

การเตรียมรีเอเจนต์ CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ จากอะไหล่รถยนต์ใช้แล้วและของเสียจากห้องปฏิบัติการ Preparation of CuSO_4 and $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ Reagents from the Used Spare Parts and Laboratory Wastes

สรารวุฒิ สมนาม* และมิกิ กันณะ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Sarawut Somnam* and Miki Kanna

Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University,

Chang Phuak, Muang, Chiang Mai 50300

บทคัดย่อ

ในงานนี้เป็นการเสนอแนวคิดสำหรับห้องปฏิบัติการทั่วไปในการลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสารเคมี รวมถึงการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยการแยกโลหะทองแดงออกจากของเสียเพื่อเตรียมเป็นสารเคมี ด้วยขั้นตอนที่ง่ายและประหยัด ของเสีย 2 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยอะไหล่ใช้แล้ว เช่น ไตสตาร์ท ไดชาร์จ และของเสียจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบถูกนำมาใช้ในงานนี้ ทองแดงที่อยู่ในอะไหล่เก่าจะถูกแกะออกนำมาทำความสะอาดและตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ สำหรับของเสียจากห้องปฏิบัติการจะถูกนำมาแยกโลหะทองแดงด้วยเทคนิคซีเมนเตชันโดยใช้โลหะสังกะสีเป็นตัวรีดิวซ์ จากนั้นนำโลหะทองแดงที่ได้มาทำปฏิกิริยากับ 30 % H_2O_2 และ conc. H_2SO_4 ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้ศึกษาคือ $\text{Cu} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$ เท่ากับ 3:10:3 (g:mL:mL) ในขณะที่ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ถูกเตรียมได้จากปฏิกิริยาของทองแดงกับ conc. HNO_3 ที่อัตราส่วน $\text{Cu} : \text{HNO}_3$ เท่ากับ 1:5 กระบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นที่สภาวะปกติโดยปราศจากการใช้เครื่องมือราคาแพงและซับซ้อน ผลึกทั้ง 2 ชนิด จะเกิดขึ้นในเวลาเพียง 2-3 วัน ร้อยละผลผลิตที่ได้ของ CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ คือ 38.8 และ 64.7 % ตามลำดับ จากการนำสารเหล่านี้ไปใช้เป็นรีเอเจนต์ในการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสารเหล่านี้กับสารที่มีจำหน่ายทั่วไป

คำสำคัญ : อะไหล่ใช้แล้ว; ของเสียจากห้องปฏิบัติการ; คอปเปอร์(II)ซัลเฟต; คอปเปอร์(II)ไนเตรต

Abstract

In this work, we propose the idea for general laboratory to diminish the budget of chemical supplying and to decrease the contamination of heavy metals into environments by recovering

*ผู้รับผิดชอบบทความ : sarawut_som@cmru.ac.th

the copper from wastes in order to transform into chemicals with economical and simple procedure. Two categories of wastes, used spare parts like starter motor and alternator, and laboratory wastes which contained copper, were employed. Copper wire inside spare parts was demounted, cleaned and cut into small pieces. For laboratory wastes, metallic copper was recovered via the cementation process, using zinc as the reductant. Next, the obtained copper reacted to 30 % H_2O_2 and conc. H_2SO_4 with the studied suitable ratio of $\text{Cu} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$ at 3:10:3 (g:mL:mL), while $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ was prepared from the reaction of copper and conc. HNO_3 at the ratio of 1:5. All processes were done at the ambient without any complicate and expensive apparatus. Both crystals occurred in a few days. Percent yields of CuSO_4 and $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ were 38.8 and 64.7 %, respectively. From the application of these chemicals as the reagent in both qualitative and quantitative analysis, the results are not different in using these experimented chemicals and the commercial available ones.

Keywords: used spare parts; laboratory wastes; CuSO_4 ; $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

1. บทนำ

ปัญหามลพิษที่เกิดจากของเสียที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของประเทศไทยและส่งผลถึงคุณภาพชีวิตของประชากร เศรษฐกิจ และสังคม ซึ่งแหล่งกำเนิดของเสียที่มีโลหะหนักดังกล่าวมีที่มาจากหลายแหล่ง เช่น ภาครัฐเรือน อุตสาหกรรม การเกษตร รวมถึงการเรียนการสอนและงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์

อนึ่ง การเรียนการสอนทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะสาขาวิชาเคมีที่จำเป็นต้องเรียนทฤษฎีควบคู่กับการทดลอง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่ามีค่าใช้จ่ายสูงโดยปัจจัยหนึ่งมาจากราคาของสารเคมีที่สูงและมักต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการเตรียมรีเอเจนต์ขึ้นใช้เองจากของเสียที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ โดยเน้นใช้กระบวนการที่ง่าย ใช้อุปกรณ์ธรรมดาที่ไม่ยุ่งยาก และประหยัดเพื่อให้สามารถทำได้ในระดับห้องปฏิบัติการทั่วไปที่มีงบประมาณไม่มากนัก และยังได้รีเอเจนต์ที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อให้เป็น

แนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสารเคมี อีกทั้งยังเป็นการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เพื่อช่วยลดการปนเปื้อนของโลหะหนักลงสู่สิ่งแวดล้อมได้แทนที่จะบำบัดโลหะหนักเหล่านี้แล้วนำไปฝังกลบหรือทำให้อยู่ในสภาพที่ถูกตรึงให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

ในงานวิจัยนี้สนใจการเตรียมรีเอเจนต์ CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ จากโลหะทองแดงที่แยกได้จากของเสียเนื่องจากรีเอเจนต์ทั้ง 2 ชนิด มักถูกใช้มากในการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีของสถาบันการศึกษาต่าง ๆ และยังสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมรีเอเจนต์ชนิดอื่นที่เป็นสารประกอบของทองแดงต่อไปได้ นอกจากนี้รีเอเจนต์ดังกล่าวยังมีราคาค่อนข้างสูง ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (500g, AR grade) และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (500g, AR grade) ราคาประมาณ 400-500 บาท และ 1,500-2,500 บาท ตามลำดับ) อีกทั้งโลหะทองแดงยังจัดเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยของเสียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มี 2 ประเภท คือ สารละลายเหลือทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีที่มีโลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบ และลวด

ทองแดงในอะไหล่การถยนต์ที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว

มีรายงานวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงการแยกโลหะทองแดงออกจากของเสียประเภทต่าง ๆ ด้วยวิธีการที่หลากหลาย ตัวอย่าง เช่น การชะล้าง (leaching) [1,2] การตกตะกอน (precipitation) [3, 4] การแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) [5,6] การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) [7,8] การแยกด้วยกระแสไฟฟ้า (electrowinning) [9,10] การทำซีเมนต์ชัน (cementation) [11,12] ซึ่งในงานนี้ได้เลือกใช้เทคนิคซีเมนต์ชัน สำหรับการแยกโลหะทองแดงออกจากสารละลายเหลือทิ้งจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการทั่วไป เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย ใช้อุปกรณ์ธรรมดาให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนัก อีกทั้งโลหะที่แยกได้ยังมีความบริสุทธิ์สูง [13] โดยจะใช้แผ่นสังกะสีเป็นตัวรีดิวซ์จุ่มลงในสารละลายที่มีคอปเปอร์(II)ไอออนเพื่อแยกโลหะทองแดงออกมา จากนั้นจึงนำโลหะทองแดงที่ได้ไปทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเตรียมเป็น CuSO_4 และ $\text{Cu(NO}_3)_2$ ปฏิกริยาดังสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาทุกรายการเป็นเกรด AR (analytical reagent) มีดังนี้ คือ กรดไนตริก (HNO_3 , RCI Labscan, Australia) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4 , RCI Labscan, Australia) คอปเปอร์(II)ไนเตรต ($\text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, QReC, New Zealand) คอปเปอร์(II)ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, UNIVAR, Australia) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 % (H_2O_2 ,

Merck, Germany) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, UNIVAR, Australia) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , Merck, Germany) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 , UNIVAR, Australia) โซเดียมซิติเรต ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, UNIVAR, Australia) โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Ajax Finechem, Australia) ไกลซีน ($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$, Merck, Germany) ดีกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, Fisher, USA) ดี-ฟรุคโตส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, Fisher, USA) น้ำตาลทราย ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, Fisher, USA) แป้ง ($(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, Merck, Germany) และโพลิน-ไซโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu's reagent, Merck, Germany)

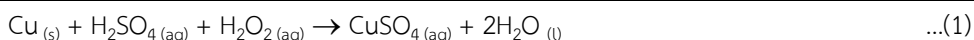
น้ำปราศจากไอออน (Milipore, Mili-Q & Elix 10) ใช้ในการเตรียมสารละลายทั้งหมดตลอดการทดลอง

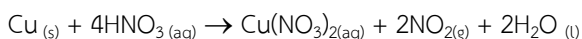
2.2 วัสดุและเครื่องมือ

แผ่นสังกะสี (zinc metal strip) ลวดทองแดง (copper wire) เครื่องวัดจุดเดือดจุดหลอมเหลว (B-540, BUCHI, Switzerland) เครื่องกวนและให้ความร้อนสารละลาย (Hotplate & stirrer, JENWAY 1203, UK) ตู้อบสาร (Oven252D, DA-968, China) และเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer, Shimadzu, Japan)

2.3 การเตรียมตัวอย่างทองแดง

2.3.1 ลวดทองแดงในอะไหล่การถยนต์ โดยลวดทองแดงถูกแกะออกจากอะไหล่การรถยนต์ คือ ไดสตาร์ทและไดชาร์จ ขัดด้วยกระดาษทราย และทำความสะอาด เช็ดให้แห้ง หลังจากนั้นตัดลวดทองแดงให้ได้ความยาว 0.5 cm ดังรูปที่ 1





...(2)



รูปที่ 1 ลวดทองแดงในอะไหล่การถยนต์ถูกตัดให้มีขนาด 0.5 cm

2.3.2 การสกัดทองแดงจากสารละลายเหลือทิ้งจากห้องปฏิบัติการ โดยรวบรวมสารละลายเหลือทิ้งที่มีธาตุทองแดงเป็นองค์ประกอบจากห้องปฏิบัติการเคมีของสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ซึ่งได้จากการเรียนการสอนและงานวิจัย โดยได้คัดแยกชนิดของสารละลายเอาไว้ ซึ่งประกอบด้วยไดเอมีน คอปเปอร์(II)ไอออน ($[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$) คอปเปอร์(II)ไนเตรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) คอปเปอร์(II)ซัลเฟต (CuSO_4) และคอปเปอร์(II)คลอไรด์ (CuCl_2) สารละลายเหล่านี้ได้ถูกนำมาสกัดแยกโลหะทองแดงด้วยเทคนิคซีเมนต์ชันโดยจุ่มลวดสังกะสี พบว่ามีโลหะทองแดงเกิดขึ้น กรองตะกอนทองแดงด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) นำตะกอนที่ได้วางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของโลหะทองแดงที่ได้

2.4 การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟตและคอปเปอร์(II)ไนเตรต

2.4.1 การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟต, CuSO_4

(1) เตรียมจากลวดทองแดงในอะไหล่การถยนต์ โดยผสม 30 % H_2O_2 กับ H_2SO_4 เข้มข้น 98 % จากนั้นเติมลวดทองแดง ในอัตราส่วน $\text{Cu}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{SO}_4$ (g:mL:mL) ดังนี้ 6:10:6, 6:20:6, 6:30:6 และ 6:40:6 จะได้สารละลาย CuSO_4 นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 นำไประเหยให้เหลือ 1 ใน 2 ของสารละลายที่ได้ ทิ้งไว้ให้ตกผลึก 2-3 วัน จะเกิดเป็นผลึกของ CuSO_4 ขึ้น

(2) เตรียมจากทองแดงที่สกัดแยกได้จากสารละลายเหลือทิ้ง เนื่องจากตะกอนทองแดงที่แยกได้ อยู่ในรูปของโลหะทองแดงบริสุทธิ์ปะปนกับโลหะทองแดงในรูปของคอปเปอร์(II)ออกไซด์ จึงต้องเปลี่ยนทองแดงทั้งหมดให้อยู่ในรูปของออกไซด์โดยการเติม H_2O_2 ลงไปแล้วจึงนำไปเตรียมเป็น CuSO_4 โดยนำ 30 % H_2O_2 ผสมกับ H_2SO_4 เข้มข้น 98 % จากนั้นเติมโลหะทองแดงที่สกัดได้ ในอัตราส่วน $\text{Cu}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{SO}_4$ (g:mL:mL) ดังนี้ 6:10:6, 6:20:6, 6:30:6 และ 6:40:6 จะได้สารละลาย CuSO_4 นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นนำไประเหยให้เหลือ 1 ใน 2 ของสารละลายที่ได้ ทิ้งไว้ให้ตกผลึก 2-3 วัน จะเกิดผลึกของ CuSO_4 ขึ้น

2.4.2 การเตรียมคอปเปอร์(II)ไนเตรต, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

(1) เตรียมจากลวดทองแดงในอะไหล่การถยนต์ โดยนำลวดทองแดงที่ตัดแล้วใส่ลงในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65 % ปริมาณ 100 mL อย่างช้า ๆ พร้อมทั้งคนสารละลาย เติมลวดทองแดงไปจนกระทั่งสารละลายอิ่มตัว (ทองแดงไม่ละลายเพิ่มเติม) จะได้สารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นนำไประเหยให้เหลือ 1 ใน 2 ของสารละลายที่ได้ ทิ้งไว้ให้ตกผลึก 2-3 วัน จะเกิดเป็นผลึกของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ขึ้น

(2) เตรียมจากทองแดงที่สกัดแยกได้จากสารละลายเหลือทิ้ง โดยนำโลหะทองแดงที่สกัดได้จากข้อ 2.3.2 เติมนลงในกรดไนตริกเข้มข้น 65 % ปริมาตร 100 mL จากนั้นทำการทดลองทำนองเดียวกับข้อ (1)

2.4.3 รายละเอียดทั่วไปของผลึกที่เตรียมได้

(1) การหาปริมาณทองแดงในผลึกที่เตรียมได้ ในขั้นตอนนี้ใช้การไทเทรตด้วยไอโอดีนแบบไอโอโดเมทรีในการหาปริมาณทองแดง ดังกรณีของ CuSO_4 ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ (3) และ (4)

โดยซึ่ง CuSO_4 ที่เตรียมได้จำนวน 0.3XXX g ละลายในน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 250 mL ในขวดปรับปริมาตร จากนั้นปิเปตต์สารละลายลงในขวดรูปชมพู่ 3 ใบ ใบละ 50.0 mL เติมน้ำ KI 0.1 g จะเกิดสีน้ำตาลเข้มของ I_2 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไทเทรตกับ 0.05 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนสีน้ำตาลจางลงเล็กน้อย หยดน้ำแบ่งลงไป 2-3 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงินและไทเทรตต่อกับ 0.05 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไทเทรตจนครบทั้ง 3 ใบ คำนวณหาร้อยละปริมาณทองแดงที่มีในผลึกโดยเฉลี่ย (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) [14]

สำหรับการหาปริมาณทองแดงในผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ทำในทำนองเดียวกันกับการหาปริมาณทองแดงในผลึก CuSO_4

(2) การหาร้อยละโดยมวลของน้ำในผลึกที่เตรียมได้ เนื่องจากผลึกทั้ง 2 ชนิด ที่เตรียมได้ มีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ในเนื้อผลึก ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำโดยเริ่มจากการอบแห้ง (crucible) ที่

100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักจากนั้นใส่ผลึก CuSO_4 ลงในเบ้าประมาณ 1.00XX g ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผลึกและเข้ารวมกัน นำผลึกไปอบที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทั้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาส่วนต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบของผลึก พร้อมทั้งคำนวณหาร้อยละโดยมวลของน้ำในผลึกต่อไปสำหรับกรณี $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ทำในทำนองเดียวกัน

2.4.4 การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟตและคอปเปอร์(II)ไนเตรดสำหรับวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

จากผลึกทั้งสองชนิดที่เตรียมได้ ได้นำไปใช้เตรียมเป็นรีเอเจนต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์กับตัวอย่างทั้งการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยเปรียบเทียบผลกับการใช้รีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป

(1) การนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยนำ CuSO_4 ที่เตรียมได้มาใช้ในการทดลองเรื่องโมเลกุลชีวภาพซึ่งเป็นหัวข้อหนึ่งของรายวิชาเคมีพื้นฐานและเคมี 2 ของสาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ [15] โดยใช้ในการเตรียมสารสำหรับการทดสอบเบนเนดิกต์ (Benedict test) และการทดสอบไบยูเรต (Biuret test) ขั้นตอนในการทดลองแสดงดังนี้คือ

(1.1) การทดสอบเบนเนดิกต์ โดยเตรียมสารละลายเบนเนดิกต์โดยละลาย CuSO_4 ที่เตรียมได้ 1.73 g ในน้ำกลั่น 15 mL จากนั้นเติมน้ำลงไปอย่างช้า ๆ ในสารละลายที่มีโซเดียมซิติเรต ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 17.3 g และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 10 g ในน้ำกลั่น 80 g จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ได้ 100 mL ผสมให้เข้ากัน



นำหลอดทดลองมา 4 หลอด เขียนหมายเลข 1-4 กำกับ เติมน้ำกลั่น สารละลายกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และน้ำแป้ง ลงในหลอดทดลองทั้ง 4 หลอดละ 2 mL ตามลำดับ เติมสารละลายเบเนดิกต์ ลงไป 3 mL ทุกหลอด เขย่าให้เข้ากันจากนั้นนำหลอดทดลองลงไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที สังเกตผลที่เกิดขึ้นและบันทึกผล

(1.2) การทดสอบไบยูเรต โดยนำหลอดทดลองมา 3 หลอด เขียนหมายเลข 1-3 กำกับ เติมน้ำกลั่น สารละลายไกลซีน และสารละลายไข่ขาว หลอดละ 1 mL ตามลำดับ จากนั้นเติม 10 % NaOH ลงไปทุกหลอด หลอดละ 2 mL เขย่าให้เข้ากันและเติม 0.5 % CuSO_4 ลงไปทุกหลอดหลอดละ 5 หยด เขย่าหลอดและสังเกตสีที่เกิดขึ้น

(2) การนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยนำ CuSO_4 และ $\text{Cu(NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้มาใช้เป็นรีเอเจนต์สำหรับการหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่างจริงด้วยวิธีลาวรี-โฟลิน (Lowry-Folin method) ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 nm และใช้สารละลายโบวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin, BSA) เป็นสารละลายมาตรฐาน เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 40-200 mgL^{-1} โดยเปรียบเทียบผลกับการใช้รีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ปริมาณทองแดงที่สกัดได้จากสารละลายเหลือทิ้งจากห้องปฏิบัติการ

ทองแดงที่สกัดแยกได้จากสารละลายเหลือทิ้งมีลักษณะเป็นโลหะทองแดงผสมอยู่กับสารประกอบ CuO ซึ่งมีสีดำ ได้ปริมาณดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าร้อยละของปริมาณทองแดงที่แยกได้จากสารละลายเหลือทิ้งแต่ละประเภท

มีค่าที่ไม่เป็นสัดส่วนแน่นอนกับปริมาตรตั้งต้นซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของสารประกอบทองแดงในสารเหลือทิ้งที่รวบรวมได้ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณหรือความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง ทองแดงที่แยกได้ทั้งหมดถูกนำมารวมกันเพื่อนำไปใช้เตรียม CuSO_4 และ $\text{Cu(NO}_3)_2$ ต่อไป

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดแยกได้จากสารละลายเหลือทิ้ง

สารละลายเหลือทิ้ง	ปริมาตรตั้งต้น (mL)	ปริมาณโลหะทองแดงที่แยกได้ (g)
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$	500	3.80
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	900	14.35
CuSO_4	400	2.70
CuCl_2	100	5.74

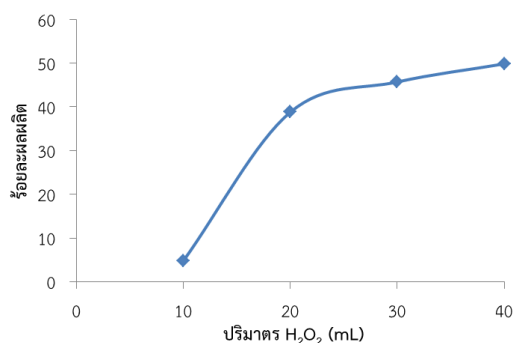
3.2 การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟตและคอปเปอร์(II)ไนเตรด

3.2.1 การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟต

(1) การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟตจากหลอดทองแดงในอะไหล่เก่ารถยนต์ จากการทดลองพบว่าโลหะทองแดงไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับ conc. H_2SO_4 (98 %) ได้โดยตรงที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนทองแดงให้เป็น CuO โดยใช้ 30 % H_2O_2 จึงได้ทำการศึกษาผลของ H_2O_2 ที่มีต่อการเกิด CuSO_4 โดยในการทดลองใช้อัตราส่วน Cu : H_2O_2 : H_2SO_4 เท่ากับ 6:10:6, 6:20:6, 6:30:6 และ 6:40:6 ตามลำดับ พบว่าได้ผลของปริมาตร H_2O_2 ที่มีการเตรียม CuSO_4 ดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 จะได้อัตราผลผลิต (% yield) มากขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลผลิต จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงมากตั้งแต่อัตราส่วน 6:20:6 ซึ่งมีร้อยละผลผลิต

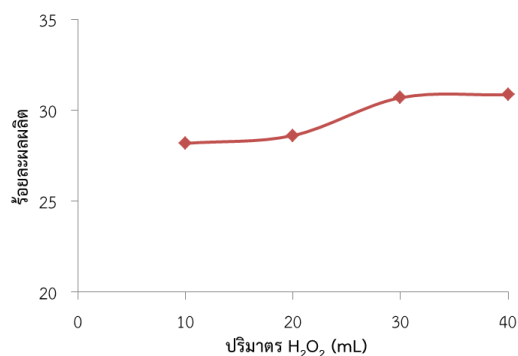
เท่ากับ 38.8 % ในขณะที่อัตราส่วน 6:30:6 และ 6:40:6 ให้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 45.7 และ 49.9 % ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วน 6:20:6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์รีเอเจนต์ CuSO_4 เพราะใช้ H_2O_2 ไม่มากนักแต่ให้ร้อยละผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นที่ใช้ H_2O_2 มาก แต่ให้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าไม่มากนัก



รูปที่ 2 ผลของปริมาตร H_2O_2 ที่มีต่อร้อยละผลผลิตจากหลอดแดงในอะไหล่การถยนต์

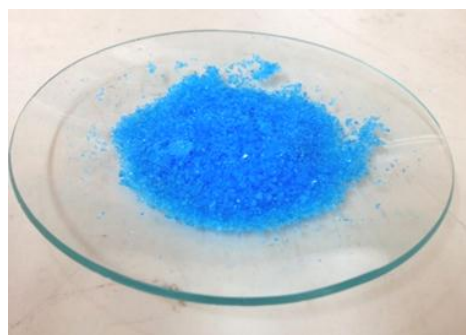
(2) การเตรียมคอปเปอร์(II)ซัลเฟตจากสารละลายเหลือทิ้ง ในการทดลองใช้อัตราส่วน $\text{Cu} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$ ดังนี้คือ 6:10:6, 6:20:6, 6:30:6 และ 6:40:6 ผลการเตรียมรีเอเจนต์ CuSO_4 จากธาตุทองแดงที่สกัดแยกได้จากสารละลาย CuSO_4 เหลือทิ้งเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างกราฟได้ผลดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 พบว่าร้อยละผลผลิตของธาตุทองแดงที่สกัดแยกได้ เมื่อใช้อัตราส่วน $\text{Cu} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$ คือ 6:10:6, 6:20:6, 6:30:6 และ 6:40:6 เท่ากับ 28.19, 28.63, 30.70 และ 30.86 ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ทองแดงสามารถละลายได้มากขึ้น ร้อยละผลผลิตที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นอัตราส่วน 6:20:6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์รีเอเจนต์ CuSO_4 เพราะใช้ปริมาณ H_2O_2 น้อยกว่าอัตราส่วนอื่น



รูปที่ 3 ผลของปริมาตร H_2O_2 ที่มีต่อร้อยละผลผลิตในการสกัดแยกธาตุทองแดงจากสารละลายเหลือทิ้ง

(3) การหาความบริสุทธิ์ของผลึก CuSO_4 ที่เตรียมได้ ลักษณะของ CuSO_4 ที่เตรียมได้ มีลักษณะเป็นผลึก สีฟ้า ไม่มีกลิ่น ดังรูปที่ 4 ซึ่งเหมือนกับ CuSO_4 ที่มีจำหน่ายทางการค้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ลักษณะของ (ก) CuSO_4 ทางการค้า (UNIVAR) และ (ข) CuSO_4 ที่เตรียมได้

(3.1) การหาร้อยละโดยมวลของทองแดงในผลึก CuSO_4 ที่เตรียมได้ ปริมาณทองแดงในผลึกสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเตรียมรีเอเจนต์สำหรับในการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงได้ต่อไป เช่น นำมาคำนวณเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานคอป

เปอร์(II)ไอออน การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุทองแดงในผลึกซึ่งเตรียมได้จากลวดทองแดงในอะไหล่การรถยนต์และธาตุทองแดงที่สกัดแยกได้จากสารละลาย CuSO_4 เหลือทิ้ง ใช้การไทเทรตด้วยไอโอดีนแบบไอโอดิเมทรี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณ CuSO_4 ที่เตรียมได้

แหล่งที่มาของธาตุทองแดง	อัตราส่วน $\text{Cu} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$	CuSO_4 ที่ใช้ (g)	ร้อยละโดยมวลทองแดงที่มีในผลึก
ลวดทองแดงในอะไหล่การรถยนต์	6:10:6	0.3471	17.31
	6:20:6	0.3232	23.67
	6:30:6	0.3448	16.68
	6:40:6	0.3368	16.75
ทองแดงที่สกัดแยกได้จาก สารละลาย CuSO_4 เหลือทิ้ง*	6:10:6	0.3038	17.58
	6:20:6	0.3100	20.57
	6:30:6	0.3166	14.75
	6:40:6	0.3115	15.51

หมายเหตุ : *เปลี่ยน Cu ให้อยู่ในรูปของ CuO ก่อนนำมาเตรียมเป็น CuSO_4

จากข้อมูลในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน 6:20:6 ให้ปริมาณร้อยละทองแดงในผลึกสูงสุดดังนั้นจึงถือได้ว่าที่อัตราส่วนนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เตรียม CuSO_4 ต่อไป

(3.2) การหาร้อยละโดยมวลของน้ำในผลึก CuSO_4 ที่เตรียมได้ จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกจากผลึก CuSO_4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2740 g ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 27.3 ของน้ำหนักผลึก หรือมีสัดส่วนโดยโมลเท่ากับน้ำ 3.3 โมลต่อผลึก CuSO_4 1 โมล

3.2.2 การเตรียมคอปเปอร์(II)ไนเตรต

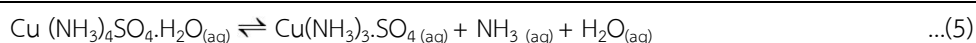
(1) ปริมาณคอปเปอร์(II)ไนเตรตที่เตรียมได้ โดย $\text{Cu(NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้จากทองแดงที่ได้จากอะไหล่การรถยนต์และทองแดงที่สกัดได้จากสาร

เหลือทิ้ง มีร้อยละผลผลิตดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งลักษณะของ $\text{Cu(NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้เป็นผลึกสีน้ำเงินเข้ม ไม่มีกลิ่น แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับ $\text{Cu(NO}_3)_2$ ที่จำหน่ายทางการค้า

จากตารางที่ 3 ร้อยละผลผลิตทองแดงของผลึก $\text{Cu(NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้ จากลวดทองแดงในอะไหล่การรถยนต์ สารละลาย $\text{Cu(NO}_3)_2$ สารละลาย CuSO_4 และสารละลาย CuCl_2 เท่ากับ 64.68, 37.36, 58.60 และ 8.48 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ลวดทองแดงจากอะไหล่การมาเตรียม $\text{Cu(NO}_3)_2$ จะให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดเนื่องจากทองแดงจากลวดมีความบริสุทธิ์สูงกว่าทองแดงที่แยกได้จากสารละลายเหลือทิ้ง ดังนั้นการใช้ลวดทองแดงมาเตรียม $\text{Cu(NO}_3)_2$ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าและมีขั้นตอนการเตรียมที่

น้อยกว่าด้วย นอกจากนี้พบว่าเมื่อใช้ธาตุทองแดงที่สกัดแยกจากสารละลาย $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ ที่เหลือทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีพบว่า ไม่เกิดผลึกของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารละลายสีครามเข้มซึ่งคาดว่า เป็นสารละลายเตตระแอมมีนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ เนื่องจากเมื่อเก็บผลึกเตตระ

แอมมีนคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ไข้ข้ามคั้น สารนี้จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมฟ้า เพราะที่อุณหภูมิ 30°C เตตระแอมมีนคอปเปอร์(II)ซัลเฟต จะแยกสลายให้น้ำแอมโมเนียอย่างละ 1 โมเลกุล ได้สารใหม่คือไตรแอมแอมมีนคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ซึ่งมีสีเขียวแกมฟ้า และไม่มีผลึกสมการการเปลี่ยนแปลงแสดงดังสมการ (5) [17]



ตารางที่ 3 ค่าร้อยละผลผลิตของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้จากของเสียแต่ละชนิด

แหล่งที่มาของธาตุทองแดง	โลหะทองแดงที่ใช้ (g)	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้ (g)	ร้อยละผลผลิต
ลวดทองแดงในอะไหล่เกียร์รถยนต์	20.020	38.228	64.68
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+_{(\text{aq})}$	3.800	-	-
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2(\text{aq})}$	14.350	15.834	37.36
$\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$	2.700	4.669	58.60
$\text{CuCl}_{2(\text{aq})}$	5.740	1.438	8.48



รูปที่ 5 ลักษณะของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (ก) ทางการค้า (QReC) และ (ข) ที่เตรียมได้

(2) ร้อยละเอียดทั่วไปของผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้

- (2.1) จุดหลอมเหลวของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ คือ จุดเดือด หรือจุดหลอมเหลว ซึ่งมีประโยชน์ในการช่วยบ่งชี้ชนิด และความบริสุทธิ์ของสาร ดังนั้นได้ทำการทดลองนำผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้ หาจุดหลอมเหลวของสารโดยใช้เครื่องวัดจุดเดือด จุดหลอมเหลว ผลการวิเคราะห์พบว่าจุดหลอมเหลว $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ทางการค้าและ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับ 111.5°C และ 112.3°C ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียง 0.72 % ในขณะที่จุดหลอมเหลวตามทฤษฎีคือ 114.5°C [16] แสดงให้เห็นว่า $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้มีคุณภาพเทียบเท่ากับที่มีจำหน่ายทั่วไป

(2.2) การหาร้อยละโดยมวลของทองแดงในผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้ การวิเคราะห์

หาปริมาณทองแดงในผลึกโดยการไทเทรตด้วยไอโอดีนแบบไอโอดิเมทรี เตรียมได้จากลวดทองแดงในอะไหล่เก่ารถยนต์ สารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, CuSO_4 และ CuCl_2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่ามีร้อยละทองแดงใน

ผลึกเท่ากับ 19.62, 20.16, 13.32 และ 13.85 % ตามลำดับ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณทองแดงที่พบในผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมจากของเสียแต่ละชนิดให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 4 ปริมาณร้อยละโดยมวลของทองแดงใน $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้

แหล่งที่มาของทองแดง	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่ใช้ (g)	ร้อยละโดยมวลของทองแดงที่มีในผลึก
ลวดทองแดงในอะไหล่เก่ารถยนต์	0.3033	19.62
สารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	0.3175	20.16
สารละลาย CuSO_4	0.3244	13.32
สารละลาย CuCl_2	0.3029	13.85

(2.3) การหาร้อยละโดยมวลของน้ำในผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมได้ จากการทดลองพบว่า น้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกจากผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.149 g ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 14.9 ของน้ำหนักผลึก หรือมีสัดส่วนโดยโมลเท่ากับ 1.8 mol ต่อผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1 mol

3.3 การใช้รีเอเจนต์ที่เตรียมขึ้นสำหรับวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

3.3.1 การทดสอบเชิงคุณภาพด้วยวิธีเบนดิคต์

การทดสอบเบนดิคต์เป็นการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์ของหมู่แอลดีไฮด์และหมู่คีโตนอิสระที่สามารถรีดิวซ์ Cu^{2+} ในสถานะต่างได้เป็นตะกอน Cu_2O ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง ส่วนคาร์โบไฮเดรตบางชนิด เช่น ซูโครส ไม่สามารถแสดงสมบัตินี้ได้ เพราะหมู่แอลดีไฮด์ของกลูโคสเกิดพันธะกับหมู่คีโตนของฟรุคโตส ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5

จากผลการทดลองพบว่าการทดสอบสารตัวอย่างโดยใช้ CuSO_4 ที่เตรียมได้ให้ผลการทดสอบเหมือนกันกับรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป แสดงให้เห็นว่ารีเอเจนต์ที่เตรียมได้ สามารถใช้ทดแทนรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไปได้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบเบนดิคต์ด้วยรีเอเจนต์ที่เตรียมขึ้นเอง

หลอดที่	สารตัวอย่าง	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
1	น้ำกลั่น	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
2	กลูโคส	ตะกอนสีแดงอิฐ
3	ฟรุคโตส	ตะกอนสีแดงอิฐ
4	ซูโครส	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
5	น้ำแป้ง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.3.2 การทดสอบเชิงคุณภาพด้วยวิธีไบยูเรต

การทดสอบไบยูเรตเป็นการทดสอบโปรตีนและสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะ ขึ้นไป โดยโปรตีนจะทำปฏิกิริยากับ CuSO_4 ในสถานะที่เป็นเบส แล้วได้สารประกอบเชิงซ้อนสีม่วง ซึ่งเกิดจากพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่าง Cu^{2+} กับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของไนโตรเจนในพันธะเพปไทด์ และออกซิเจนของโมเลกุลน้ำ ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีม่วงได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบไบยูเรตด้วยรีเอเจนต์ที่เตรียมขึ้นเอง

หลอดที่	สารตัวอย่าง	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
1	น้ำกลั่น	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
2	สารละลายไกลซีน	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3	สารละลายไข่ขาว	สีม่วง

จากผลการทดลองพบว่าการทดสอบโปรตีน CuSO_4 ที่เตรียมได้ให้ผลการทดสอบเหมือนกับรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป แสดงให้เห็นว่ารีเอเจนต์ที่

เตรียมได้นั้นสามารถใช้ทดแทนรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไปได้เป็นอย่างดี

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยรีเอเจนต์ที่เตรียมขึ้น

จากการหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีลาวรีโพลิน โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทรี และใช้รีเอเจนต์ CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมขึ้นเปรียบเทียบกับรีเอเจนต์ทั้ง 2 ชนิด ที่ได้จากที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากการใช้รีเอเจนต์แต่ละชนิด

ตัวอย่าง	รีเอเจนต์เตรียมจากผลึก CuSO_4 (mgL^{-1})		รีเอเจนต์เตรียมจากผลึก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (mgL^{-1})	
	เตรียมจากของเสีย	ที่มีจำหน่ายทั่วไป	เตรียมจากของเสีย	ที่มีจำหน่ายทั่วไป
1	53.7 ± 0.2	55.5 ± 0.1	47.8 ± 0.1	49.0 ± 0.1
2	106.2 ± 0.9	104.4 ± 1.1	95.4 ± 1.3	92.4 ± 1.5
3	148.0 ± 2.7	142.3 ± 2.0	150.0 ± 4.1	147.3 ± 3.0

จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาพล็อตกราฟ correlation ของการใช้ผลึก CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (แกน X คือปริมาณโปรตีนจากการใช้รีเอเจนต์ที่เตรียมขึ้นเอง และแกน Y คือปริมาณโปรตีนจากการใช้ รีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป) พบว่าให้ค่าความชันของกราฟ (m) เท่ากับ 0.9209 และ 0.9629 และ R^2 เท่ากับ 0.9999 และ 0.9920 ตามลำดับ ซึ่งทั้งค่าความชันและ R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 เป็นการบ่งชี้ได้ว่า รีเอเจนต์ทั้ง 2 ชนิด ที่เตรียมขึ้นจากของเสียสามารถใช้ทดแทนรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไปได้เป็นอย่างดี

4. สรุป

รีเอเจนต์ CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เตรียมจากของเสียประเภทต่าง ๆ ให้ผลในการใช้วิเคราะห์ทั้งเชิง

คุณภาพและเชิงปริมาณตัวอย่างต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับรีเอเจนต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป จากการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเตรียมรีเอเจนต์ดังกล่าวซึ่งเตรียมจากของเสียที่ไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ และปฏิกิริยาในการเตรียมเกิดได้ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน จึงทำให้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยาและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์น้อยมาก พบว่าการเตรียม CuSO_4 และ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ หนัก 500 g มีค่าใช้จ่ายประมาณ 250 และ 150 บาท ตามลำดับ นอกจากนี้ยังช่วยลดการทิ้งสารละลายที่มีโลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบจากห้องปฏิบัติการได้มากกว่า 10 ลิตร ต่อปีการศึกษาอีกด้วย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่างานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการของเสียที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2557

6. รายการอ้างอิง

- [1] Yang, J.G., Wu, Y.T. and Li, J., 2012, Recovery of ultrafine copper particles from metal components of waste printed circuit boards, *Hydrometallurgy* 121-124: 1-6.
- [2] Oishi, T., Yaguchi, M., Koyama, K., Tanaka, M. and Lee, L.C., 2008, Effect of phosphate on lead removal during a copper recycling process from wastes using ammoniacal chloride solution, *Hydrometallurgy* 90: 161-167.
- [3] Sampaio, R.M.M., Timmers, R.A., Keesman, K.J. and Lens, P.M.L., 2009, Selective precipitation of Cu from Zn in a pH controlled continuously stirred tank reactor, *J. Hazard. Mater.* 165: 256-265.
- [4] Chen, T., Lei, C., Yan, B., Xiao, X., 2014, Metal recovery from the copper sulfide tailing with leaching and fractional precipitation technology, *Hydrometallurgy* 147-148: 178-182.
- [5] Janin, A., Blais, J.F., Mercier, G. and Drogui, P., 2009, Selective recovery of Cr and Cu in leachate from chromated copper arsenate treated wood using chelating and acidic ion exchange resins, *J. Hazard. Mater.* 169: 1099-1105.
- [6] Dai, X., Breuer, P.L. and Jeffrey, M.I., 2010, Comparison of activated carbon and ion-exchange resins in recovering copper from cyanide leach solutions, *Hydrometallurgy* 101: 48-57.
- [7] Bidari, E., Irannejad, M. and Gharabaghi, M., 2013, Solvent extraction recovery and separation of cadmium and copper from sulphate solution, *J. Environ. Chem. Eng.* 1: 1269-1274.
- [8] Sinha, M.K., Sahu, S.K., Meshram, P., Pandey, B.D. and Kumar, V., 2012, Solvent extraction and separation of copper and zinc from a pickling solution, *Int. J. Metallur. Eng.* 1(2): 28-34.
- [9] Silva-Martinez, S. and Roy, S., 2013, Copper recovery from tin stripping solution: Galvanostatic deposition in a batch-recycle system, *Sep. Purif. Technol.* 118: 6-12.
- [10] Dutra, A.J.B., Rocha, G.P. and Ponbo, F.R., 2008, Copper recovery and cyanide oxidation by electrowinning from a spent copper-cyanide electroplating electrolyte, *J. Hazard. Mater.* 152: 648-655.
- [11] Mubarak, A.A., El-Shazly, A.H. and Konsowa, A.H., 2004, Recovery of copper from industrial waste solution by cementation on reciprocating horizontal perforated zinc disc, *Desalination* 167: 127-133.
- [12] Chang, F.C., Le, S.L. and Ko, C.H., 2007, Recovery of copper and chelating agents

- from sludge extracting solutions, Sep. Purif. Technol. 53: 49-56.
- [13] Farahmand, F., Moradknani, D., Safarzadeh, M.S. and Rashchi, F., 2009, Optimization and kinetics of the cementation of lead with aluminium powder, Hydrometallurgy 98: 81-89.
- [14] Jeffery, G.H., Bassett, J., Mendham, J. and Denney, R.C., 1989, Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis, 5th Ed, W.H. Freeman and Company, New York.
- [15] คณาจารย์สาขาวิชาเคมี, 2553, ปฏิบัติการเคมี 2, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [16] กรมควบคุมมลพิษ, ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, แหล่งที่มา : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=692>, 2 มีนาคม 2557.
- [17] บุญรอด วงษ์สวาท, ปฏิกริยา Ni,Cu, แหล่งที่มา : http://www.promma.ac.th/main/chemistry/element_property/serv03.htm, 16 มีนาคม 2557.