

การสังเคราะห์ทองแดง (I) ออกไซด์ทรงกลมกลวงขนาดไมโครเมตร

Synthesis of Micrometer Copper (I) Oxide Hollow Sphere

กานดา ว่องไวลิจิต * และ ณิชชา ศรีภูมิวัฒน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

E-mail : kanda@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

สารประกอบทองแดงออกไซด์ มีบทบาทในอุตสาหกรรมหลายกลุ่ม โดยใช้เป็นสารกระตุ้นในปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งข้อดีคือเป็นสารราคาถูก แต่มีศักยภาพสูง ปัจจุบันมีการพัฒนาการสังเคราะห์ทองแดงออกไซด์ให้มีรูปร่างทรงกลมกลวง เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของการเกิดปฏิกิริยา น้ำหนักเบา ตลอดจนสมบัติการเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้สารอื่นเป็นเทมเพลตด้านในก่อนชะล้างออก ใช้อุณหภูมิสูง ทำให้การผลิตมีหลายขั้นตอน และต้นทุนสูง งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการสังเคราะห์ทองแดงออกไซด์ที่ใช้กระบวนการอย่างง่ายที่อุณหภูมิต่ำเพียง 40 °C ใช้สารละลายทองแดงซัลเฟตเป็นสารตั้งต้น ใช้ลดแรงดึงผิวเป็นสารตัวกลาง และใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารรีดิวซ์ ผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายผสมเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อรูปร่างของทองแดงออกไซด์ โดยสามารถสังเคราะห์ทองแดงออกไซด์ทรงกลมกลวงได้ที่ค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7 โดยผลึกมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 600-1500 นาโนเมตร

คำสำคัญ: ทองแดงออกไซด์ ทรงกลมกลวง

Abstract

Copper oxide played important roles in many industrial approaches due to its low cost and high potential. In recent years, much effort has been devoted to synthesize the hollow sphere of inorganic copper oxide to increase the surface area with light weight as well as cage cover properties. However, most studies relied on the template core or high temperature which required many steps and high production cost. This work aimed to study the new method for the synthesis of the copper oxide hollow sphere using simple procedures. Copper (II) sulfate and ascorbic acid were used as the starting and reducing agents, respectively. The reaction was conducted without rigid templates at a controlled temperature of about 40 °C. The results showed that the pH of the reaction was an important factor for the determination of the structure of the products. Synthesis of the copper (I) oxide hollow sphere was successful at pH 7 with the diameter of 600 – 1500 nm.

Keywords: copper oxide , hollow sphere

1. บทนำ

สารประกอบทองแดงออกไซด์ เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญต่อทางด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นสารกระตุ้นที่ศักยภาพสูงในอุตสาหกรรมการผลิตสารแอโรแมติก (Huang et al., 2008) ใช้เคลือบเซรามิกให้เป็นสีแดง (Perry Chem, online) ผลิตหมึกสีแดงที่นำไฟฟ้าได้ (John et al., 2011) โดยมีข้อดีคือราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับสารอื่น ปัจจุบันจึงมีความพยายามเพิ่มศักยภาพของสารในหลาย ๆ วิธี ได้แก่ การผลิตสารทองแดงออกไซด์ขนาดระดับนาโน (Dung-Dang et al., 2011) ซึ่งปัจจุบันมีการขายในท้องตลาดทางอินเทอร์เน็ตแล้ว (ACS Material, online) (Applied Nanotech Holdings, Inc, online) (Sky Spring Nanomaterials, Inc., online) รวมทั้งพยายามสังเคราะห์ทองแดงออกไซด์ที่เป็นทรงกลมกลวง (Xu et al., 2008) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและประยุกต์ใช้งานได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีการผลิตยุ่งยาก หลายขั้นตอน หรือใช้อุณหภูมิสูงเช่นสังเคราะห์ที่ 90 °C (Siu et al., 2009) หรือ 95-150 °C (Cao et al., 2010) เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการศึกษาการสังเคราะห์ทองแดงออกไซด์รูปทรงกลมกลวง โดยใช้สารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุเป็นตัวกลางควบคุมรูปร่างของผลึก ทำศึกษาผลของ pH สารละลายตั้งต้นต่อรูปร่างผลึก สารลดแรงดึงผิวในการทดลองนี้จะใช้สารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือสารโนนิลเฟนิลเอทอกซีเลท ที่จำนวนหมู่ของเอทิลีนออกไซด์เท่ากับ 9 (Nonyl Phenyl ethoxylates (n=9)) ใช้สัญลักษณ์ย่อเป็น NP9

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ทองแดงซัลเฟตและกรดแอสคอร์บิก ใช้เกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) ของบริษัท J.T. Baker Chemicals เอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute Ethanol) เข้มข้นร้อยละ 99.8 ของ Mallinckrodt Chemical สารลดแรงดึงผิว Nonyl Phenyl ethoxylates (n=9) สั่งซื้อจากบริษัท Aldrich Chemicals

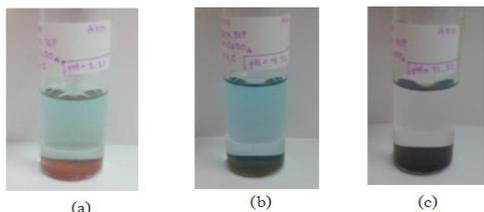
3.2 วิธีการทดลอง

ผสมสารละลายทองแดงซัลเฟต เข้มข้น 0.5 M ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลาย NP9 เข้มข้น 57 มิลลิโมลลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปรับ pH ให้เป็น 3.7 และ 11 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นเติมกรดแอสคอร์บิก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 125 ไมโครลิตร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา แล้วกรองตะกอนที่ได้ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วตรวจขนาดและรูปร่างและโครงสร้างของผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6301-F ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) จ.ปทุมธานี เครื่องเอเนอร์จิสเปกโทรสโกปี สเปกโตรสโกปี (Energy dispersion spectroscopy ; EDS) และเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรสโกปี (X-ray diffraction spectroscopy ; XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS โมเดล D8 Advance) โดยวัดที่ $\text{CuK}\alpha$ เท่ากับ 40 kV กระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมแปร์และความยาวคลื่นรังสี 1.54056 แองสตรอม

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

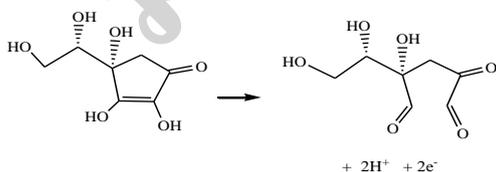
รูปที่ 1 แสดงการทดลองในหลอดทดลองและตะกอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมื่อใช้ CuSO_4 และกรดแอสคอร์บิก เข้มข้น 0.0449 และ 0.0112 โมลาร์ ตามลำดับ โดย NP 9 เข้มข้น 51.4310 มิลลิโมลาร์ ปรับค่า pH เป็น 3, 7 และ 11 ตามลำดับ

จากรูปที่ 1 พบว่าการสังเคราะห์ที่ pH 3 (รูปที่ 1(a)) เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงอิฐ และสารละลายสีสีฟ้าอมเขียว การทดลองที่ pH 7 (รูปที่ 1 (b)) และที่ pH 11 (รูปที่ 1 (c)) ได้ตะกอนสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 1 แสดงรูปหลอดทดลองที่ pH ต่าง ๆ
(a) pH 3 (b) pH 7 (c) pH 11

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เป็นปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายทองแดง (II) ไอออน ที่มีโอกาสเกิดได้ทั้งสองแบบได้แก่ $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0(\text{s})$ หรือ $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+(\text{aq})$ โดยกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ ดังสมการในรูปที่ 2 (ชลดา ขอดมูลกี, ออนไลน์)



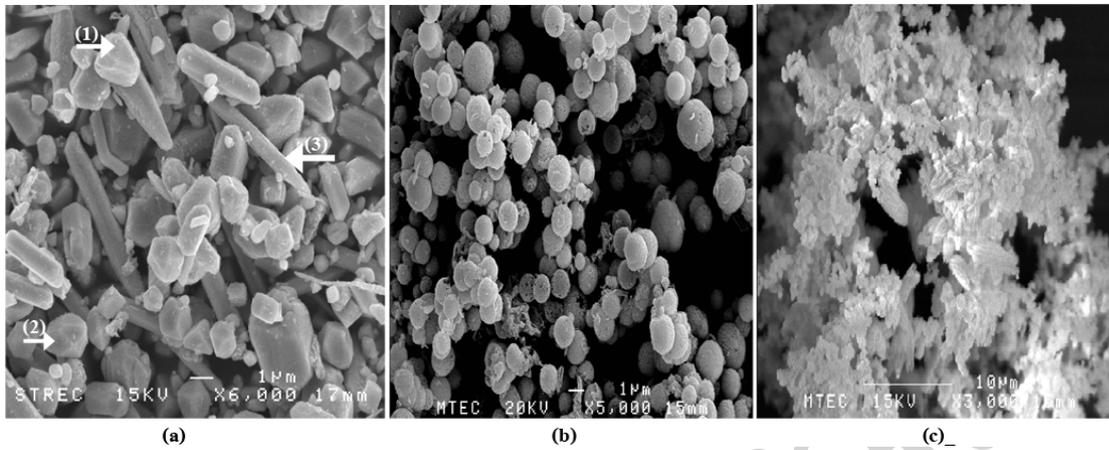
รูปที่ 2 สมการปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก

4.1 ผลของ pH ของสารละลายต่อรูปร่างของผลึก

ถ่ายภาพ SEM ของผลิตภัณฑ์ที่ pH ต่าง ๆ ที่กำลังขยายช่วง 3,000 – 6,000 เท่า แสดงดังรูปที่ 3

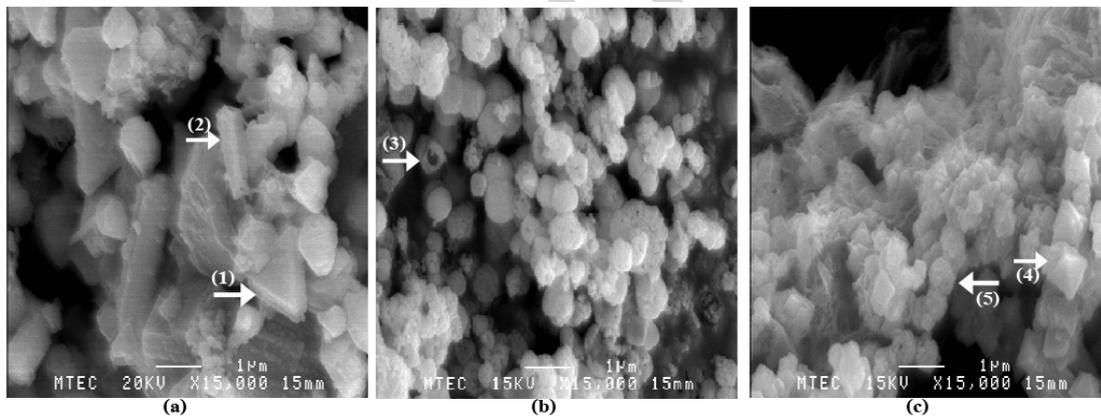
จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ที่ pH 3 ได้ผลึกที่รูปทรงที่เป็นเรขาคณิตหลายแบบปะปนกัน ทั้งที่มีความสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ของผลึก รูปทรงที่ปรากฏได้แก่ แบบก้อนหนาทรงสามเหลี่ยมแท่ง (ลูกศร 1) และเป็นโคเดกอะฮีดรอล (ลูกศร 2) และรูปแท่ง (ลูกศร 3) เมื่อสังเคราะห์ที่ pH 7 พบว่าผลึกที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมมีพื้นผิวที่มีรูพรุน และน่าจะเป็นทรงกลมกลวงขนาดประมาณ 1 ไมโครเมตร สำหรับที่ pH 11 ได้ผลึกที่รูปทรงไม่แน่นอน เกาะกันอย่างหลวม ๆ ดังนั้นจึงสรุปได้อย่างชัดเจนว่า pH ของสารละลายมีผลอย่างมากต่อรูปร่างของผลึกที่ได้

รูปที่ 4 เป็นภาพถ่าย SEM ของการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล กำลังขยาย 15,000 เท่า ซึ่งแสดงผลการทดลองที่ชัดเจนของรูปร่างผลึก โดยที่ภาวะกรด จะได้ผลึกมีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิตหลายแบบ ทั้งสามเหลี่ยมหนา (ลูกศร 1) แท่ง (ลูกศร 2) สำหรับการสังเคราะห์ที่ pH 7 ผลึกเป็นทรงกลมกลวง บางผลึกเป็นการเกาะกันอย่างหลวม ๆ ลักษณะเกือบเป็นทรงกลม บางผลึกเห็นการเป็นรูกลวงที่ชัดเจน (ลูกศร 3) สำหรับที่ pH 11 พบว่าได้ผลึกที่เป็นออกตะฮีดรอล (ลูกศร 4) ปะปนกับทรงกลมกลวง (ลูกศร 5) จะเห็นว่า pH ของสารละลายมีผลต่อรูปร่างของผลึกที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน โดยรูปร่างของผลึกที่น่าสนใจได้แก่ผลึกทรงกลมกลวง เพราะเป็นการสังเคราะห์ที่ใช้ปฏิกิริยาเพียงขั้นตอนเดียว อุณหภูมิต่ำ และไม่ต้องใช้โลหะอื่นเป็นแกนเทมเพลท ที่ทำให้ต้องเพิ่มขั้นตอนการสกัดเทมเพลทออกภายหลัง (Molteni et al., 2006) ซึ่งยุ่งยากในการปฏิบัติ ต้องใช้สารเคมีเพิ่มขึ้น



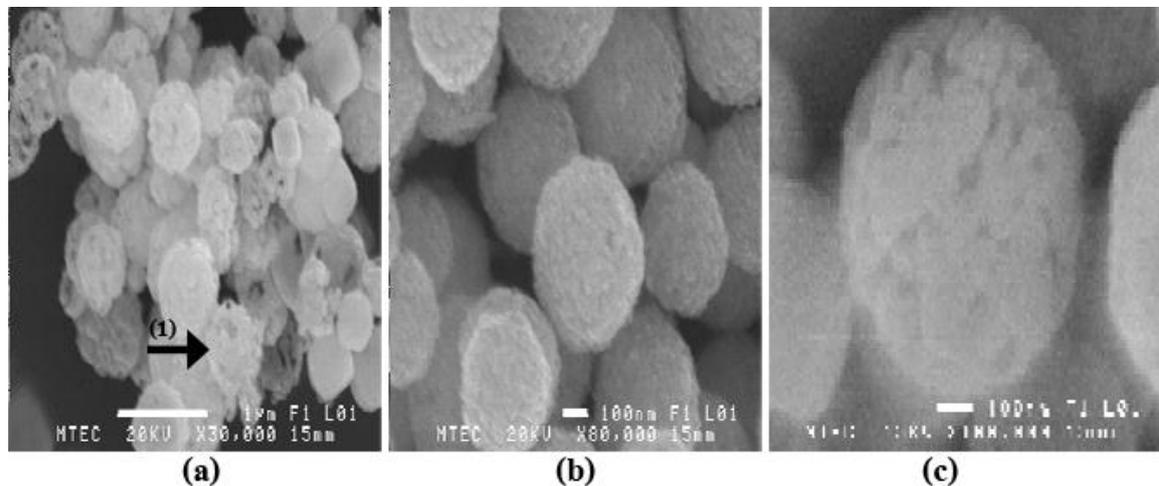
รูปที่ 3 ภาพแสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาและขนาดของผลึกทองแดง เมื่อใช้ NP9 เป็นตัวกลาง

- (a) สัณเคราะห์ที่ pH 3 กำลังขยาย 6000 เท่า
- (b) สัณเคราะห์ที่ pH 7 กำลังขยาย 5000 เท่า
- (c) สัณเคราะห์ที่ pH 11 กำลังขยาย 3000 เท่า



รูปที่ 4 ภาพแสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาและขนาดของผลึกทองแดง เมื่อใช้ NP9 เป็นตัวกลาง

- (a) สัณเคราะห์ที่ pH 3 กำลังขยาย 15000 เท่า
- (b) สัณเคราะห์ที่ pH 7 กำลังขยาย 15000 เท่า
- (c) สัณเคราะห์ที่ pH 11 กำลังขยาย 15000 เท่า



รูปที่ 5 แสดงภาพขยาย SEM ของผลึกที่สังเคราะห์ที่ pH 7

(a) กำลังขยาย 30,000 เท่า

(b) กำลังขยาย 80,000 เท่า

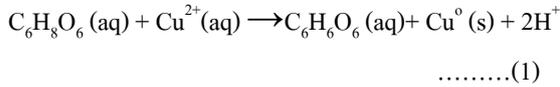
(c) กำลังขยาย 100,000 เท่า

รูปที่ 5 แสดงภาพกำลังขยายสูงของ SEM ของผลึกที่สังเคราะห์ที่ pH 7 จากการทำการทดลองซ้ำ โดยแสดงถ่ายภาพที่กำลังขยาย 30,000, 80,000 และ 100,000 ตามลำดับ รูปที่ 5 (a) แสดงการพ่นของผลึกทรงกลมกลวงอย่างชัดเจน (ลูกศร 1) โดยผลึกมีขนาดประมาณ 600 – 1,500 นาโนเมตร รูปที่ 5 (b) แสดงผลึกที่เป็นทรงกลมที่สมบูรณ์ซึ่งสามารถเห็นผลึกขนาดนาโนเล็ก ๆ ก่อตัวต่อเนื่องเป็นทรงกลมกลวง รูปที่ 5 (c) แสดงภาพ SEM กำลังขยายสูง 1 แสนเท่า ซึ่งแสดงผลึกเล็ก ๆ ที่เกาะตัวกันเป็นผิวของทรงกลมอย่างชัดเจน จากภาพของผลึกทำให้อนุมานได้ว่า ปฏิกริยาเกิดขึ้นจากตำแหน่งที่ผิวด้านนอกของเทมเพลตทรงกลม (ซึ่งในที่นี่คือสารลดแรงตึงผิว NP9 ที่ก่อตัวเป็นไมเซลล์) หลาย ๆ ตำแหน่งในช่วงเวลาเดียวกัน ผลึกเติบโตจากแต่ละจุด

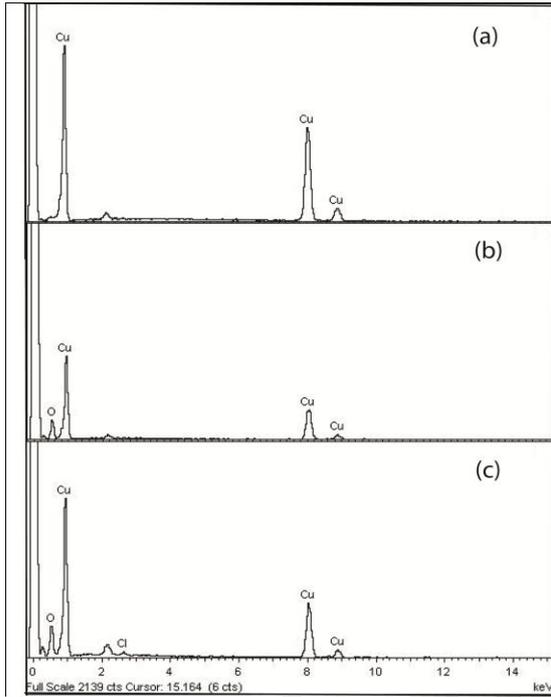
ในช่วงเวลาเดียวกัน ได้เป็นผลึกก้อนเล็ก ๆ ขนาดนาโน ซึ่งยึดกันต่อเนื่องรอบทรงกลม อนึ่งบทความนี้จะเสนอกลไกการเกิดทรงกลมกลวงของผลึกที่สังเคราะห์ในขั้นตอนการอภิปรายผล

4.2 ผลการศึกษาด้วย EDS

รูปที่ 6 แสดงผลปริมาณธาตุในสารประกอบของการสังเคราะห์ที่ pH 3 7 และ 11 ตามลำดับ โดยรูปที่ 6 (a) แสดงพิกของสารที่สังเคราะห์ได้จาก pH 3 และเนื่องจากพบการดูดกลืนแสงธาตุทองแดงเท่านั้นจึงสามารถสรุปว่า ผลึกที่ได้เป็นโลหะทองแดงบริสุทธิ์ อธิบายว่าการปรับ pH เป็น 3 นั้น ทำโดยการเติมกรดซัลฟิวริกและไม่มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้การสังเคราะห์ได้เป็นทองแดงบริสุทธิ์ เพราะไม่มีอนุมูลไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) มาทำปฏิกิริยาร่วมสามารถเขียนแสดงสมการที่เกิดขึ้นได้ดัง (1)



ออกไซด์ (คิวปริสออกไซด์) หรือ ทองแดง (II) ออกไซด์ (คิวปริกออกไซด์) ซึ่งจะทำให้การพิสูจน์ชนิดของประกอบโดยใช้เครื่อง XRD และอภิปรายผลในขั้นตอนต่อไป

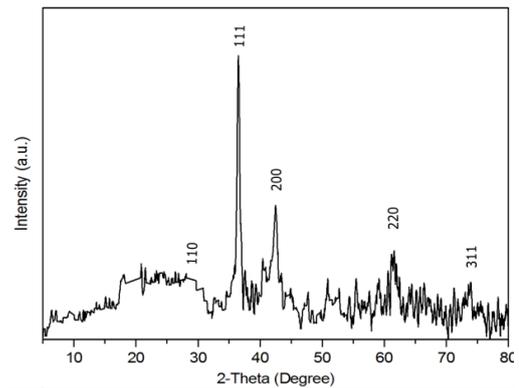


รูปที่ 6 แสดงสเปกตรัม EDS ของผลึกที่สังเคราะห์ที่ (a) pH 3 (b) pH 7 (c) pH 11

สำหรับสเปกตรัม EDS ของสารที่สังเคราะห์ได้จาก pH 7 และ 11 แสดงในรูปที่ 6 (b) และ 6 (c) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า มีการดูดกลืนสเปกตรัมของธาตุออกซิเจน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลึกจะเป็นสารประกอบทองแดงออกไซด์ อธิบายได้ว่า เนื่องจากการปรับ pH 7 และ 11 นั้น ต้องเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้มีอนุมูลไฮดรอกไซด์ไอออน ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับทองแดงไอออนได้ผลิตภัณฑ์เป็นออกไซด์ของทองแดง ซึ่งมีโอกาสเป็นออกไซด์ได้ 2 แบบได้แก่สารประกอบทองแดง (I)

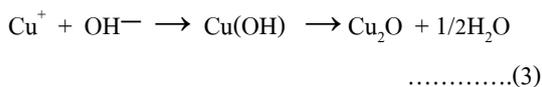
4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของผลึกด้วย XRD

เนื่องจากงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างเป็นทรงกลมกลวง การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลึกที่สังเคราะห์ได้ จึงตรวจสอบสารที่สังเคราะห์ที่ pH 7 ด้วยเครื่อง XRD แสดงผลได้ดังรูปที่ 7 จะเห็นว่า มีสเปกตรัมซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงระนาบของผลึกที่ 110, 111, 200, 220 และ 311 ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสารประกอบทองแดง (I) ออกไซด์ โดยอ้างอิงข้อมูลของ The Royal Society of Chemistry 2011 (Supplementary Material (ESI), online) และงานวิจัยของ He และคณะ ฯ (He et al., 2005) จึงพิสูจน์ได้ว่าสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ที่ pH 7 เป็นสารประกอบทองแดง (I) ออกไซด์ (copper (I) oxide) ที่มีสูตรโมเลกุลเป็น Cu₂O



รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ XRD ของทองแดงออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่ pH 7 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ทองแดง (I) ออกไซด์

สามารถเขียนปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนในสภาวะที่มีไฮดรอกไซด์ไอออน ได้ดังสมการ (2) และ (3) (He, P. et al., 2005)



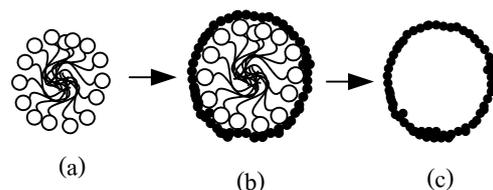
5. การอภิปรายผล

สารลดแรงตึงผิว NP9 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีบทบาทสำคัญ ต่อการควบคุมรูปร่างของผลึกทองแดงออกไซด์ โดยขึ้นกับค่า pH ของการสังเคราะห์โดยที่สภาวะกรด (ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนสูง) ผลึกที่ได้เป็นผลึกของโลหะทองแดงบริสุทธิ์ แต่ที่สภาวะที่เป็นกลางและเบส ผลึกที่เกิดเป็นออกไซด์ของทองแดง เนื่องจากการเติมอนุมูลไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับทองแดงไอออน ได้เป็นสารประกอบทองแดงออกไซด์

โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของสารจะมีหลายหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารตัวกลาง อุณหภูมิ อัตราการกวน ฯลฯ สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากควบคุมปัจจัยอื่นให้คงที่ แต่ปรับเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายโดยการเติมกรดหรือเบส และเนื่องจากทองแดงเป็นสารที่สามารถเกิดออกไซด์ได้ จึงทำให้ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่แตกต่างกัน กล่าวคือที่ pH 3 เนื่องจากผลึกที่ได้จึงเป็นทองแดงบริสุทธิ์และการเติบโตของผลึกที่เป็นโลหะบริสุทธิ์ จะมีพื้นฐานเป็นรูปทรงเรขาคณิตของผลึกโลหะ (Xia et al., 2009) สำหรับผลึกสารประกอบออกไซด์ของโลหะทองแดงที่ได้จากการสังเคราะห์ที่

pH 7 และ 11 จะมีโครงสร้างที่เป็นสารประกอบที่ต่อเนื่องด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมทองแดงและออกซิเจนเป็นร่างแห จึงมีโอกาสสังเคราะห์ให้มีรูปทรงได้แตกต่างจากโลหะบริสุทธิ์ (Dinh et al., 2012)

งานวิจัยนี้เสนอกลไกของการสังเคราะห์สารทองแดง (I) ออกไซด์ทรงกลมกลวง ที่ใช้ NP9 เป็นสารควบคุมรูปร่างแสดงดังรูป 8 โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Lou และ คณะ (Lou et al., 2008) ขั้นตอนแรกสารลดแรงตึงผิวก่อตัวเป็นไมเซลล์ (micelle) ในสารละลาย (รูปที่ 8 (a)) ซึ่งด้านนอกของไมเซลล์เป็นด้านมีหัวของ NP9 ซึ่งจะเป็นตำแหน่งจำเพาะ (site) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ทองแดงออกไซด์ทรงกลมของไมเซลล์ (รูปที่ 8 (b)) หลังจากการล้าง NP9 ออกด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล จะได้ทองแดงออกไซด์ทรงกลมกลวง (รูปที่ 8 (c)) อนึ่งการล้าง NP9 จะใช้น้ำกลั่นแช่ผลึกทิ้งค้างคืน เพื่อค่อย ๆ ละลาย NP9 ผ่านรูพรุนของผิวผลึกและดูดสารละลายที่ชะล้าง NP9 ออกซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ล้างผลึกสุดท้ายด้วยเอทานอลบริสุทธิ์



รูปที่ 8 แสดงภาพจำลองขั้นตอนการสังเคราะห์ทองแดงออกไซด์ทรงกลมกลวงโดยใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวกลางควบคุมรูปร่าง

มีข้อสังเกตว่าที่ pH 7 และ 11 ทำให้ได้รูปทรงของสารประกอบออกไซด์ของทองแดงที่แตกต่างกัน โดยที่ pH 7 เกิดเป็นรูปทรงกลมกลวงที่สมบูรณ์กว่าที่ pH 11 ที่เกิดสารประกอบรูปทรงเป็นออกตะฮีดรอล

ปะปนกัน การเปลี่ยนแปลงนี้น่าจะเป็นผลจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนที่แตกต่างกันระหว่างสภาวะที่เป็นกลางและเป็นเบส โดยที่ pH 7 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนต่ำเนื่องจากการสะเทินระหว่างไอออนทั้งสอง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ส่วนหัวของไมเซลล์และก่อตัวเป็นแผ่นเล็ก ๆ ขนาดนาโนประกอบกันเป็นทรงกลมดังที่กล่าวมาแล้ว สำหรับที่ pH 11 ซึ่งมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนมากขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (Wang et al., 2002) จึงเกิดการสร้างพันธะต่อเนื่องของทองแดงออกไซด์อย่างรวดเร็ว ไม่สามารถควบคุมการเกิดเฉพาะที่ตำแหน่งของ NP9 ได้เท่านั้น การเจริญของผลึกอย่างรวดเร็วในแนวต่าง ๆ ทำให้มีโอกาสเกิดเป็นการผสมของโครงสร้างของสารมากกว่า 1 รูปร่าง อย่างไรก็ตามสมมติฐานนี้ยังสมควรที่ต้องมีการศึกษาเชิงลึกเพิ่มขึ้นเพื่อให้เข้าใจบทบาทของไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่ชัดเจนขึ้น

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้สามารถสังเคราะห์สารทองแดง (I) ออกไซด์ได้โดยกระบวนการทางเคมีที่ใช้สารละลายทองแดงซัลเฟตและกรดแอสคอร์บิกเป็นสารตั้งต้น และใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โนนิลเฟนิลเอทอกซิเลทที่มีหมู่เอทิลีนออกไซด์เท่ากับ 9 เป็นสารตัวกลางควบคุมรูปร่าง โดยการสังเคราะห์ใช้กระบวนการอย่างง่าย และควบคุม pH เท่ากับ 7 และใช้อุณหภูมิต่ำเพียง 40 °C และเนื่องจากเป็นสารสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธีที่สะดวก และน่าจะสามารถนำไปประยุกต์ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามควรต้องศึกษาผลของปัจจัยอื่นเพิ่มเติม ได้แก่ อุณหภูมิ จำนวนหมู่เอทิลีนออกไซด์หรือจำนวนคาร์บอนในสารลดแรงตึงผิวต่อไป

เพื่อให้สามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรมได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปีงบประมาณ 2555

8. เอกสารอ้างอิง

- ชลดา ยอดมูลกี. วิตามินซี (ออนไลน์). สืบค้นจาก:
http://cs.payap.ac.th/research/vitamin_c.pdf
 (21 มีนาคม 2555)
 ACS Material (online). Available : <http://www.acs-material.com/product.asp?CID=40&ID=43>.
 (2011, October 11)
 Applied Nanotech Holdings, Inc. (online). Available : http://www.appliednanotech.net/tech/np_cu.php. (2011, December 25)
 Cao, Y., Fan, J., Bai, L., Yuan, F., and Chen, Y. (2010). Morphology Evolution of Cu₂O from Octahedral to Hollow Structures. *Cryst. Growth Design*. 10: 232-236.
 Cuprous Oxide by Perry Chem. (online). Available : <http://perrychem.in/products.html>. (2011, December 25)
 Dinh, C.T., Nguyen, T. D., Kleitz, F., Do, T. (2012). Shape-controlled Synthesis of Metal Oxide Nanocrystals. in Liu Ru-Shi (Eds.), *Controlled Nanofabrications: Advances and Applications* (1st ed.) Singapore: Pan Stanford Publisher.

- Dung-Dang, T, Thu-Le, T., Fribourg-Blanc, E., and Chien-Dang, M. (2011). Synthesis and Optical Properties of Copper Nanoparticles Prepared by a Chemical Reduction Method. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* (online). Available: http://iopscience.iop.org/2043-6262/2/1/015009/pdf/2043-6262_2_1015009.pdf. (2011, September 14)
- He, P., Shen, X, Gao, H. (2005). Size-Controlled Preparation of Cu₂O Octahedron Nanocrystals and Studies on Their Optical Absorption. *J. Colloid Interface Sci.* 284: 510–515.
- Huang, Y., Miao, H., Zhang, Q., Chen, C., Xu, J. (2008). Cu₂O: a Simple and Efficient Reusable Catalyst for N-arylation of Nitrogen-containing Heterocycles with Aryl Halides. *Catalysis Letters.* 122: 344-348.
- John, L., Huaman, C., Sato, K., Kurita, S., Matsumoto, T., and Jeyadevan, B. (2011). Copper nanoparticles synthesized by hydroxyl ion assisted alcohol reduction for conducting ink. *J. Mater. Chem.* 21: 7062-7069.
- Lou, X., Archer, L.A., and Yang, Z. (2008). Hollow Micro-/Nanostructures: Synthesis and Applications. *Adv. Mater.* 20: 3987-4019.
- Molteni, G., Bianchi, C.L., Marinoni, G., Santo, N., and Ponti, A. (2006). Cu/Cu-Oxide Nanoparticles as Catalyst in the "Click" Azide-Alkyne Cycloaddition, *New J. Chem.*, in press (online). Available : <http://www.ism.cnr.it/~ponti/NJC06.html> (2011, April 20)
- Sky Spring Nanomaterials, Inc. (online). Available : http://ssnano.com/inc/sdetail/copper_nanoparticles/633. (2011, December 25).
- Siu, Y., Zhang, Y., Fu, W., Yang, H., Zhao, Q., Sun, P., Ma, D., Yuan, M., Li, Y., and Zou, G. (2009). Low Temperature Template-Free Synthesis of Cu₂O Hollow Spheres. *J. Cryst. Growth.* 311: 2285-2290.
- The Royal Society of Chemistry. (2011). Supplementary Material (ESI) for Journal of Materials Chemistry . (online). Available: <http://www.rsc.org/suppdata/jm/c0/c0jm03535a/c0jm03535a.pdf>. (2011, September 14)
- Xia, Y., Xiong, Y., Lim, B., Skrabalak, S. E. (2009). Shape-Controlled Synthesis of Metal Nanocrystals: Simple Chemistry Meets Complex Physics. *Angew. Chem. Int. Ed.* 48: 60-103.
- Xu, H., Wang, W., and Zhou, L. (2008). A Growth Model of Single Crystalline Hollow Spheres: Oriented Attachment of Cu₂O Nanoparticles to the Single Crystalline Shell Wall. *Cryst. Growth Des.* 8 (10): 3486–3489.
- Wang, D.; Yu, D.; Mo, M.; Liu, X.; Qian, Y. J. (2003). Seed-Mediated Growth Approach to Shape-Controlled Synthesis of Cu₂O particles. *Colloid Interf. Sci.* 261: 565-568.