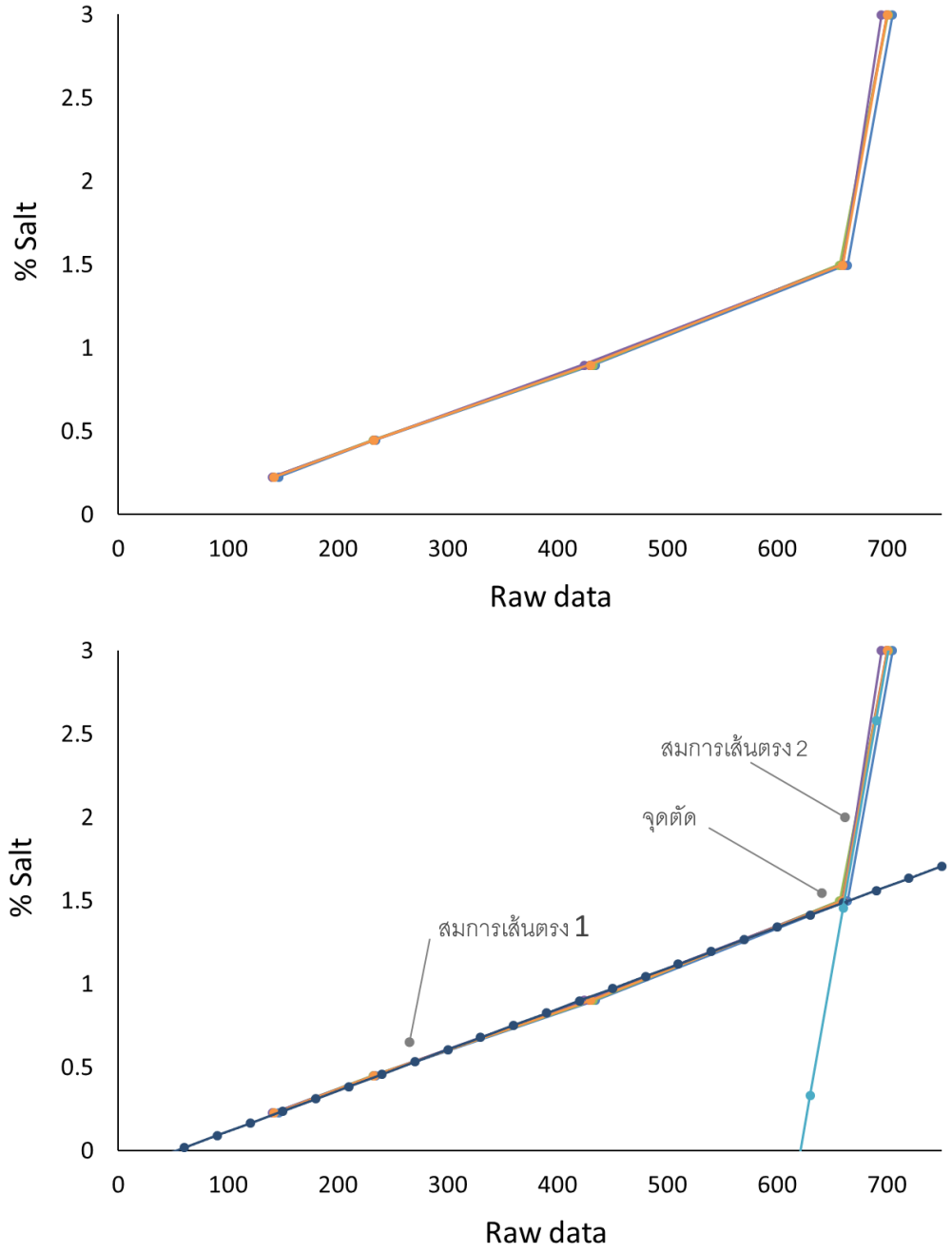
เครื่องวัดเค็ม Prototype 5 ได้มีการพัฒนาต่อยอดโดยมุ่งเน้นการออกแบบที่เอื้อต่อการผลิตจำนวนมาก (mass production) และพัฒนาความแม่นยำในย่านการตรวจจับที่จำเพาะมากขึ้นซึ่งอยู่ในช่วง 0-2 %เกลือโซเดียม โดยมีการปรับรูปลักษณ์ภายนอกและชิ้นส่วนฝาปิดถ่านใหม่โดยให้ลักษณะกลมกลืนเป็นชิ้นเดียวกับตัวโครงสร้างเพกเกจหลัก โดยฝาปิดถ่านมีลักษณะแนวยาวมีชิ้นส่วนสำหรับสอดล็อคด้านหนึ่งประกอบเข้าส่วนหลังของตัวเพกเกจหลักและขันน็อตจับยึด



รูปที่ 12 การปรับปรุงรูปแบบโพรบวัดสัญญาณ

บอร์ดวงจรไฟฟ้ามีการพัฒนาเพิ่มเต็มในส่วนของหน้าจอแสดงผลที่จากเดิมใช้ชุดโมดูลสำเร็จรูปดังแสดง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีระยะสูงจากบอร์ดวงจรหลักส่งผลให้เพกเกจหรือขนาดโดยรวมของเครื่องมีความหนาที่มาก อีกทั้งชุดโมดูลหน้าจอแสดงผลมีราคาแพงและไม่เหมาะสำหรับการนำไปประกอบในไลน์ผลิตจริง ทั้งนี้ทีมวิจัยจึงได้ออกแบบวงจร

สำหรับการเชื่อมต่อการทำงานของหน้าจอแสดงผลและจัดวางอุปกรณ์ย่อยต่างๆของหน้าจอแสดงผลในตำแหน่งที่เหมาะสม ส่งผลให้บอร์ดวงจรโดยรวมมีความหนาที่ลดลง นอกจากนี้ยังได้มีการออกแบบการจัดวางตำแหน่งถ่านจากด้านบนให้อยู่ด้านล่างโดยสอดคล้องกับตำแหน่งฝาปิดถ่านบริเวณด้านหลังอีกด้วย



รูปที่ 13 ลักษณะค่าความเปลี่ยนแปลงที่อ่านได้จากโพรบเทียบกับค่าความเค็ม (% เกลือ)

โพรบวัดสัญญาณได้ถูกปรับรูปแบบจากเดิมที่มีลักษณะแท่งวงรีที่หน้าตัดส่วนปลายมีขั้วโพรบนูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มม. จำนวน 2 โพรบวางห่างกันเป็นระยะโดยประมาณ 8 มม. ให้มีลักษณะเป็นแท่งกลมปลายแหลมดังแสดงในรูปที่ 12 (ขวา) ที่มีขั้วหนึ่งอยู่ที่ส่วนปลายและมีอีกขั้วหนึ่งที่มีลักษณะวงแหวนวางตัวตามแนวแกน

เดียวกัน โดยห่างกันประมาณ 1 มม. ซึ่งวัสดุที่ใช้มีลักษณะเคลือบด้วยทองเช่นเดียวกันกับรูปแบบก่อนหน้า การปรับปรุงในส่วนนี้ช่วยให้ง่ายต่อการทำความสะอาดหัวโพรบมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากเดิมโพรมจะมีบริเวณที่เป็นขอบมุมที่ยากต่อการเช็ดทำความสะอาด นอกจากนี้ยังลดต้นทุนและขั้นตอนในการประกอบอีกด้วย

นอกจากการปรับปรุงรูปแบบโพรบวัดสัญญาณให้มีลักษณะที่ง่ายต่อการทำความสะอาด ค่าความเปลี่ยนแปลงที่อ่านได้จากโพรบแบบใหม่นั้นมีค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าความเค็มสูงขึ้นอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 13 จากเดิมความเปลี่ยนแปลงที่อ่านได้นั้นมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (รูปที่ 8) ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการอนุพันดังแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งมีความซับซ้อนและใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าสมการเส้นตรง รูปที่ 13 (บน) แสดงให้เห็นว่า ค่าความเปลี่ยนแปลงที่อ่านได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความเค็มในช่วง 0-1.5% ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการเส้นตรงที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 11 (ล่าง), $y = (2.45\times10^{-3})x - 0.13$ และค่าความเปลี่ยนแปลงที่อ่านได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความเค็มในช่วง 1.5-3% ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการเส้นตรง 2, $y = (37.5\times10^{-3})x - 23.29$ โดยสมการเส้นตรงทั้งสองนี้มีจุดตัดซึ่งสามารถคำนวนหาได้จากการแก้สมการหาค่า x ที่ทำให้เกิดค่า y เท่ากัน

รูปที่ 14 การใช้งานเครื่องวัดเค็ม CHEM METER

5. วิธีใช้งาน เครื่องวัดความเค็ม CHEM METER

การใช้งานเครื่องวัดเค็ม CHEM METER สามารถทำได้โดยง่าย โดยจุ่มปลายหัวโพรบที่มีลักษณะโลหะสีทองลงไปในอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวดังแสดงในรูปที่ 14 โดยไม่ควรจุ่มลึกเกินไปหรือไม่ควรจุ่มจนกระทั่งตัวกล่องเพกเกจหลักสัมพัสน้ำ ไม่ควรใช้วัดอาหารในขณะร้อนเนื่องจากอุณมิเป็นอีกหนึ่งตัวแปลที่ส่งผลค่าที่อ่านได้จากเครื่องมีค่าที่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง แนะนำให้วัดอาหารขณะอุณภูมิห้อง เมื่อจุ่มโพรบในอาหารแล้วจากนั้นกดปุ่มเปิดเครื่องค้างได้เมื่อต้องการวัดค่า พร้อมกับอ่านค่า % ความเค็มและลักษณะการแสดงใบหน้า บนหน้าจอ เครื่องจะดับลงหลังจากปล่อยนิ้วมือจากปุ่มเปิดเครื่อง หลังจากการวัดค่าความเค็มในอาหารแต่ละครั้งควรทำความสะอาดหัวโพรบด้วยน้ำสะอาดแล้วใช้ทิชชูเช็ดให้แห้ง หรือใช้ทิชชูเปียกเช็ดทำความสะอาด ในกรณีมีคราบไขมันสามารถใช้น้ำยาล้างจานทำความสะอาดหัวโพรบได้

6. คำแนะนำสำหรับการบริโภค

ตารางที่ 5 แสดงหน่วยบริโภคที่แนะนำต่อค่าความเค็มที่วัดได้โดยค่าต่อหน่อยบริโภคที่แนะนำนี้มาจากข้อสรุปในที่ประชุมเคลื่อข่ายลดเค็ม ซึ่งกรณีบุคคลทั่วไปที่ใช้เครื่องวัดเค็มสามารถเข้าใจโดยง่ายด้วยการดูกราฟฟิคแสดงสีหน้าเช่น ลักษณะใบหน้ายิ้ม (น้อยกว่า 0.7% NaCl) แนะนำให้ทานได้ตามปริมาณที่สมควรมากกว่า 13 ช้อนโต๊ะหรือมากกว่า 200 มิลลิลิตร ลักษณะใบหน้าบึงขึ้นต้น (ระหว่าง 0.7-0.9% NaCl) แนะนำให้ทานได้ในช่วง 10-13 ช้อนโต๊ะหรือในช่วง 150-200 มิลลิลิตร หากลักษณะใบหน้าบึงมาก (มากกว่า 0.9% NaCl) แนะนำให้ทานปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่เกิน 10 ช้อนโต๊ะหรือน้อยกว่า 150 มิลลิลิตร

ตารางที่ 5 หน่วยบริโภคที่แนะนำต่อค่าความเค็มที่วัดได้

ค่าจากการวัด	ลักษณะใบหน้า			
	% NaCl	<= 0.7%	0.71 - 0.9%	> 0.9 %
หน่วยบริโภคที่แนะนำ	หน่วยมิลลิลิตร	>200 ml	150-200 ml	<150 ml
	หน่วยช้อนโต๊ะ	> X 13	10-13	< X 10

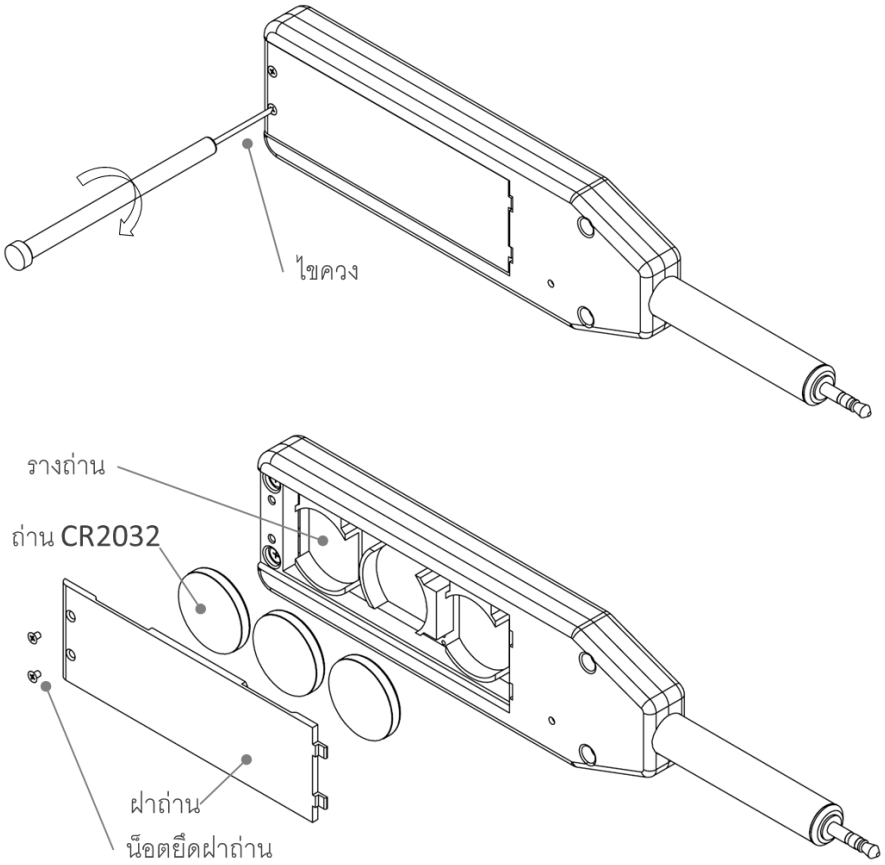
ค่าเปอร์เซ็นที่อ่านได้สามารถคำนวนย้อนกลับหาค่าปริมาณเกลือโซเดียม (NaCl) และ โซเดียม (Na) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณเกลือโซเดียม (NaCl) และ โซเดียม (Na)เทียบกับค่าเปอร์เซ็น

%	NaCl (g/ml)	Na (g/ml)
0.0	0.0	0.0000
0.2	0.2	0.0786
0.4	0.4	0.1573
0.6	0.6	0.2360
0.8	0.8	0.3146
1.0	1.0	0.3933
1.2	1.2	0.4720
1.4	1.4	0.5507
1.6	1.6	0.6293
1.8	1.8	0.7080
2.0	2.0	0.7867

7. การเปลี่ยนแบตเตอรี่

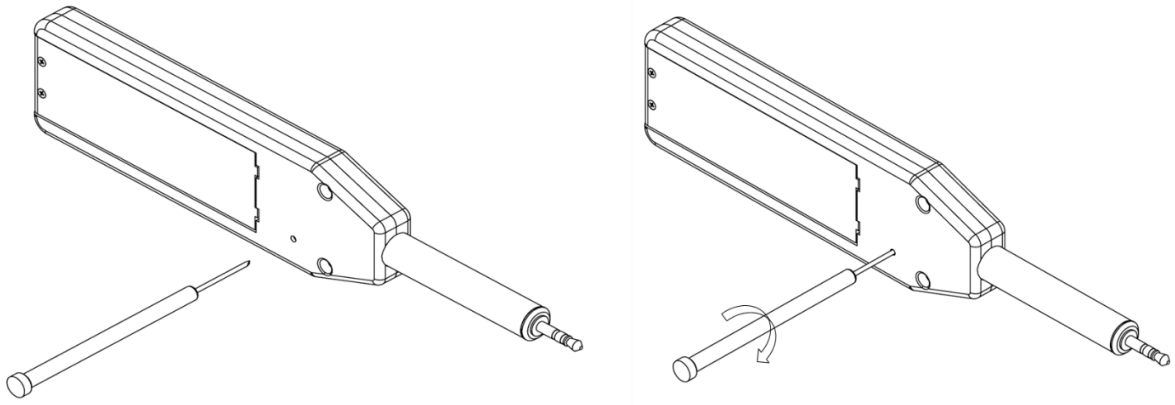
หากหน้าจอแสดงคำว่า "batt!!" แจ้งเตือนให้เปลี่ยน แบตเตอรี่ ขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้คือ ถ่านกระดุม CR2032 หาซื้อได้ที่ 7-11 หรือร้านค้าทั่วไป ซึ่งวิธีการเปลี่ยนถ่านสามารถทำได้โดยการใช้ไขควงหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อคลายน็อตยึดฝาถ่านจากนั้นเปิดฝาถ่านจะเห็นถ่านจำนวน 3 ก้อน สามารถนำถ่านออกจากรางถ่านได้ด้วยมือหรืองัดด้วยไขควงดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 ส่วนขยายแสดงวิธีการเปลี่ยนถ่านเครื่องวัดความเค็ม CHEM METER

8. การสอบเทียบเครื่อง CHEM METER

การสอบเทียบเครื่องสามารถทำได้เบื้องต้นด้วยการวัดค่าเทียบกับน้ำเกลือมาตราฐาน 0.9% ทั้งนี้แนะนำให้ปรับตั้งค่าเครื่อง หากค่าที่วัดได้จาก CHEM METER มีค่ามากกว่า ± 0.1 % จากน้ำเกลือมาตราฐาน (0.9%)



รูปที่ 16 วิธีการปรับค่าเครื่อง

การปรับปค่าเครื่องสามารถทำได้ขณะกดปุ่มเปิดเครื่องวัดค่าในน้ำเกลือมาตราฐาน โดยใช้ไขควงหมุนตามเข็มหรือทวนเข็มเพื่อเพิ่มหรอลดค่าจากค่าที่คลาดเคลื่อนสู่ค่า 0.9% โดยการหมุนไขควงนั้นจะปรับค่าความต้านทานภายในดังแสดงในรูปที่ 16 การปรับค่าเครื่องจะเสร็จสิ้นเมื่อค่าที่ได้จากการปรับขณะวัดในน้ำเกลือมาตรฐานมีค่าใกล้เคียง 0.9%

7. ข้อควรระวัง

- ไม่ควรจุ่มเครื่อง CHEM METER ทิ้งไว้ในอาหาร
- ไม่ควรวัดอาหารร้อน ใช้วัดอาหาร ณ อุณหภูมิห้องเท่านั้น
- ห้ามแช่เครื่อง CHEM METER ในน้ำ
- หลีกเลี่ยงการกระแทกบริเวณปลายโลหะสีทอง

รายละเอียดการพัฒนาแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ

1. บทนำ

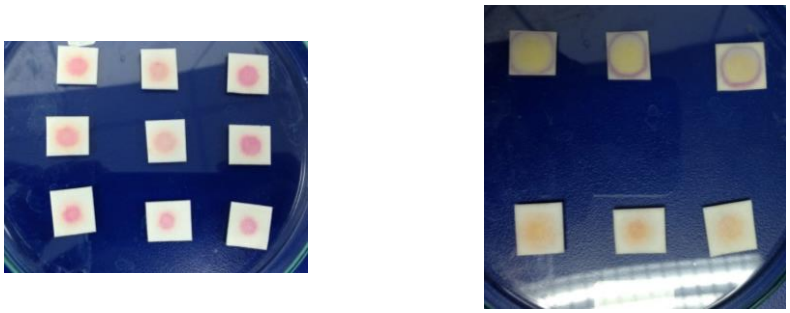
โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารหลากหลายชนิด ทั้งในรูปการปรุงรสเพื่อให้ได้รสชาติชวนรับประทาน หรือนำมาใช้ในการถนอมอาหารเพื่อยืดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามมีรายงานและผลการทดลองบ่งบอกถึงโทษของการบริโภคเกลือในปริมาณสูง ที่เห็นได้ชัดเจนคือความสัมพันธ์ที่แปรตามกันระหว่างปริมาณโซเดียมคลอไรด์กับอาการความดันโลหิตสูง และผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณเกลือที่ปริโภคจะช่วยลดความดันโลหิตในผู้ป่วยได้ นอกจากนี้การบริโภคโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูงยังมีผลต่อโรคกระดูกพรุน หลอดเลือดสมอง ภาวะไตเสื่อมและไตวาย มะเร็งกระเพาะอาหาร และโรคหอบหืด ในประเทศไทยปัญหาที่พบมากจากการบริโภคเกลือในปริมาณสูงคือการทำงานของไตที่ลดลงและการเสื่อมสภาพ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะบ่งบอกความผิดปกติในการทำงานของไตได้ ในปัจจุบันจึงมีความต้องการชุดตรวจหรือวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้งานง่าย สะดวก และที่สำคัญคือราคาการวิเคราะห์ต่ำเพื่อให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงบริการทางสาธารณสุขได้อย่างทั่วถึง การวิเคราะห์อาจอยู่ในรูปแบบการคัดกรองเบื้องต้น เพื่อทราบถึงความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ

ด้วยเหตุข้างต้นจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาชุดตรวจอย่างง่ายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ เพื่อใช้ในการคัดกรองผู้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เป็นผลจากการบริโภคโซเดียมคลอไรด์ปริมาณสูง โดยเฉพาะโรคไตซึ่งจัดว่าเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของประชากรในประเทศ ชุดตรวจดังกล่าวอยู่ในรูปกระดาษทดสอบที่ทำปฏิกิริยากับโซเดียมคลอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว โดยอ่านผลจากการเปลี่ยนแปลงของสีที่มีระดับความเข้มแปรตามปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างปัสสาวะ ประเด็นสำคัญประการหนึ่งของการพัฒนาชุดตรวจที่ควรกล่าวถึงในที่นี้คือ มีรายงานว่าปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในปัสสาวะจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ [8] ดังนั้นจึงสามารถใช้การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ซึ่งทำได้ง่ายกว่าเป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณโซเดียมหรือโซเดียมคลอไรด์ที่มีในปัสสาวะได้เช่นกัน ปัจจุบันมีการผลิตชุดทดสอบโซเดียมคลอไรด์โดยใช้การวัดคลอไรด์ออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์จำนวนหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ชุดทดสอบยี่ห้อ Saltesmo ผลิตในประเทศเยอรมนี ใช้การตรวจวัดไอออนเฮไลด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเฮไลด์ไอออนในโซเดียมคลอไรด์กับสารประกอบเกลือเงิน (silver salt) ซึ่งเป็นสารมีสี ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่จะจางลงเป็นลำดับเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์หรือคลอไรด์ไอออนในตัวอย่างมีปริมาณมากขึ้น Saltesmo ตอบสนองต่อโซเดียมคลอไรด์ช่วงความเข้มข้น 0.25-5 กรัมต่อลิตร มีราคา 1 กล่องหรือ 30 ชิ้น ราคา 4,600 บาท หรือเฉลี่ยประมาณ 150 บาทต่อการวัด 1 ตัวอย่าง ขณะที่ราคาขายทางเว็บไซต์ต่างประเทศมีราคาประมาณ 75-90 เหรียญสหรัฐอเมริกา หรือประมาณ 2,300 บาท ไม่รวมค่าจัดส่ง นอกจากนี้ยังมียี่ห้ออื่นๆเช่น Uropaper จาก

ประเทศญี่ปุ่น Merckoquant และ Quantofox ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากเยอรมนี ทั้งหมดนี้มีจำหน่ายทางเว็บไซต์ แต่ยังไม่มีตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทย ราคาขายประมาณ 50-100 บาทต่อการวัด 1 ตัวอย่าง จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าราคาจำหน่ายของชุดตรวจโซเดียมคลอไรด์มีราคาสูง ดังนั้นหากสามารถพัฒนากระบวนการผลิตชุดตรวจขึ้นได้ภายในประเทศ จะช่วยลดการนำเข้าและเป็นการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชากรในประเทศทางหนึ่ง

สืบเนื่องจากรายงานการพัฒนาชุดตรวจความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะฉบับก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงวิธีการพัฒนาชุดตรวจความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์โดยใช้การวัดคลอไรด์ ด้วยเทคนิคคัลเลอริเมทริก (colorimetric method) หลักการโดยทั่วไปคือการใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับคลอไรด์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงตะกอนของสารประกอบ การเปลี่ยนแปลงสีของสารแขวนลอย ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการพัฒนาแผ่นตรวจวัดต้นแบบดังเกล่าวคือ สารเคมีซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) ร่วมกับไดคลอโรฟลูออเรสซีน (dichlorofluorescein) โดยได้มีการศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง silver nitrate/dichlorofluorescein/sodium chloride และการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ dichlorofluoroscein สำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของไอออนคลอไรด์ในตัวอย่าง

จากผลการศึกษาพบว่า การไตเตรทไอออนคลอไรด์โดยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท และมี fluorescein ทำหน้าที่เป็น adsorption indicator ตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์จะเกิดขึ้นเมื่อไตเตรทถึงจุดสมมูลย์ จากนั้นตะกอนดังกล่าวจะดูดซับไอออนของ fluorescein ที่อยู่ในสารละลาย และเกิดการฟอร์มตัวของ silver fluoresceinate ที่มีสีแดงเข้ม ด้วยหลักการการไตเตรทข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างชุดตรวจเฮไลด์ไอออนหรือโซเดียมคลอไรด์ โดยการตรึงสารสองชนิดดังกล่าวบนกระดาษกรองที่มีขนาดรูและความหนาที่เหมาะสม เมื่อมีตัวอย่างเฮไลด์หรือในที่นี้คือคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบเกลือไนเตรทหรือโครเมท จะเกิดตะกอนและการดูดซับสีทำให้สีบนกระดาษกรองเปลี่ยนแปลงไป หรือมีการbleaching สีของสารถูกฟอกเป็นวงขาวที่มีขนาดแตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณของเฮไลด์หรือโซเดียมคลอไรด์ที่มีในตัวอย่าง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 20 กระดาษที่เคลือบสารผสม silver nitrate และ dichlorofluoroscein ก่อนทดสอบ (รูปซ้าย)

หลังทดสอบโดยหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (รูปขวาแถวบน) และ น้ำกลั่น (รูปขวาแถวล่าง)

ในรายงานฉบับดังกล่าวยังได้มีการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ silver nitrate และ dichlorofluoroscein เพื่อใช้ในการตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยพบว่ากระดาษทดสอบโซเดียมคลอไรด์เตรียมที่ขึ้นจาก 0.5 โมลาร์ silver nitrate และ 3% dicholorofluoroscein สามารถตรวจวัดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น 0.05% - 1% ปริมาตร/ปริมาตร โดยจะสังเกตเห็นตะกอนสีขาวที่มีขนาดแปรตามความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 2

รูปที่ 21 กระดาษทดสอบโซเดียมคลอไรด์ก่อนหยด
และหลังจากหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.05%, 0.25% และ 0.5%

อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดกับแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นดังกล่าวคือ ปริมาณของตะกอน Silver chloride สีขาวที่เกิดขึ้นบนกระดาษกรองไม่สม่ำเสมอ ทำให้การอ่านผลความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ทำได้ยาก จึงนำไปสู่การพัฒนาต้นแบบที่จะกล่าวในรายงานฉบับนี้

2. วิธีการศึกษา และผลการศึกษา

2.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ silver nitrate/dichlorofluoroscein/sodium chloride

การพัฒนาแผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์โดยใช้หลักการไตเตรท โดยมี dichlorofluoroscein เป็น indicator ดังนั้นความเข้มข้นของ silver nitrate และ ความเข้มข้นของ sodium chloride จึงมีความสัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตามการสังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงไปของกระดาษกรองและการสังเกตปริมาณตะกอนสีขาวของ silver chloride ที่เกิดขึ้น ด้วยตาเปล่าทำได้ยาก และสามารถเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย ดังนั้นการศึกษาความเข้มข้นที่จุดสมมูลย์ (equivalence point) ของ silver nitrate กับ sodium chloride เพื่อให้เห็นสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ความเข้มข้นต่างๆ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อใช้วัดความเข้มข้นของ sodium chloride

2.2 สารเคมีและวิธีเตรียมสารเคมี

1. silver nitrate ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 โมลาร์ เตรียมในน้ำกลั่นปราศจากไอออน
2. เตรียม dichlorofluoroscein (3 $\%_{w/v}$) น้ำหนัก 0.003 กรัมในเอทธานอลปริมาตร 60 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 40 ไมโครลิตร
3. sodium chloride ความเข้มข้นต่างๆในช่วง 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 กรัมต่อลิตร.

2.3 ผลการศึกษา

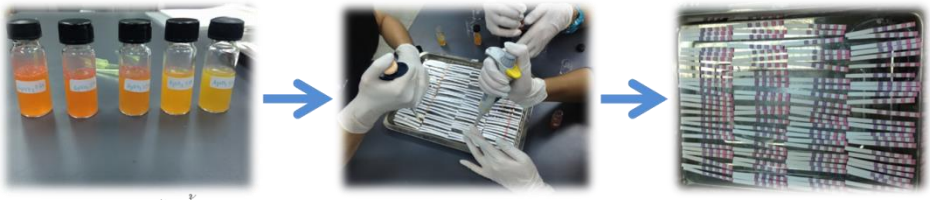
จากการทดลองพบว่า

1. กระดาษกรองที่หยดสารละลาย 3 % Dichlorofluoroscein ใน 0.1 M AgNO3 เกิดการเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นสีเหลือง เมื่อจุ่มลงในสารละลาย NaCl ความเข้มข้น ตั้งแต่ 2.5 g/l ขึ้นไป
2. กระดาษกรองที่หยดสารละลาย 3 % Dichlorofluoroscein ใน 0.2 M $AgNO_3$ เกิดการเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นสีเหลือง เมื่อจุ่มลงในสารละลาย NaCl ความเข้มข้น ตั้งแต่ 5 g/l ขึ้นไป หากความเข้มข้นน้อยกว่า 5 g/l จะไม่เกิดสีเหลือง
3. สารละลาย 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 M $AgNO_3$ ให้การตอบสนองต่อ NaCl ที่ความเข้มข้น 7.5, 10, 12.5 และ 15 g/l เช่นเดียวกับข้อ 2

3.การผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์

เมื่อได้ความเข้มข้นที่จุดสมมูลย์ (equivalence point) ของ silver nitrate กับ sodium chloride แล้ว จึงนำความเข้มข้นที่จุดสมมูลย์นั้นมาใช้ในการผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการผลิตแผ่นทดสอบความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์

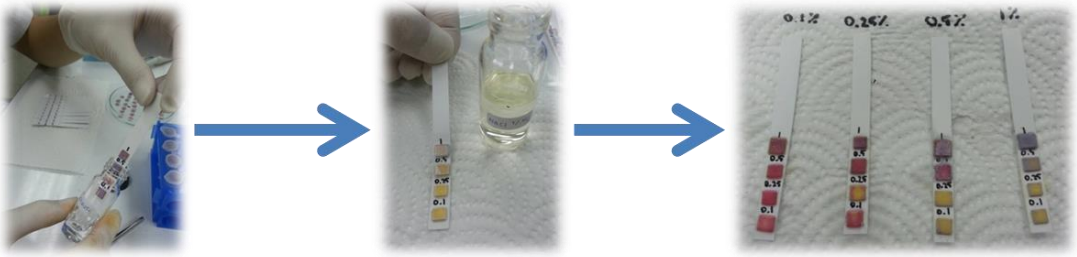


ผสมสารละลายดังต่อไปนี้
1. $Ag(NO_3)$
2. Dichlorofluoroscein

หยดสารละลายความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 20 µl ลงบนกระดาษกรอง

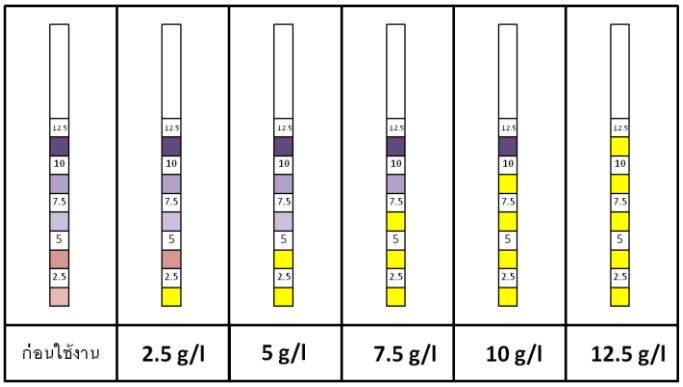
นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 นาที

การใช้งานแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์



1. จุ่มแผ่นทดลอบลงในสารละลาย 2. ตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 10 วินาที 3. เปรียบเทียบแทบสีเหลืองที่เกิดขึ้นกับตารางวัดความเข้มข้น

ตารางเปรียบเทียบความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์



ก่อนใช้งาน	2.5 g/l	5 g/l	7.5 g/l	10 g/l	12.5 g/l

3.1 สรุปผลการศึกษา

กระดาษทดสอบโซเดียมคลอไรด์เตรียมขึ้นจาก silver nitrate และ dichlorofloroscein ความเข้มข้น 0.1 - 0.5 โมลาร์ และ 3% ตามลำดับ เมื่อเตรียมสารละลายผสมของสาร 2 ชนิดดังกล่าว จึงหยดสารละลายปริมาตร 20 ไมโครลิตร บนกระดาษกรอง หลังจากการอบแห้ง สามารถนำกระดาษทดสอบมาใช้กับการตรวจวัดสารละลายโซเดียม จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีจากสีชมพูอมม่วงไปเป็นสีเหลือง จากการทดสอบพบว่ากระดาษทดสอบดังกล่าวตอบสนองต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 2.5 – 12.

4. ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1

กระดาษทดสอบโซเดียมคลอไรด์เตรียมขึ้นจาก Silver nitrate และ dichlorofluoroscein ความเข้มข้น 0.1 - 0.5 โมลาร์ และ 3% ตามลำดับ เมื่อเตรียมสารละลายผสมของสาร 2 ชนิดดังกล่าว จึงหยดสารละลายปริมาตร 20 ไมโครลิตร บนกระดาษกรอง หลังจากการอบแห้ง สามารถนำกระดาษทดสอบมาใช้กับการตรวจวัดสารละลายโซเดียม จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีจากสีชมพูอมม่วงไปเป็นสีเหลือง จากการทดสอบพบว่ากระดาษทดสอบดังกล่าวตอบสนองต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 2.5 – 12.5 กรัมต่อลิตร

หลังจากนำไปทดลองกับตัวอย่างปัสสาวะ พบว่า

1. สีของกระดาษทดสอบ สามารถเปลี่ยนสีกลับจากสีเหลืองเป็นสีชมพูได้หลังจากทดสอบกับตัวอย่างแล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระดาษทดสอบให้สีของกระดาษทดสอบเป็นสีเหลืองคงที่หลังจากเกิดปฏิกิริยา
2. เนื่องจากที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ใกล้เคียงกันจะทำให้กระดาษเปลี่ยนสีได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรระบุเป็นช่วงความเข้มข้นแทนการระบุเจาะจงความเข้มข้น

นอกจากนั้นการผลิตกระดาษทดสอบโซเดียมคลอไรด์ด้วยวิธีการหยดสารละลาย Silver nitrate กับ Dichlorofluoroscein ลงบนกระดาษเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน และไม่เหมาะสมในการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบการผลิตใหม่เป็นกระบวนการชุบกระดาษในสารละลายแทน ซึ่งจะมีการอธิบายในส่วนต่อไป

4.1. วิธีการศึกษา และผลการศึกษา

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ของสารละลาย $AgNO_3$ กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

สมมุติฐาน

ความเข้มข้นของสารละลาย $AgNO_3$ จะจำเพาะต่อความเข้มข้นของสารละลายคลอไรด์ และทำให้เกิดการเปลี่ยนสีที่จุดสมมูลย์ ความเข้มข้นที่จุดสมมูลระหว่าง AgNO3 และสารละลายคลอไรด์มีต่อไปนี้

- 0.0282 M $AgNO_3$ สมมูลกับ 1.65 g/l Cl^-
- 0.0563 M $AgNO_3$ สมมูลกับ 3.30 g/l Cl^-
- 0.1127 M $AgNO_3$ สมมูลกับ 6.60 g/l Cl^-
- 0.1690 M $AgNO_3$ สมมูลกับ 9.90 g/l Cl^-
- 0.2254 M $AgNO_3$ สมมูลกับ 13.20 g/l Cl^-

4.2 สารเคมีและวิธีเตรียมสารเคมี

4. silver nitrate ความเข้มข้น 0.0282, 0.563, 0.1127, 0.1690 และ 0.2254 M เตรียมในน้ำกลั่นปราศจากไอออน

5. เตรียม dichlorofluoroscein (3 $\%_{w/v}$) น้ำหนัก 0.003 กรัมในเอทธานอลปริมาตร 60 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 40 ไมโครลิตร
6. sodium chloride ความเข้มข้น 1.65, 3.30, 6.60, 9.90 และ 13.20 กรัมต่อลิตร

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมสารละลาย $AgNO_3$ แต่ละความเข้มข้น ปริมาณ 4.850 ml
2. ผสมสารละลาย Dichlorofluoroscein (DF) 150 μl ลงในสารละลาย $AgNO_3$
3. ชุบกระดาษกรองในสารละลาย $AgNO_3$ และDF เป็นระยะเวลา 10 วินาที และนำไปอบเป็นระยะเวลา 25 นาที
4. ตัดกระดาษกรองที่อบแล้วเป็นชิ้นขนาด 3 มม. X 3 มม.
5. เตรียมสารละลาย NaCl ความเข้มข้นต่างๆ (เตรียมจาก NaCl)
6. จุ่มกระดาษกรองลงในสารละลาย NaCl เป็นเวลา 10 วินาที
7. นำกระดาษกรองออกจากสารละลายและซับสารละลายส่วนเกินออก
8. วางกระดาษกรองทิ้งไว้ 1 นาที สังเกตสีที่เปลี่ยนแปลง
9. บันทึกผลสีเหลืองที่เกิดขึ้นบนกระดาษกรอง

4.4 ผลการศึกษา

[$AgNO_3$] (M)	[NaCl] (g/l)																	
	0	0.82	1.65	2.47	3.30	4.12	4.94	5.77	6.59	7.42	8.24	9.06	9.89	10.71	11.54	12.36	13.18	14.01	14.82
0.0282	0	0.00	91.67	100	100	100													
0.0563	0		33.33	66.67	91.67	100	100												
0.1127	0				8.33	50	91.67	75	91.67	100	100								

0.1690	0						33.33	50	50	66.67	66.67	75	91.67	100	100			
0.2254	0											91.67	33.33	50	91.67	91.67	83.33	100	100

หมายเหตุ บันทึกผลเป็น % จากตัวอย่างทั้งหมด 12 ตัวอย่าง

จากผลการทดลองพบว่า

1. การชุบกระดาษกรองในสารละลาย $AgNO_3$ และ DF สามารถใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษทดสอบความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ได้ ทำให้ง่ายและประหยัดเวลาในการผลิต

2. กระดาษกรองทั้งหมดเปลี่ยนจากสีชมพู เป็นสีเหลือง เมื่อความเข้มข้นของ NaCl มากกว่าความเข้มข้นของ $AgNO_3$ ที่ใช้ในการชุบกระดาษกรอง ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

3. สีของกระดาษทดสอบก็ไม่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีชมพูกลับแม้จะทิ้งไว้เป็นเวลานาน ซึ่งการที่สีของกระดาษทดสอบไม่เปลี่ยนสีกลับเป็นสีชมพูเนื่องจาก Ag^+ที่อยู่ในกระดาษกรองเกิดปฏิกิริยากับ Cl^- เกิดเป็นตะกอนของ silver chloride และไม่เหลือ Ag^+ ในกระดาษอีก จึงไม่เกิดการรวมตัวกันของ silver body กับ DF ที่จะทำให้เกิดสีชมพูเข้ม ดังนั้นกระดาษทดสอบจึงมีสีเหลืองของ DF เพียงสารเดียว

4. อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของ NaCl ที่ต่ำกว่าความเข้มข้นที่จุดสมมูล ยังพบการเปลี่ยนสีของกระดาษกรองเป็นสีเหลืองเช่นเดียวกัน แต่จะพบในสัดส่วนที่น้อยกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก

2.1 ปริมาณสารละลาย $AgNO_3$ ในแต่ละตัวอย่างไม่เท่ากันทุกแผ่น

2.2 การละลายของ DF ไปในสารละลาย Cl^- ทำให้ไม่เกิดตะกอนสีชมพูมากเท่าที่ควร

4.5 สรุปผลการศึกษา

เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ AgNO3 กับ ความเข้มข้นของ Cl^- ในสารละลาย จึงสามารถ สามารถออกแบบกระดาษทดสอบความเข้มข้นของคลอไรด์ได้ดังนี้

Stirp level	[$AgNO_3$] (M)	[NaCl] (g/l)					
		0 - 1.6	1.6 – 3.30	3.30 - 5	5 – 10	10 – 11.5	มากกว่า 11.5
1	0.0282						

2	0.0563						
3	0.1127						
4	0.1690						
5	0.2254						

โดยที่แต่ละแถบของแผ่นตรวจวัดจะสามารถบอกช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีความแม่นยำมากกว่า 90% หากเกิดสีเหลืองขึ้นที่แถบใดก็จะสามารถบอกความเข้มข้นของคลอไรด์ในสารละลายได้อยู่ในช่วงนั้นๆ โดยแบ่งออกเป็น 0 – 1.6, 1.6 – 3.3, 3.30 - 5, 5 - 10 และ 10 -11.5 g/l ตามลำดับ

5.ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2

กระดาษทดสอบโซเดียมคลอไรด์เตรียมขึ้นจากสาร Silver nitrate และ Dichlorofluoroscein ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อผสมสารละลายทั้ง 2 เข้าด้วยกันแล้วจะได้สารละลายสีเหลืองอมส้ม จากนั้นจึงชุบกระดาษกรองลงในสารละลายที่ผสมไว้แล้ว อบกระดาษกรองที่ชุบสารเคมีจนแห้งก็จะได้แถบตรวจวัดความเข้มข้นของNaCl ในปัสสาวะ

เมื่อจุ่มแถบวัดความเข้มข้นลงในสารละลาย NacCl แถบวัดความเข้มข้นจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองอมส้มกลายเป็นสีชมพู จากการทดลองพบว่าแถบตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ที่ผลิตสามารถตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ได้อย่างแม่นยำ

5.1 สารเคมีและวิธีเตรียมสารเคมี

1.1 Silver nitrate

1.2 Dichlorofluoroscein

1.3 Absolute ethanol

1.4 Deioninzed water

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นสารละลาย Silver nitrate และ Dichlorofluoroscein ที่ต้องเตรียม

NaCl (g/l)	$AgNO_3$ (M) in 50% ethanol	Dichlorofluoroscein (M) in 100% ethanol
2	0.0684	0.0050

4	0.1368	0.0100
6	0.2052	0.0150
8	0.2734	0.0200
10	0.3418	0.0250

5.2 ขั้นตอนการทดลอง

1.5 เตรียมสารละลาย silver nitrate และ dichlorofluoroscein ตามตารางข้างต้น

1.6 ผสมสารละลายในอัตราส่วน 1:1 (ตัวอย่าง 2 ml silver nitrate ต่อ 2 ml dichlorofluoroscein)

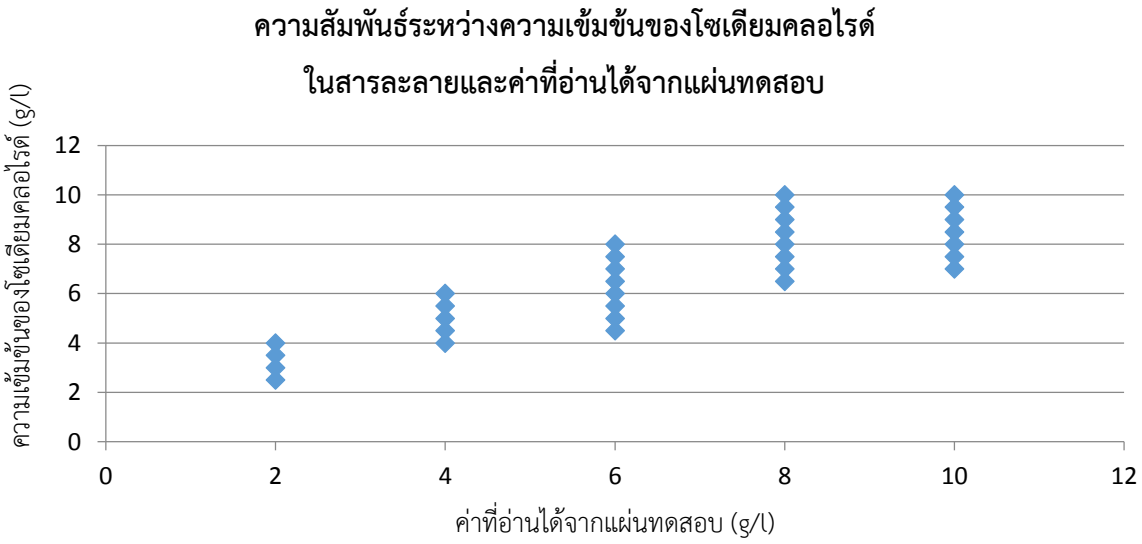
1.7 เทสารละลายลงในถาดสำหรับชุบกระดาษกรอง

1.8 ชุบกระดาษกรองลงในสารละลาย และเมื่อสารละลายกระจายทั่วทั้งแผ่นให้ยกออกทันที **ห้าม** ทิ้งกระดาษกรองไว้ในถาด เพราะจะเกิดการตกตะกอนและทำให้สารละลายกระจายตัวไม่สม่ำเสมอบนกระดาษกรอง

1.9 อบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 4 นาที หรือจนกระดาษกรองแห้งสนิท

1.10 ตัดกระดาษกรองให้ได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

5.3 ผลการศึกษา



รูปภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายและค่าที่อ่านได้จากแผ่นทดสอบ

จากการศึกษาพบว่าค่าที่อ่านได้จากแผ่นทดสอบมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นวิธีการผสมสารแล้วจึงชุบกระดาษกรองลงในสารละลายจึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตแผ่นทดสอบโซเดียมคลอไรด์ได้

5.4 สรุปผลการศึกษา

วิธีการชุบกระดาษกรองลงในสารละลายผสมระหว่าง Silver nitrate และ Dichlorofluoroscein สามารถนำมาใช้ในการผลิตแผ่นทดสอบโซเดียมคลอไรด์ได้อย่างมีประสิทธภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมต่อไปได้ในอนาคต

รายละเอียดการผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1.1 Silver nitrate ($AgNO_3$)

1.2 Dichlorofluoroscein

1.3 Absolute ethanol

1.4 Deionized water

1.5 กระดาษกรอง Whatman number 4

1.6 กระดาษอาร์ทมัน

1.7 กาวสองหน้า

1.8 ซองฟอล์ย

1.9 ซองกันชื้น

2. วิธีการผลิตแถบตรวจวัด

2.1 เตรียมสารละลาย silver nitrate และ dichlorofluoroscein ตามตารางที่ 1

2.2 ผสมสารละลายในอัตราส่วน 1:1 (ตัวอย่าง 2 ml silver nitrate ต่อ 2 ml dichlorofluoroscein)

2.3 เทสารละลายลงในถาดสำหรับชุบกระดาษกรองชุบ

2.4 กระดาษกรองลงในสารละลาย รอจนสารละลายแพร่ทั่วทั้งกระดาษแล้วยกออกจากสารละลาย

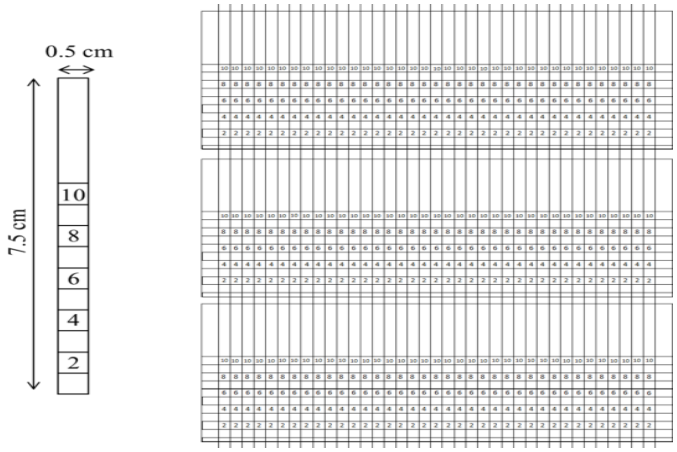
<u>ห้าม</u> ทิ้งกระดาษกรองไว้ในถาด เพราะจะเกิดการตกตะกอนและทำให้สารละลายกระจายตัวไม่สม่ำเสมอบนกระดาษกรอง

2.5 อบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 4 นาที หรือจนกระดาษกรองแห้งสนิท

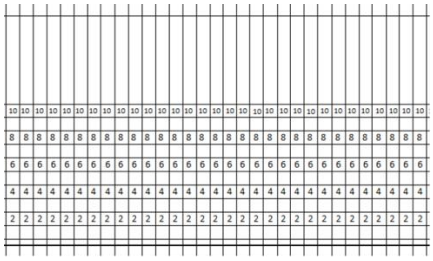
2.6 ตัดกระดาษกรองให้ได้ขนาดความกว้าง 5 มิลลิเมตร

3. การประกอบแผ่นทดสอบและการบรรจุภัณฑ์

1. พิมพ์ลายแผ่นทดสอบ (รูปภาพที่ 2) ลงบนวัสดุกันน้ำ เช่น แผ่นพลาสติก กระดาษอาร์ตมัน เป็นต้น
2. ติดกระดาษกาวสองหน้าลงบนตารางที่ได้พิมพ์ไว้
3. ติดแถบตรวตจวัดลงบนตารางตามค่าความเข้มข้นที่ระบุไว้
4. ตัดแผ่นทดสอบให้ได้ขนาด กว้าง 0.5 เซนติเมตร และยาว 7.5 เซนติเมตร
5. บรรจุแผ่นทดสอบพร้อมซองกันชื้นลงในถุงทึบแสงและปิดผนึกถุงด้วยเครื่องทำความร้อน

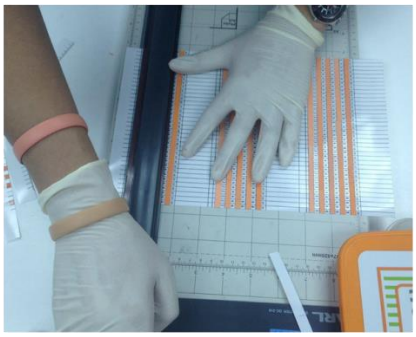


รูปภาพที่ 2 ตารางแผ่นทดสอบ



1. พิมพ์ตารางแผ่นตรวจวัด

2. ติดแผ่นทดสอบตามค่าความเข้มข้นที่ระบุไว้



3. ตัดแผ่นทดสอบให้ได้ขนาด 0.5 ซม. **X** 7.5 ซม.

4. บรรจุแผ่นทดสอบและซองกันชื้นลงในถุงทึบแสง

รูปภาพที่ 3 ภาพรวมกระบวนการผลิต

รูปภาพ 4 สติ๊กเกอร์ที่ใช้บนซองบรรจุภัณฑ

ต้นทุนการผลิตการผลิตแผ่นตรวจวัดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ

ต้นทุนผัน

แปร

วัตถุดิบ	ราคา	ปริมาณ	ปริมาณต่อหน่วย	จำนวนที่ผลิตได้	ราคาต่อหน่วย
silvernitrate	5486.88	25.00	1.74	14349.78	0.38
DF	8758.40	10.00	0.30	33233.63	0.26
Ethanol (ml)	26.33	1000.00	10.00	100000.00	0.00
DI water (ml)	4.00	1000.00	10.00	100000.00	0.00
Whatman no.4	350.00	100.00	1.00	50000.00	0.01
กระดาษอาร์ท	5.00	1.00	1.00	111.00	0.05
กาว 2 หน้า	5.00	10.00	0.17	6529.41	0.00
ซองกันชื้น	1000.00	1000.00	1.00	1.00	1.00
ถุงฟอล์ย	1000.00	1000.00	1.00	1.00	1.00
สติ๊กเกอร์	3200.00	1000.00	1.00	1000.00	3.20

ต้นทุนคงที่

อุปกรณ์	ราคา			จำนวนที่	ราคาต่อ

				ผลิตได้	หน่วย
เครื่องตัดกระดาษ	2400.00			1000.00	2.40
เครื่องซีลถุงฟอล์ย	890.00			1000.00	0.89

ค่าแรง

	จำนวน	จำนวน ชม. ที่ทำงาน	ค่าแรงขึ้นต่ำ (350 บาท/8 ชม.)	จำนวนที่ผลิตได้	ค่าแรงต่อหน่วย
คนงาน	5.00	18.00	43.75	1000.00	3.94
				รวม	13.13 บาท

เอกสารอ้างอิง

1. Cappuccio FP, Markandu ND, Carney C, Sagnella GA, MacGreger GA,: Double-blind randomized trial of modest salt restriction in order people. *Lancet* 1997; 350:850-854.
2. Cutler JA, Follmann D, Allender PS: Randomized trials of sodium reduction: An overview. *Am J Clin Nutr* 1997; 65 (suppl):643S-651S.
3. The Trials of Hypertension Prevention Collaborative Research Group: Effects of weight loss and sodium reduction intervention on blood pressure and hypertension incidence on overweight people with high to normal blood pressure. *Arch Intern Med* 1997; 157:657-667.
4. Cappucio FP, MacGregor GA: Dietary salt restriction: Benefits for cardiovascular disease and beyond. *Curr Opin Nephrol Hypertens* 1997; 6:477-482.
5. Messerli FH, Schmieder RE, Weir MR: Salt-A perpetrator of hypertensive target organ disease? *Arch Intern med* 1997; 157:2449-2452.
6. Kolthoff IM, Lauer WM, Sunde CJ: The use of dichlorofluorescein as an adsorption indicator for the argentometric titration of chlorides. *Anal Chem* 1927; 70:369-372.

ภาคผนวก

1. ชื่อ และ รายละเอียดของ ผู้รับผิดชอบโครงการ และคณะ

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์

ที่อยู่ ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73170

โทรศัพท์ 02-889-2138 ต่อ 6351 **โทรศัพท์เคลื่อนที** 084-321-7778 **โท ร ส า ร** 02-889-2138 ต่ อ 6366

Email: yodchanan.won@mahidol.ac.th

บทบาทหน้าที่/ความรับผิดชอบในโครงการนี้ หัวหน้าทีมผู้ดูแลด้านการออกแบบและผลิตเครื่องตรวจวัดปริมาณความเค็มในอาหาร

รายชื่อผู้ร่วมทำโครงการ

1. นายดิลก ปืนฮวน *ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*
2. นางสาว อภิชญา จิตรปัญญา *ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*
3. นาย วัชระ สร้อยคำ *ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*
4. นางสาว ทัศนีย์ พรมรักษา *ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*
5. นายธนิส อภิวัฒนเดช *ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

น.ต.หญิง พญ.วรวรรณ ชัยลิมปมนตรี
หัวหน้าหน่วยโรคไต โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช

2.โครงสร้างการบริหารจัดการ

ผศ.ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์ หัวหน้าทีมผู้ดูแลด้านการออกแบบและผลิตเครื่องตรวจวัดปริมาณความเค็มในอาหาร

ดร.พรพิมล ศรีทองคำ หัวหน้าทีมผู้ดูแลด้านการออกแบบและผลิตแผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอไรด์ในปัสสาวะ

นายดิลก ปืนฮวน ดูแลเรื่องฮาร์ดแวร์และอัลกอริทึมของเครื่องตรวจวัดปริมาณความเค็มในอาหาร

นางสาว อภิชญา จิตรปัญญา ดูแลเรื่องฮาร์ดแวร์และอัลกอริทึมของเครื่องตรวจวัดปริมาณความเค็มในอาหาร

นาย วัชระ สร้อยคำ ดูแลเรื่องดัชนีและหลักการออกแบบเครื่องตรวจวัดปริมาณความเค็มในอาหาร

นางสาว ทัศนีย์ พรมรักษา ดูแลเรื่องการเงินโครงการ

3. การกำกับติดตาม และประเมินผลภายใน

ภายในเวลา 1 ปี ประเมินผลตามตัวชี้วัดผลลัพธ์ดังนี้

1) ได้เครื่องวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ด้วยหลักการวัดแบบ Conductivity 12 ตัวต้นแบบ

2) ได้แผ่นตรวจวัดโซเดียมคลอ