# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญตาราง | ง |
| สารบัญรูป | จ |
| บทคัดย่อ | 1 |
| Abstract | 1 |
| คำนำ | 3 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 3 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| การตรวจเอกสาร | 6 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 17 |
| ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย | 22 |
| สรุปผลการวิจัย | 39 |
| เอกสารอ้างอิง | 40 |

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและดัชนีวัดความสำเร็จ 4

ตารางที่ 2 องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำผึ้ง 8

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณลักษณะของไบโอเซนเซอร์ที่ได้จากการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าโดยใช้วัสดุที่แตกต่างกัน 15

ตารางที่ 4 สารเคมี 17

ตารางที่ 5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 18

ตารางที่ 6 ตัวอย่างน้ำผึ้งยี่ห้อต่างๆ และความเข้มข้นที่ตรวจพบโดยใช้กลูโคสไบโอเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น 38

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 น้ำผึ้ง (Wikipedia, 2012) 6

รูปที่ 2 โครงสร้างแบบ Fischer ของน้ำตาลกลูโคส 9

รูปที่ 3 แผ่นกราฟีน (grapheme sheet), B. ซิลเกิลวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (single-walled carbon nanotube) และ C. มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (multi-walled carbon nanotube) 11

รูปที่ 4 ไดอะแกรมของไบโอเซนเซอร์ซึ่งประกอบไปด้วย (1) ส่วนของรีเซพเตอร์ที่เป็นสารชีวโมเลกุล และ (2) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณ ให้แก่ส่วนของการประมวลผล 12

รูปที่ 5 ไดอะแกรมของปฏิกิริยาที่เกิดบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้า ลูกศร ⟸ บอกทิศทางของการเคลื่อนเข้าสู่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าของตัวออกซิไดซิง (*ox*) และลูกศร ⟹ บอกทิศทางการเคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าขั้วไฟฟ้าของตัวรีดิวซิง (*red*) ส่วนสัญลักษณ์ $\delta$ คือความหนาของชั้นของการแพร่ 13

รูปที่ 6 กลไกการทำงานของกลูโคสไบโอเซนเซอร์โดยอาศัยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase : Gox) ตรึงบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าร่วมกับคาร์บอนนาโนทิวบ์ (carbon nanotube : CNT) และอนุภาคนาโน (nanoparticles : NPs) กลูโคสออกซิเดสทำปฏิริยากับกลูโคสแล้วได้กลูโคโนแลคโตนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกออกซิไดส์ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า 14

รูปที่ 7 ขั้นตอนการสร้างขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน 19

รูปที่ 8 การจัดเซลล์สำหรับการทดลองด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรี 19

รูปที่ 9 การออกแบบขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนแบบสี่เหลี่ยม 22

รูปที่ 10 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน โดยทดลองในสารละลายของโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรตที่ความเข้มข้น ก) 0.0 ข) 10.0 ค) 20.0 และ ง) 30.0 มิลลิโมลาร์ โดยมีสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย 22

รูปที่ 11 สารละลายของทองนาโนให้ความร้อนเป็นเวลา 2 นาทีในอัตราส่วนของทองคลอไรด์ : ไตรโซเดียมซิเตรตที่ (ก) 1:1 (ข) 1:5 (ค) 1:10 (ง) 1:15 และ (จ) 1:20 23

รูปที่ 12 ยูวีสเปกตรัมของทองนาโนที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของทองคลอไรด์:ไตรโซเดียมซิเตรตที่ 1:1, 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 โดยให้ความร้อนโดยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที 24
รูปที่ 13 สารละลายของทองนาโนให้ความร้อนเป็นเวลา 4 นาทีในอัตราส่วนของทองคลอไรด์ :ไตรโซเดียมซิเตรตที่ (ก) 1:1 (ข) 1:5 (ค) 1:10 (ง) 1:15 และ (จ) 1:20 25
รูปที่ 14 ยูวีสเปกตรัมของทองนาโนที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของทองคลอไรด์:ไตรโซเดียมซิเตรตที่ 1:1, 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 โดยให้ความร้อนโดยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 4 นาที 26
รูปที่ 15 สารละลายของทองนาโนให้ความร้อนเป็นเวลา 6 นาทีในอัตราส่วนของทองคลอไรด์ :ไตรโซเดียมซิเตรตที่ (ก) 1:1 (ข) 1:5 (ค) 1:10 (ง) 1:15 และ (จ) 1:20 26
รูปที่ 16 ยูวีสเปกตรัมของทองนาโนที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของทองคลอไรด์ : ไตรโซเดียมซิเตรตที่ 1:1, 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 โดยให้ความร้อนโดยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 6 นาที 27
รูปที่ 17 ยูวีสเปกตรัมของทองนาโนที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของทองคลอไรด์ : ไตรโซเตียมซิเตรตที่ 1:1, 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 โดยให้ความร้อนโตยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 8 นาที 28
รูปที่ 18 ยูวีสเปกตรัมของทองขนาตนาโนที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของทองคลอไรด์ : ไตรโซเดียมซิเตรตเป็น 1:1, 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 โตยให้ความร้อนโตยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 8 นาที 29
รูปที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับเวลาในการสังเคราะห์ทองขนาตนาโนโดยใช้ทองคลอไรด์ : ไตรโซเตียมซิเตรตในอัตราส่วนโมล 1:10 30
รูปที่ 20 อนุภาคนาโนทองคำจากกล้องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน ที่อัตราส่วนการสังเคราะห์ทองคลอไรด์ต่อไตรโซเดียมซิเตรท 1 : 10 โดย ทำที่สภาวะการให้ความร้อน (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที (ค) 6 นาที และ (ง) 10 นาที กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านใช้กำลังไฟฟ้า 75 kV และกำลังขยาย 200,000 เท่า 31
รูปที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของกลูโคส ไบโอเซนเซอร์กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น 32
รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสกับปริมาณไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้สภาวะการทดลองเป็น 5 mM glucose, 0.1 M phosphate pH 7.4, ศักย์ไฟฟ้า -0.10 V 33

รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรึงฟิล์มปรัสเซียนบลูกับปริมาณไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้สภาวะการทดลองเป็น 5 mM glucose, 0.1 M phosphate pH 7.4, ศักย์ไฟฟ้า -0.10 V, ปริมาณของเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส 0.09 มิลลิกรัม 34

รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรึงฟิล์มไคโตซานกับปริมาณไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้สภาวะการทดลองเป็น 5 mM glucose, 0.1 M phosphate pH 7.4, ศักย์ไฟฟ้า -0.10 V, ปริมาณของเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส 0.09 มิลลิกรัม เวลาของการตรึงปรัสเซียนบลู 115 วินาที 35

รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของคาร์บอนนาโนทิวบ์กับกระแสไฟฟ้าที่ได้ โดยใช้สภาวะการทดลองเป็น 5 mM glucose, 0.1 M phosphate pH 7.4, ศักย์ไฟฟ้า -0.10 V, ปริมาณของเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส 0.09 มิลลิกรัม เวลาของการตรึงปรัสเซียนบลู 115 วินาที เวลาของการตรึงไคโตซาน 60 วินาที 36

รูปที่ 26 กราฟเทียบมาตรฐานระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของกลูโคสโดยใช้กลูโคสไบโอเซนเซอร์ SPCE/CHIT-CNT/PB/AuNP/GOx โดยใช้สภาวะของเครื่องมือดังนี้ $E_{applied}$ = -0.05 โวลท์, 0.1 โมลาร์ phosphate buffer pH 7.4, CNT = 0.009 มิลลิกรัม, เวลาของการตรึงไคโตซาน 60 วินาที, เวลาของการตรึงปรัสเซียนบลู 105 วินาที, และปริมาณของกลูโคสออกซิเดส 0.09 มิลลิกรัม 37