การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของขั้วไฟฟ้าแบบพิมพ์สกรีนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับตรวจคัดกรองโรคเกาท์

อัสสรีญา อบอุ่น, เบญญา เชิดหิรัญกร และชิราวุฒิ เพชรเย็น
สาขาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมและการวิเคราะห์วัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบด้วยวิธีการโซลเจล (sol-gel) เพื่อนำไปปรับปรุงขั้วไฟฟ้าใช้งานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีพิมพ์สกรีน ซึ่งการสังเคราะห์ใช้อัตราส่วนของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1:1 1:2 และ 2:1 จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส และศึกษาการนำไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวแทมเมตรี โดยจะเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบกับขั้วไฟฟ้าเปล่า และขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยคาร์บอนบริสุทธิ์พบว่า การนำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส มีการนำไฟฟ้าได้สูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของคาร์บอนนาโนทิวบ์มากกว่าและมีความเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อมีการวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง นอกจากนี้ยังศึกษาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้ากับกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบมีการตอบสนองต่อกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกดี ได้พีคที่ชัดเจนเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าเปล่า นอกจากนี้ยังศึกษาการตอบสนองของกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิกด้วยวิธีสแควร์เวฟโวลแทมเมตรี พบว่า ขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบจะสามารถแยกพีคของกรดทั้งสองได้เมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าเปล่า

คำสำคัญ: มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์, ไททาเนียมไดออกไซด์, กรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, การสังเคราะห์แบบโซลเจล, เก๊าท์

Preparation and Characterization of Printed screen electrodes modified with MWCNTs/TiO_2 nanocomposite for Gout detection

Assareeya Aoboun, Benya Cherdhirunkorn and Chiravoot Pechyen
Department of Materials Technology and Textile, Faculty of Science and Technology, Thammasat University.

Abstract

Multi-walled Carbon Nanotube-Titanium dioxide (MWCNTs/TiO_2) nanocomposites were prepared by *in situ* sol-gel synthesis. This method is convenient, low cost and high purity composite. The MWCNTs-TiO_2 were characterized by transmission electron microscopy (TEM), revealing that TiO_2 adhered to the MWCNT surface. After annealing MWCNTs/TiO_2 at a suitable temperature (550°C) they were given a good crystallinity of TiO_2, characterized by the XRD pattern. The crystalline nature was used to make microelectrodes, which exhibited strong electrocatalytic activity towards the oxidation of uric acid (UA). The combination of MWCNT and TiO_2 significantly increased the electron transfer at the electrode surface, microelectrode portability, increased selectivity and sensitivity for uric (UA). The optimum potential of MWCNTs/TiO_2 working electrode to determinate UA was 0.4 Volts. The biosensor was developed for the detection of UA with respect to the above properties. The linear range for UA 50-300 μM working electrode in 1M PBS (pH = 7.4). The MWCNTs/TiO_2 working electrode can detect the concentration of UA in the human's urine, and normal pH conditions (5.5-6.5). These findings suggest that a portable test center for clinical diagnosis may be possible in Thailand.

Keywords: Multiwall carbon nanotube, Titaniumdioxide, Ascorbic acid (AA), Uric acid (UA), Insitu sol-gel synthesis, Gout.

1. บทนำ

สังคมไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมของผู้สูงอายุหรือมีผู้สูงอายุในวัยอายุ 60 ปีขึ้นไปที่มีมากขึ้นถึงร้อยละ 10 ของประชากรไทยในทุกปี ทำให้สามารถมองเห็นภาพแนวโน้มของภาวะความเจ็บป่วยของประชากรที่น่าจะเกิดขึ้นมากในอนาคต เนื่องจากผู้สูงอายุนั้นมีโอกาสเจ็บป่วยมากกว่าคนที่อายุน้อยยิ่งทำให้มีความเสี่ยงมากที่จะเจ็บป่วยได้ง่ายกว่าโรคที่ผู้สูงอายุมักเป็นและทำให้เสี่ยงต่อการเสียชีวิต ได้แก่ โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคไตผิดปกติ และโรคติดเชื้อในกระแสเลือด [1] นอกจากนี้ผู้สูงอายุที่ยังมีชีวิตอยู่ส่วนใหญ่นั้นมักจะเป็นโรคเรื้อรังที่ต้องการการดูแลรักษาระยะยาว เช่น โรคเบาหวาน โรคความจำเสื่อม อัมพฤกษ์ อัมพาต โรคเกี่ยวกับกระดูกและฟัน โรคเก๊าท์ เป็นต้น โรคเหล่านี้ต้องการการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง [2]

จำนวนผู้ป่วยโรคเก๊าท์นั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา มีผลกระทบถึงร้อยละ 1-2 ของประชากรไทยในช่วงใดช่วงหนึ่งของชีวิต จำนวนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากปัจจัยเสี่ยงที่พบมากขึ้นในประชากร ยกตัวอย่างเช่นกลุ่มอาการเมตาบอลิกอายุขัยที่ยืนยาวขึ้น และพฤติกรรมการกินอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป โรคเกาต์สามารถพบได้หลายรูปแบบ ที่พบมากที่สุดคืออาการไขข้ออักเสบกำเริบแบบเฉียบพลัน ข้อต่อแดง ตึง แสบร้อน บวม ข้อต่อกระดูกฝ่าเท้า นิ้วเท้าที่โคนนิ้วหัวแม่เท้ามักได้รับผลกระทบมากที่สุด โดยคิดเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของผู้ป่วยทั้งหมดข้อต่ออื่นๆ เช่น ส้นเท้า หัวเข่า ข้อมือ และนิ้วมือก็อาจได้รับผลกระทบได้เช่นกัน ความเจ็บปวดที่ข้อต่อมักเริ่มขึ้นประมาณ 2-4 ชั่วโมงในเวลากลางคืน เหตุผลที่เกิดอาการกำเริบในเวลากลางคืนเนื่องจากอุณหภูมิของร่างกายที่ลดลง ในช่วงเวลานั้นอาจมีอาการอื่นๆ เกิดขึ้นพร้อมกับอาการปวดข้อบ้าง เช่น ความเหนื่อยล้าและมีไข้สูง ระดับของกรดยูริกที่สูงอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานหรือภาวะกรดยูริกในเลือดสูงอาจส่งผลให้เกิดอาการอื่นๆ รวมถึงการจับตัวของผลึกกรดยูริกที่แข็งแต่ไม่แสดงอาการเจ็บปวดที่รู้จักกันในนามของก้อนโทไฟ การขยายตัวของก้อนโทไฟอาจนำไปสู่โรคไขข้ออักเสบเรื้อรังเนื่องจากการผุกร่อนของกระดูก นอกจากนี้ระดับที่สูงของกรดยูริกยังอาจนำไปสู่การเกิดผลึกในไตก่อให้เกิดนิ่ว และส่งผลให้เกิดโรคไตจากกรดยูริก โดยเมื่อผู้ป่วยเป็นโรคเก๊าท์มักจะพบโรคอื่นร่วมด้วย เช่น โรคเบาหวาน โรคดวามดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือดสูงรวมไปถึงโรคหลอดเลือดในหัวใจ และกลุ่มอาการเมตาบอลิก ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าโรคเก๊าท์นั้นเป็นโรคที่อันตรายก็ต่อประชากรผู้สูงอายุในปัจจุบันอย่างมาก การวินิจฉัยโรคเก๊าท์ที่ดีที่สุดได้แก่ การตรวจพบของผลึกเกลือยูเรตจากน้ำไขข้อในขณะที่มีการอักเสบ การตรวจเลือดเพื่อดูปริมาณของกรดยูริก เป็นต้น [3]

มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (Multiwall Carbon nanotube) คือวัสดุสังเคราะห์โครงสร้างระดับนาโนรูปทรงกระบอกที่ดัดแปลงมากจากแผ่นแกรฟีน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร มีคุณสมบัติที่โดดเด่นมากเช่น มีความยืดหยุ่นสูง แข็งแรง นำความร้อนได้ดี นำไฟฟ้าได้ดี และไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อนำมาใช้งานแล้ว ซึ่งคุณสมบัติของการนำไฟฟ้าได้ดีเป็นส่วนสำคัญมากที่สุดในการนำมาใช้ทำวัสดุสำหรับปรับปรุงขั้วไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยากับกรดยูริก แต่มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถหาความเข้มข้นของกรดยูริกในปริมาณต่ำๆได้ และเมื่อถูกรบกวนด้วยกรดแอสคอร์บิกก็ไม่สามารถหาค่าความเข้มข้นของกรดยูริกได้ด้วยเช่นกัน [4-13] ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องสังเคราะห์มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ร่วมกับสารตัวอื่นเพื่อปรับปรุงให้สารเชิงประกอบมีความจำเพาะต่อการหาความเข้มข้นของกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกไม่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชิงประกอบที่สังเคราะห์ขึ้น โดยไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารตัวหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากว่ามีคุณสมบัติเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยคาดหวังว่าคุณสมบัติของไททาเนียมในส่วนนี้จะช่วยปรับปรุงความจำเพาะเจาะจงของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นในการทำปฏิกิริยากับกรดยูริกและสารตัวอื่นๆ เช่น กรดแอสคอร์บิก และ โปรตีนต่างๆในปัสสาวะจะไม่ส่งผลต่อการทำงานของสารเชิงประกอบ

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิก-โวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry: CV) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากในการใช้ตรวจกรดยูริกสำหรับวิเคราะห์โรคเก๊าท์ในปัสสาวะได้ดีและใช้เวลารวดเร็ว

ในการวิเคราะห์ผล [14] ซึ่งในงานวิจัยที่กำลังศึกษาคือผู้วิจัยสนใจทำการประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าใช้งานหรือตัววัดสัญญาณเพื่อนำมาทำไบโอเซนเซอร์ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ช่วยในการวินิจฉัยโรคเก๊าท์จากปัสสาวะของผู้ป่วย ในการประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าใช้งานหรือตัววัดสัญญาณจะทำการสังเคราะห์โดยใช้มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ (Multiwall carbon nanotube/ Titanium dioxide) โดยวิธีการโซลเจล (Sol-gel) เนื่องจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธีนี้เป็นวิธีการที่ง่าย ได้สารที่มีความบริสุทธิ์สูง และได้สารในปริมาณมาก [15] นอกจากนี้การเลือกใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide: TiO_2) เพราะว่าไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีคุณสมบัติเป็นสารที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าและมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (Multiwall carbon nanotube: MWCNT) เนื่องจากมีพื้นผิวมากในการทำปฏิกิริยา มีคุณสมบัติทางความร้อนและคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี และเนื่องจากกรดยูริก (Uric acid: UA) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid: AA) มีความว่องไวทางเคมีไฟฟ้า ทำให้สามารถแปลผลเป็นความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ไบโอเซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดได้เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในระบบ

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยวิธีโซลเจล

2. ศึกษาประสิทธิภาพและการตอบสนองการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์

3. ศึกษาประสิทธิภาพและการตอบสนองของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์เพื่อตรวจวัดกรดยูริกและดูการตอบสนองต่อกรดแอสคอร์บิก

3. วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมสารเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์

นำผงมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 20-50 นาโนเมตร, ความยาว 10-40 ไมโครเมตร, Nano generation Co., LTD) ตามอัตราส่วน MWCNT-TiO_2 1:1, 2:1 และ 1:2 ใส่ MWCNT 5, 7 และ 3 กรัมตามลำดับ ผสมกับร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักของโซเดียมโดเดซิลเบนซัลโฟเนต (ตามอัตราส่วน MWCNT/TiO_2 1:1, 2:1 และ1:2 ใส่ NaDDBS (Sigma Aldrich) 0.05 0.07 และ0.03 กรัมตามลำดับ) จากนั้นผสมกับน้ำ (deionized water) (ตามอัตราส่วน MWCNT-TiO_2 1:1, 2:1 และ1:2 ใส่น้ำ (deionized water) 333, 500 และ 200 มิลลิลิตรตามลำดับ) นำไปสั่นผสมด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์เป็นระยะเวลา 3-4 ชั่วโมงนำสารละลายที่ได้มาเติมเอทานอล (Duksan,> 99%, denatured) (ตามอัตราส่วน MWCNT/TiO_2 1:1, 2:1 และ 1:2 ใส่เอทานอล 7, 9 และ 4 มิลลิลิตรตามลำดับ) นำสารละลายไปกวนพร้อมใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารเป็นเวลา 30 นาที ได้เป็นสารละลายในส่วนที่ 1 นำผงไททาเนียมไดออกไซด์ (99% Ajax Finechem) (ตามอัตราส่วนMWCNT/TiO_2 1:1, 2:1 และ 1:2 ใส่ไททาเนียมไดออกไซด์ 5, 3 และ 7 กรัมตามลำดับ) เติมเอทานอลตามอัตราส่วน MWCNT/TiO_2 1:1, 2:1 และ 1:2 ใส่เอทานอล 5, 3 และ7 มิลลิลิตรตามลำดับและใส่กรดอะซิติก (99% Sigma Aldrich) (ตามอัตราส่วน MWCNT/TiO_2 1:1, 2:1 และ 1:2 ใส่กรดอะซิติก 2, 1 และ 3 มิลลิลิตรตามลำดับ) นำไปกวนพร้อมใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารเป็นเวลา 30 นาที ได้เป็นสารละลายส่วนที่ 2 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนที่ 2 ผสมลงในสารละลายส่วนที่ 1 ภายใต้การกวนสารละลายส่วนที่ 1 อยู่ เติมสารละลายส่วนที่ 2 ลงไปช้าๆ จนหมด กวนสารละลายผสมพร้อมแท่งแม่เหล็กกวนสารเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องหลังจากนั้นหยดแอมโมเนีย (30%, Panreac Applichem) จนสารละลายผสมมีค่าพีเอชประมาณ 9 -10 เติมเอทานอล 3 มิลลิลิตรและกวนสารละลายผสมอีก 30 นาที นำสารละลายผสมที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงให้สารตกตะกอนแล้วล้างตะกอนด้วยเอทานอล 3 ครั้ง นำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำผงที่ผ่านการอบแห้งมาเผาที่อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที [15-17]

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าโดยวิธีการพิมพ์สกรีน

ตัดแผ่นพลาสติกพอลีไวนิลคลอไรด์ให้มีขนาดประมาณ 15 x 20 เซนติเมตร นำแม่แบบขั้วไฟฟ้าช่วยมาวางบนแผ่นพลาสติกพอลีไวนิลคลอไรด์แล้วทาหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์บนแม่แบบ จากนั้นใช้ไม้รูดหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ให้เต็มแผ่นแม่แบบและนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาทีเมื่อหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์แห้ง นำแผ่นพลาสติกพอลีไวนิลคลอไรด์ออกจากเตาอบและนำแม่แบบขั้วไฟฟ้าใช้งานกับอ้างอิงมาวางทับแผ่นพลาสติกพอลีไวนิลคลอไรด์ที่ขั้วไฟฟ้าช่วยแห้งแล้วจากนั้นนำหมึกคาร์บอนเซ็นเซอร์มาทาบนแม่แบบ ใช้ไม้รูดให้เต็มแผ่นแม่แบบจะได้ขั้วไฟฟ้าใช้งานและขั้วไฟฟ้าอ้างอิง กลายเป็นขั้วอิเล็กโทรด 3 ขั้ว นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50-55องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาทีนำแผ่นพลาสติกไวนิลคลอไรด์ออกจากเตาอบ ทำการสกรีนหมึกคาร์บอนเซ็นเซอร์ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง [18]

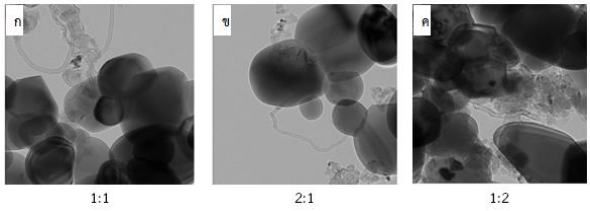
ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงขั้วไฟฟ้าใช้งานด้วยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์

นำผงวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส ทุกๆ อัตราส่วนอย่างละ 0.002 กรัม มาผสมกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ 1 มิลลิลิตร และนำไปสั่นผสมสารด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงนำแผ่นพลาสติกมาตัดให้เหลือหนึ่งขั้วไฟฟ้า นำวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมมาหยดลงบนขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยใช้ปริมาณสาร 0.5 ไมโครลิตรและทำไปอบที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [18]

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ก่อนเผาโดยเตรียมด้วยวิธีการโซลเจลตามอัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 1:2 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy: TEM) ที่กำลังขยาย 200 นาโนเมตร



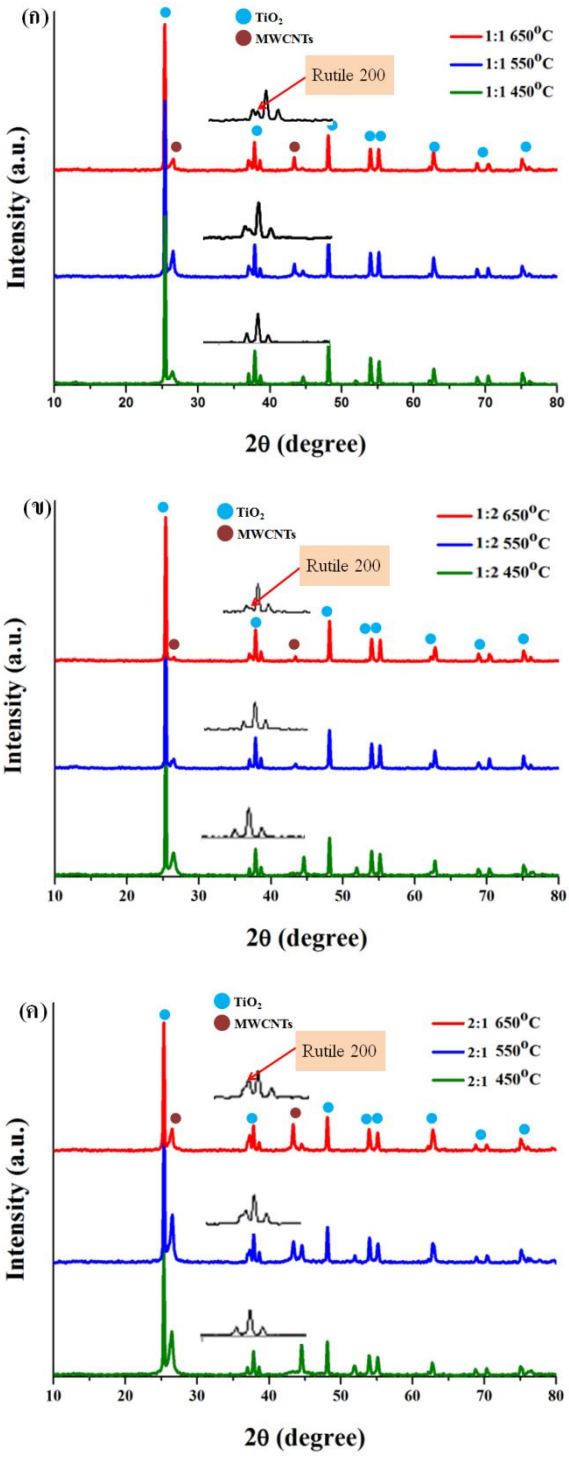
รูปที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านที่กำลังขยาย 200 และ 100 นาโนเมตร ตามอัตราส่วน MWCNT/$TiO_2$1:1 (รูปที่ ก) 2:1 (รูปที่ ข) และ 1:2 (รูปที่ ค) ตามลำดับ

จากการนำผงที่ได้จากการเตรียมวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ก่อนเผามาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เพื่อดูแนวโน้มการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ โดยขนาดอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ร่วมกับมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 200-50 นาโนเมตรและสังเกตได้ว่าอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์มีการจับตัวรวมกลุ่มกันบนผิวของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ในทุกๆ อัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบ การรวมกลุ่มกันของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์บนมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ดี ไม่เกิดการแยกเฟสกัน จึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ก่อนเผานี้ทำให้ทราบว่าภาวะในการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการโซลเจลนั้น มีแนวโน้มไปในแนวทางที่

ดีและเกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบมัลติวออล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction: XRD) ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น CuKα จากรูปที่ 1 ก-ค แสดงโครงสร้างความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส พบว่ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์พีคที่ตำแหน่ง 2θ แสดงถึงระนาบ (002) (100) และ (004) ตามลำดับ มีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal ส่วนไทเทเนียมไดออกไซด์แสดงตำแหน่งที่เกิดผลึก 2θ แสดงถึงระนาบ (101) (103) (004) (112) (200) (105) (211) (204) (116) และ (220) ตามลำดับ โดยที่ตำแหน่งที่เกิดผลึก 2θ ดังกล่าวแสดงถึงผลึกอนาเทสของไททาเนียมไดออกไซด์ มีโครงสร้างผลึกแบบ tetragonal [15-17]

จากรูปที่ 2 ก-ค เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะสังเกตได้ว่าวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 1:1 มีพีคความเป็นผลึกอนาเทสของไทเทเนียมสูงที่สุด รองมาคือ 1:2 และ 2:1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นว่าการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสนั้น มีพีคการเกิดผลึกอนาเทสสูงที่สุดเมื่อเทียบในอัตราส่วนเดียวกัน จึงบอกได้ว่าเกิดผลึกอนาเทสของไททาเนียมได้มากที่สุดและที่อุณหภูมิเผาประมาณช่วง 600 -650 องศาเซลเซียส จะเริ่มมีการเปลี่ยนเฟสของไททาเนียมจากอนาเทสเป็นรูไทล์บางส่วนที่ระนาบผลึก (200) ตามภาพขยายในรูปที่ 2 ก-ค



รูปที่ 2 ก-ค แสดงโครงสร้างความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์หลังจากการเผาอัตราส่วน 1:1 1:2 และ 2:1 ตามลำดับ

การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

วิเคราะห์อุณหภูมิในการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์โดยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermo gravimetric analyzer: TGA)

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละการสลายหายไปของน้ำหนักมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์

อัตราส่วน	อุณหภูมิในการเผา (°C)			
MWCNTs/TiO_2	500	550	600	650
1:1 (50:50)	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
	42.73	39.41	35.05	21.47
1:2 (30:70)	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
	25.28	16.47	15.92	7.16
2:1 (70:30)	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
	60.99	57.34	47.20	43.03

ตารางที่ 1 ทำให้ทราบว่าทุกอุณหภูมิในการเผามีแนวโน้มของการสลายหายไปของน้ำหนักมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่อัตราส่วน 2:1 มีการสลายของน้ำหนักมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์มากที่สุด รองมาคือ อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณร้อยละของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ใส่ลงไปตอนเริ่มสังเคราะห์ทำให้ทราบว่ามัลติวอลล์คาร์บอนนา-โนทิวบ์นั้นไม่ได้สลายหายไปหมดโดยสามารถดูได้จากตารางที่ 2

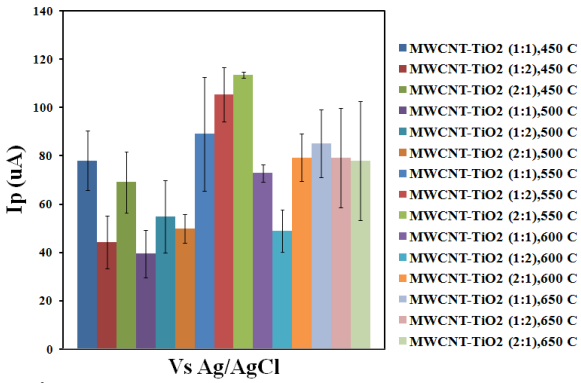
จากตารางที่ 2 เป็นการยืนยันให้เห็นว่ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ยึดเกาะกับไททาเนียมไดออกไซด์ ไม่ใช่แค่ซ้อนทับกันและมีการยึดเกาะที่แน่นพอสมควร โดยอัตราส่วนที่มีการยึดเกาะกันของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์กับไททาเนียมไดออกไซด์มากที่สุดคือ อัตราส่วน 1:2 รองมาคือ 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของปริมาณมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่เหลืออยู่ในวัสดุเชิงประกอบ

อัตราส่วน	อุณหภูมิในการเผา (°C)			
MWCNT/ TiO_2	500	550	600	650
1:1 (50:50)	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
	7.27	10.59	14.95	28.53
1:2 (30:70)	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
	4.72	13.53	14.08	22.84
2:1 (70:30)	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
	9.01	12.66	27.80	26.97

การทดสอบสมบัติเชิงเคมีไฟฟ้า

วิเคราะห์คุณภาพการนำไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ ขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์และขั้วไฟฟ้าเปล่าโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry: CV)

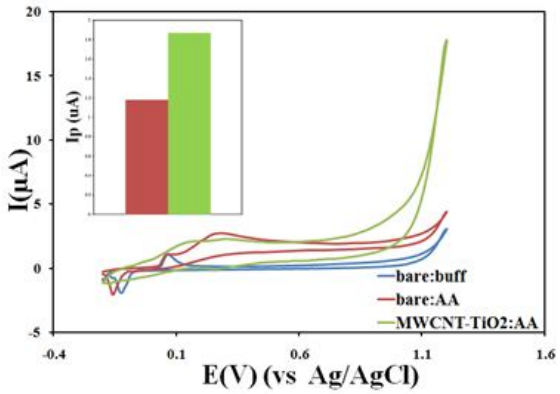


รูปที่ 3 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 2:1 ที่อุณหภูมิในการเผาต่างๆ กับขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์และขั้วไฟฟ้าเปล่า

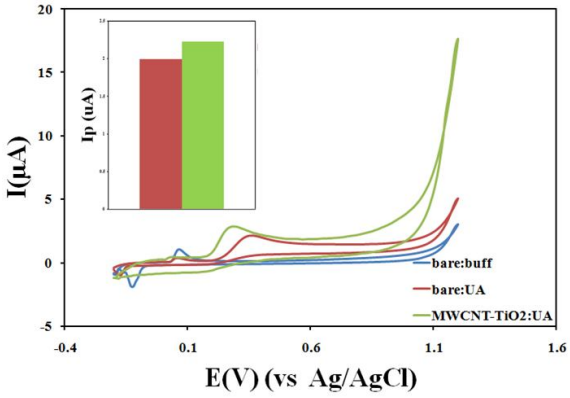
จากรูปที่ 3 ทำให้ทราบว่าการนำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสสามารถนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดและมีความเสถียรภาพที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าอื่น การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้า ณ จุดสูงสุดของขั้วไฟฟ้าของ

ขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 2:1 ที่อุณหภูมิในการเผาต่างๆกับขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์และขั้วไฟฟ้าเปล่าจะเห็นได้ว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าที่อัตราส่วน/อุณหภูมิอื่นๆ และนอกจากนี้อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสยังมีค่าความคลาดเคลื่อนในการทำปฏิกิริยาต่ำกว่าขั้วอื่นๆ หรือก็คือมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการนำไฟฟ้า

การวัดประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกของขั้วไฟฟ้า



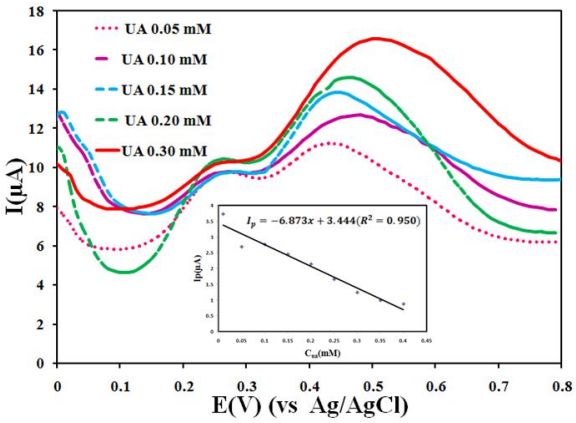
รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดแอสคอร์บิกของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์และขั้วไฟฟ้าเปล่าโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรีที่ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 – 1.25 โวลต์ สแกนเรท 0.1 โวลต์/วินาที วัดในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเปรียบเทียบกับฟอสเฟตบัฟแฟอร์ซารีน



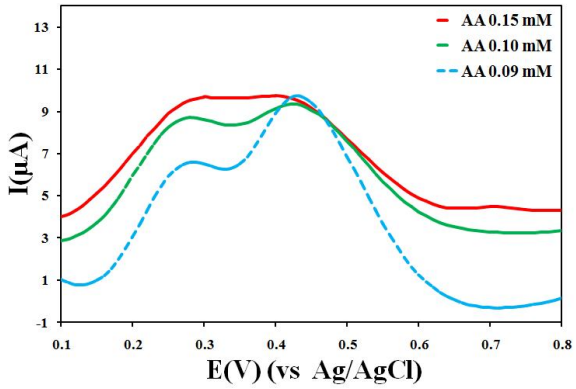
รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริกของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์และขั้วไฟฟ้าเปล่าโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรีที่ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 – 1.25 โวลต์ สแกนเรท 0.1 โวลต์/วินาที วัดในสารละลายกรดยูริกบิกเปรียบเทียบกับฟอสเฟตบัฟแฟอร์ซารีน

จากรูปที่ 4-5 เป็นการวัดประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกเปรียบเทียบระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์และขั้วไฟฟ้าเปล่าโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry: CV) โดยจะสังเกตได้ว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์มีการตอบสนองต่อกรดแอสคอร์บิกและกรดยูริกที่ชัดเจน โดยปกติจะมีการรบกวนของการออกซิไดซ์ที่เกิดจากขั้วไฟช่วยซิลเวอร์ซิลเวอร์คลอไรด์ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน สังเกตได้จากขั้วไฟฟ้าเปล่าที่ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซารีนเป็นตัวกลางสำหรับการแลกเปลี่ยนอิเล็คตรอนจะมีพีคของการออกซิไดซ์ของขั้วไฟฟ้าช่วยแต่ขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถลดการรบกวนการออกซิไดซ์ได้

การวัดประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิกของขั้วไฟฟ้า

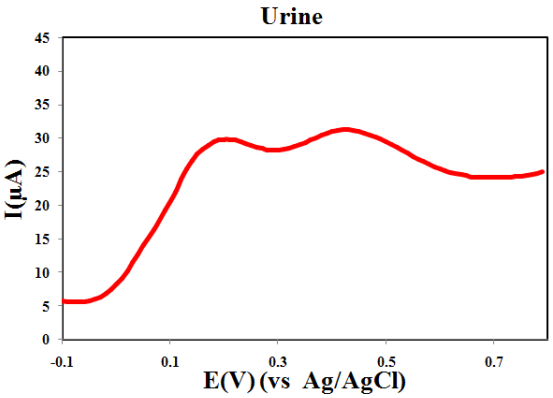


รูปที่ 6 กราฟแสดงการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสต่อกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิก ซึ่งกรดแอสคอร์บิกมีความเข้มข้นคงที่ 0.1 มิลลิโมลลาและของกรดยูริกที่ความเข้มข้นต่างๆกันโดยเทคนิคสแควร์เวฟโวลแทมเมตรีที่ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 – 0.8 โวลต์ ความถี่ 10 เฮิร์ต



รูปที่ 7 กราฟแสดงการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสต่อกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิก ซึ่งกรดยูริกมีความเข้มข้นคงที่ 0.1 มิลลิโมลลาและของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆกันโดยเทคนิคสแควร์เวฟโวลแทมเมตรีที่ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 – 0.8 โวลต์ ความถี่ 10 เฮิร์ต

จากรูปที่ 6-7 เป็นการวัดประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดแอสคอร์บิกผสมกับกรดยูริกในสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยจะเห็นได้ว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส สามารถตอบสนองต่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกได้ดีและค่าความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในช่วง 50-150 ไมโครโมลลาร์ไม่ส่งผลกระทบต่อการหาค่าความเข้มข้นของกรดยูริก โดยปกติแล้วในปัสสาวะจะมีค่าความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกประมาณ 100 ไมโครโมลลาร์และขั้วไฟฟ้าสามารถหาค่าความเข้มข้นของกรดยูริกได้ดีในช่วง 300-10 ไมโครโมลลาร์ ซึ่งเพียงพอต่อการตรวจคัดกรองหาผู้ป่วยโรคเก๊าท์ได้จริงตามปริมาณส่วนเกินของกรดยูริกและแอสคอร์บิกที่ตรวจสอบได้ในปัสสาวะ



รูปที่ 8 กราฟแสดงการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสต่อกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิกในปัสสาวะตัวอย่างโดยเทคนิคสแควร์เวฟโวลแทมเมตรีที่ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.1 – 0.8 โวลต์ ความถี่ 10 เฮิร์ต

จากรูปที่ 8 เป็นการวัดประสิทธิภาพการใช้งานจริงของขั้วไฟฟ้าที่ผ่านการปรับปรุงแล้วด้วยสารเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่อัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาซลเซียส ที่ตอบสนองต่อกรดแอสคอร์บิกและกรดยูริกในปัสสาวะจริงจากโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ จากภาพจะเห็นได้ว่าขั้วไฟฟ้าที่ผ่านการปรับปรุงแล้วสามารถแยกพีคของกรดแอสคอร์บิกและกรดยูริก โดยที่ค่า

ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกไม่ส่งผลกระทบต่อการหาค่าความเข้มข้นของกรดยูริก รวมไปถึงNa^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, SO_4^{2-},PO_4^{2-},Zn^{2+},HCO_3^{-}, กลูโคลส, ฟรัสโตส, ซูโคลส, แลคโตส, คริสเตอีน, เอพิ-เนฟรีน, อะเซตามิโนเฟน, เซโรโทนิน, ทริปโตเฟน และไทโรซีน ที่เป็นองค์ประกอบของปัสสาวะก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของขั้วไฟฟ้า [19]

5. การอภิปรายผล

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ก่อนเผาโดยเตรียมด้วยวิธีการโซลเจลตามอัตราส่วน 1:1, 2:1 และ1:2 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องที่กำลังขยาย 200 และ 100 นาโนเมตรจะเห็นว่าอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์รวมกลุ่มกันบนมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ แสดงว่าการสังเคราะห์สารเชิงประกอบโดยวิธีโซลเจลมีแนวโน้มไปในแนวทางที่ดี

การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์แสดงโครงสร้างความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส พบว่ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์มีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal ส่วนไททาเนียมไดออกไซด์แสดงถึงผลึกอนาเทสของไททาเนียมไดออกไซด์ มีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal และอัตราส่วน 1:1 มีพีคความเป็นผลึกอนาเทสของไททาเนียมสูงที่สุด รองมาคือ 1:2 และ 2:1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นว่าการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสนั้น มีพีคการเกิดผลึกอนาเทสสูงที่สุดเมื่อเทียบในอัตราส่วนเดียวกัน และที่อุณหภูมิเผา 600 และ 650 องศาเซลเซียส จะเริ่มมีการเปลี่ยนเฟสของไททาเนียมจากอนาเทสเป็นรูไทล์บางส่วนในการทดลองการตอบสนองต่อกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์อาจให้ผลที่ต่างกัน เช่น การวิเคราะห์ให้เส้นกราฟที่ไม่เหมือนเดิม เนื่องจากการหนีบขั้ววงจรกับขั้วไฟฟ้าที่พิมพ์สกรีนไม่ดี ทำให้ขั้วไฟฟ้าช็อตและเกิดความเสียหาย จึงไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้โดยตรง จึงต้องมีการทดลองซ้ำหลายครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหาเป็นค่าเฉลี่ยของชุดค่าการทดลองนั้น

การวิเคราะห์อุณหภูมิในการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์วิเคราะห์อุณหภูมิในการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์โดยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนเป็นการศึกษาการทนความร้อนของวัสดุเชิงประกอบต่ออุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 900 องศาเซลเซียส โดยจะมีการสลายหายไปของน้ำหนักของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ ซึ่งเริ่มมีการสลายไปของมวลในช่วงอุณหภูมิประมาณ 600-750 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส สังเกตว่ากราฟคงที่ แสดงให้เห็นว่ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์สลายหายไปอย่างสมบูรณ์และคงเหลือน้ำหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลงของวัสดุที่สามารถทนอุณหภูมิช่วงนี้ได้ ซึ่งในส่วนของน้ำหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลงบ่งบอกถึงปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์และบางส่วนของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ยึดเกาะอยู่กับไททาเนียมไดออกไซด์

การวัดประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิกของขั้วไฟฟ้าเป็นการวัดประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริก กรดแอสคอร์บิกและกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิกเปรียบเทียบระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์และขั้วไฟฟ้าเปล่าโดยเทคนิคสแควร์เวฟโวลแทมเมตรีจะสังเกตได้ว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์สามารถแยกพีคของกรดยูริกผสมกับแอสคอร์บิกได้เล็กน้อยเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าเปล่าที่ไม่สามารถแยกพีคของกรดยูริกผสมกับกรดแอสคอร์บิกได้เลยและขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงโดยวัสดุเชิงประกอบมีการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าขั้วไฟฟ้าเปล่ามาก สามารถตอบสนองต่อความเข้มข้นของ

กรดแอสคอร์บิกได้ดีและค่าความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในช่วง 50-150 ไมโครโมลลาร์ไม่ส่งผลกระทบต่อการหาค่าความเข้มข้นของกรดยูริก ขั้วไฟฟ้าสามารถหาค่าความเข้มข้นของกรดยูริกได้ดีในช่วง 300-50 ไมโครโมลลาร์

6. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์/ไททาเนียมไดออกไซด์ ในที่นี้ทำให้รู้ว่าการมีคาร์บอนมากกว่ามีแนวโน้มไปในแนวทางที่ดีจึงควรทำการศึกษาอัตราส่วนอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวและควรศึกษาการเปรียบเทียบเทคนิควิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าอื่นเพิ่มเติมเช่น เทคนิคแอมเปอร์โรเมตรี และเทคนิคสดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลแทมเมตรี เป็นต้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตอบสนองต่อกรดยูริกและกรดแอสคอร์บิกดังกล่าว

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยประเภททุนบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท สัญญาเลขที่ บท.วช. 14/2561 ทุนวิจัยเพื่อพัฒนาสิ่งประดิษฐ์จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สัญญาทุนเลขที่ สป. 8/2560ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำงานวิจัยและขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] นิตยา พันธุเวทย์ และคณะ, สำนักโรคไม่ติดต่อ, 2557. ที่มา: http://www.thaincd.com/infor-mation-statistic/non-communicabledisease-data.php.

[2] ดร.ปัทมา ว่าพัฒนวงศ์, โครงสร้างประชากรและการเปลี่ยนแปลงสุขภาพคนไทย, 2555. ที่มา: http://www.hiso.or.th/hiso5/report/download.php.

[3] กุลธิดา ลิ้มเจริญวิริยกุล, “บทความมุมสุขภาพ/คู่มือเพื่อคุณภาพชีวิต” ปีที่ 12 ฉบับที่ 13, มกราคม, 2559. ที่มา: www.kongkit.su.ac.th.

[4] Liu, H., C. Gu, C. Hou, Z. Yin, K. Fan and M. Zhang, “Plasma-assisted synthesis of carbon fibers/ZnO core-shell hybrids on carbon fiber templates for detection of ascorbic acid and uric acid”, Sensors and Actuators, 2016, pp.857-862.

[5] Xiang-Qin Lin, Guan-Ping Jin, “Monolayer modification of glassy carbon electrode by using propionylcholine for selective detection of uric acid”, Electrochimica Acta**,** 2005, pp.3210–3216.

[6] Po-Yen Chen, Po-Chin Nien, Chih-Wei Hu, Kuo-Chuan Ho, “Detection of uric acid based on multi-walled carbon nanotubes polymerized with a layer of molecularly imprinted PMAA”, Sensors and Actuators B: Chemical, 2010, pp.466–471.

[7] Aihua Liu, Itaru Honma, and Haoshen Zhou, “Simultaneous voltammetric detection of dopamine and uric acid at their physiological level in the presence of ascorbic acid using poly (acrylic acid)-multiwalled carbon-nanotube composite-covered glassy-carbon electrode”, Biosensors and Bioelectronics, 2007, pp.74–80.

[8] Chia-Liang Sun, Hsin-Hsien Lee, Jen-Ming Yang, and Ching-Chou Wu, “The simultaneous electrochemical detection of ascorbic acid, dopamine, and uric acid using graphene/size-selected Ptnanocomposites”, Biosensors and Bio-electronics, 2011, pp.3450–3455.

[9] Jyh-Myng Zen, Jia-Jen Jou and Govindasamy Ilangovan, “Selective voltammetric method for uric acid detection using pre-anodized

Nafion-coated glassy carbon electrodes", Analyst, vol. 123, 1998, pp.1345–135.

[10] Jyh-Myng Zen and Ping-Jyh Chen, "A Selective Voltammetric Method for Uric Acid and Dopamine Detection Using Clay-Modified Electrodes", Anal. Chem, 1997, pp.5087-5093.

[11] Fabio Martinon, Virginie Pe´trilli, Annick Mayor, AubryTardivel, and Ju¨rg Tschopp, "Gout-associated uric acid crystals activate the NALP3 inflammasome", Nature, vol. 440, 2006.

[12] Jian-Shan Ye, Ying Wen, Wei De Zhang, Leong Ming Gan, Guo Qin Xu, Fwu-Shan Sheu, "Selective Voltammetric Detection of Uric Acid in the Presence of Ascorbic Acid at Well-Aligned Carbon Nanotube Electrode", Electroanalysis, vol.15, no.21, 2003.

[13] Protiva Rani Roy, Takeyoshi Okajima, Takeo Ohsaka, "Simultaneous electrochemical detection of uric acid and ascorbic acid at a poly (N,N-dimethylaniline) film-coated GC electrode", Journal of Electroanalytical Chemistry, 2004, pp.75–82.

[14] Mayo clinic staff, 2011. gout. http://www.mayoclinic.org.

[15] Li, Z., B. Gao, G.Z. Chen, R. Mokaya, S. Sotiropoulos and G.L. Puma, "Carbon nano tube/titanium dioxide (CNT/TiO_2) core-shell nanocomposites with tailored shell thinck ness, CNT content and photocatalytic photo-electrocatalytic properties", Applied Catalysis B: Environ-mental, vol.110, 2011, pp.50-57.

[16] Gao, B., C. Peng, G.Z. Chen and G.L. Puma, "Photo-electro-catalysis enhancement on carbon nanotubes. titanium dioxide (CNTs/TiO_2) composite prepared by a novel surfactant wrapping sol-gel method", Applied Catalysis B: Environmental, vol.85,2008, pp.17-23.

[17] Gao, B., G.Z. Chen and G.L. Puma, "Carbon nanotubes/ titaniumdioxide (CNTs/ TiO_2) Nanocomposites prepared by conventional and novel surfactant wrapping sol-gel methods exhibiting enhanced photocatalytic activity", Applied Catalysis B: Environmental, vol.89, 2009, pp.503-509.

[18] Nontapol A., Pranee R., Orawon Ch., Nadnudda R., "Talanta", 2017, pp.692–701.

[19] Hou, C., H. Liu, D. Zhang, C. Yang and M. Zhang, "Synthesis of ZnO nanorods-Au Nanoparticles hybrids via in-situ plasma sputtering-assisted method for simultaneous electrochemical sensing of ascorbic acid and uric acid", Journal of Alloys and Compounds, 2016, pp.178-184.