บทความวิจัย

บทความจากงานประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 (TIchE2016)

การแยกซิลเวอร์จากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ด้วยการแทนที่ด้วยโลหะ

พนิดา สามพรานไพบูลย์*
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0–2997–2222 ต่อ 3332 อีเมล: panida.s@rsu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.11.011
รับเมื่อ 1 มิถุนายน 2560 ตอบรับเมื่อ 30 สิงหาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 14 พฤศจิกายน 2560
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการแยกซิลเวอร์ออกจากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ที่เสื่อมสภาพการใช้งานแล้วโดยการแทนที่ด้วยโลหะ ซึ่งได้ทำการแยกแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์แล้วใส่ลงในสารละลายกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น ระยะเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือใช้อัตราส่วนแผงวงจรจากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ต่อสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 3 M ที่ 1:15 อุณหภูมิ 50°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง จะได้ปริมาณตะกอนซิลเวอร์ที่แยกได้จากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์คือ ร้อยละ 2.618 และทำการวิเคราะห์คุณภาพของโลหะซิลเวอร์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) พบว่าซิลเวอร์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ 100% โดยค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการแยกซิลเวอร์จากแผงวงจรจากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ประมาณ 76.39 บาทต่อกรัมซิลเวอร์

คำสำคัญ: ซิลเวอร์, แป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์, การแทนที่ด้วยโลหะ

การอ้างอิงบทความ: พนิดา สามพรานไพบูลย์, "การแยกซิลเวอร์จากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ด้วยการแทนที่ด้วยโลหะ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 4, หน้า 681–688, ต.ค.–ธ.ค. 2560

Research Article

Selected Paper from the 26th TIChe National Conference "Innovative Technology toward Sustainable Development"

Silver Removal from Computer Keyboards with Metallic Replacement

Panida Sampranpiboon*
Department of Chemical and Material Engineering, College of Engineering, Rangsit University, Pathum Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0–2997–2222 Ext. 3332, E–mail: panida.s@rsu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.11.011
Received 1 June 2017; Accepted 30 August 2017; Published online: 14 November 2017
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aims to study the removal of silver from computer keyboards with the metallic replacement. The computer keyboards are separated and soaked in various concentration of nitric acid, different reaction times and temperatures as to determine the optimal conditions. As a result, the amount of silver removal from the 1:15 ratio of the computer keyboard to 3 M nitric acid, at 50°C, with 8 hr. operation time is demonstrated at 2.65 percent by mass. The quality of the silver analyzed with X-ray Diffractometer (XRD) is 100% pure. The operating cost for silver removal from computer keyboards with the metallic replacement is 76.39 Baht for one gram of silver.

Keywords: Silver, Computer Keyboards, Metallic Replacement

Please cite this article as: P. Sampranpiboon, "Silver removal from computer keyboards with metallic replacement ," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 27, no. 4, pp. 681–688, Oct.–Dec. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ หรืออีเวสต์ (E-waste) เป็นของเสียที่ประกอบด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เสียหรือไม่ใช้งานแล้ว ได้แก่ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ อุปกรณ์สำนักงาน เช่น เครื่องพิมพ์ และอุปกรณ์เครื่องเสียงเพื่อความบันเทิงต่างๆ เป็นต้น โดยจำนวนของอีเวสต์กำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว [1] โดยทั่วโลกมีปริมาณมากถึง 20–25 ล้านตันต่อปี ซึ่งคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของขยะของแข็งทั้งหมด แต่มีความเป็นอันตรายมากกว่า ในเอเชียก็มีการทิ้งขยะแบบนี้ประมาณ 12 ล้านตันต่อปี เป็นที่คาดการณ์กันว่าประเทศที่กำลังพัฒนาจะมีขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพิ่มขึ้นในอนาคตอีก 3 เท่าภายในระยะเวลา 5 ปี เช่น ในประเทศไทย 359,714 ตัน ปี 2555 เพิ่มขึ้น 12% ต่อปี จะมีปริมาณ 401,387 ตัน ในปี 2559 [2] โดยในยุโรปปริมาณขยะเหล่านี้เพิ่มขึ้น 3–5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี โดยเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าขยะอย่างอื่นถึง 3 เท่า สามารถเห็นได้ว่าอีเวสต์ไม่ได้มาจากประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างเดียว [1], [2] โดยในอีเวสต์ก็ยังมีส่วนประกอบด้วยอโลหะ และโลหะ ซึ่งพบว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีส่วนประกอบของโลหะที่มีค่า ได้แก่ ทองคำ ทองแดง และเงิน [3], [5] การรีไซเคิลอีเวสต์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก สามารถนำส่วนที่ยังเป็นประโยชน์ที่เกิดจากการแยกนำไปผลิตอุปกรณ์อย่างอื่น หรือเป็นการแยกโลหะที่มีค่าออกมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการแยกซิลเวอร์จากแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ที่เสื่อมสภาพแล้วด้วยการแทนที่ด้วยโลหะเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งและเป็นแนวทางการเพิ่มรายได้ให้ผู้ประกอบการด้านการจัดการขยะ อีกทั้งยังเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ทำการเตรียมวัตถุดิบโดยการนำแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ที่เสื่อมสภาพแล้ว มาทำการแกะและเลือกเฉพาะแผ่นพลาสติกที่มีลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น จากนั้นนำมาล้างให้สะอาด แล้วนำมาตากแดดให้แห้งและตัดเป็นชิ้นขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อเป็นการเตรียมวัตถุดิบไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

รูปที่ 1 แผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์

ทำการชั่งแผ่นพลาสติกที่เป็นแผงวงจรปริมาณ 10 กรัม แล้วเติมกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว จากนั้นให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°C พร้อมทั้งเขย่าด้วยความเร็ว 25 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จะได้สารละลายซิลเวร์ไนเตรด เก็บตัวอย่างสารละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ Ag^{+} ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ทำการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินพอ โดยจะเกิดเป็นตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่มีขนาดรู (Pore Size) 10 ไมครอน เพื่อแยกตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ออก แสดงดังรูปที่ 2

สำหรับในการทดลองได้มีการทดลองซ้ำสองครั้ง โดยค่าที่แสดงในผลการทดลองจะเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง ได้แก่

1. ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ
2. ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย
3. ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาต่อการทำปฏิกิริยา

รูปที่ 2 ตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์

รูปที่ 3 ตะกอนซิลเวอร์ที่กรองและทำให้แห้งแล้ว

นำตะกอนสีขาวมาใส่ลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซิลเวอร์ไอออน จากนั้นทำการจุ่มลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนโดยการแทนที่ด้วยโลหะระหว่าง Cu กับ Ag^+ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อเกิดเป็นตะกอนสีเทาของซิลเวอร์ จากนั้นทำการกรองแยกตะกอนสีเทาด้วยกระดาษกรอง และเก็บตัวอย่างสารละลายส่งวิเคราะห์หาปริมาณ Ag^+ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) และนำตะกอนใส่โถดูดความชื้นเพื่อให้แห้ง แสดงดังรูปที่ 3 ทำการชั่งตะกอน พร้อมทั้งนำตะกอนที่ได้ไปวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของโลหะซิลเวอร์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractrometer (XRD) ซึ่งขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการวิจัยอ้างอิงงานวิจัยของ Gunna and Somsanam [4] และ Suanthaisong [5]

3. ผลการทดลอง

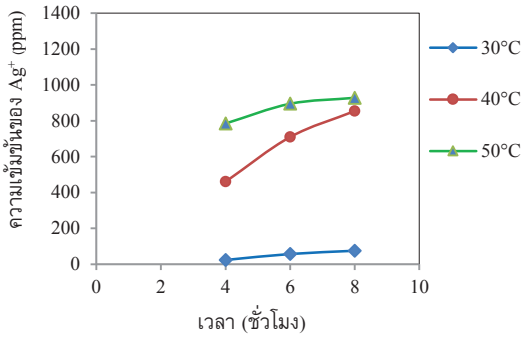
การทำปฏิกิริยาของโลหะซิลเวอร์หรือเงินโดยใช้สารละลายกรดไนตริกได้ถูกนำมาใช้สกัดโลหะซิลเวอร์ที่มีอยู่ในแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ลักษณะการศึกษาดังกล่าวเป็นการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมทีละสภาวะ กำหนดความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกเริ่มต้นเป็น 1 โมลาร์ อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สารละลายกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดแก่สามารถเกิดปฏิกิริยากับโลหะซิลเวอร์ แสดงดังสมการที่ (1)

$$2Ag\,(s) + 2HNO_3\,(aq) \longrightarrow 2AgNO_3\,(aq) + H_2\,(g) \quad (1)$$

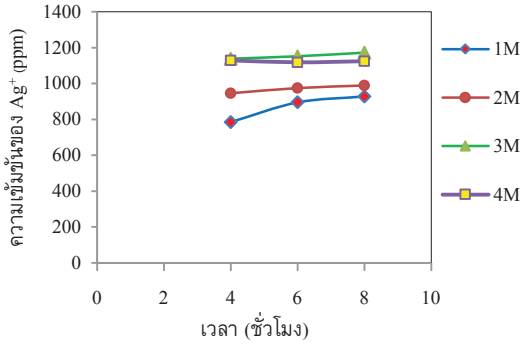
3.1 ผลของอุณหภูมิต่อการทำปฏิกิริยา

การเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้นยิ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ยิ่งทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นไปด้วย อุณหภูมิที่เลือกใช้คือ 30°C, 40°C และ 50°C เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้สารละลายกรดไนตริกระเหยเป็นไอได้ง่าย จึงเหลือส่วนที่เกิดปฏิกิริยาซึ่งอยู่ในสถานะสารละลายได้น้อยลง

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะซิลเวอร์จากแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ทำโดยกำหนดให้อัตราส่วนแผงวงจรต่อสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 โมลาร์เป็น 1:15 ศึกษาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C และ 50°C เป็นเวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง มาวิเคราะห์หาปริมาณของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 จากรูปที่ 3 พบว่า



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นกรดไนตริก 1 โมลาร์



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อความเข้มข้นของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50°C

อุณหภูมิมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ Ag^+ เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิห้องจะมีปริมาณของ Ag^+ ที่ได้ใกล้เคียงกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 °C เป็น 40°C และ 50°C ปริมาณของ Ag^+ จะเพิ่มขึ้นสามารถเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 50°C จะได้ปริมาณ Ag^+ ที่สกัดได้จากแผงวงจรได้สูงสุด ดังนั้นจึงทำการเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของโลหะซิลเวอร์จากแผงวงจรกับกรดไนตริกคือ 50°C

3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายต่อการทำปฏิกิริยา

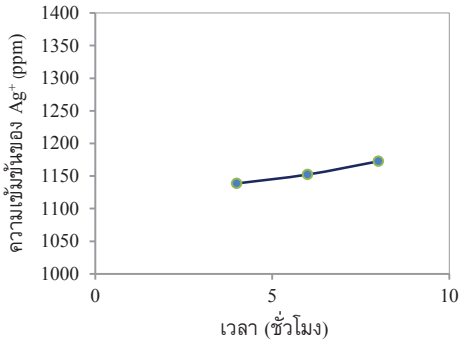
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งถ้าความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มมากขึ้น จำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะซิลเวอร์ในแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์มีมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันยิ่งเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้สิ้นเปลือง และเกิดของเสียมากขึ้น จึงหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ปริมาณกรดให้น้อยที่สุด และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดด้วย

การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับโลหะซิลเวอร์ในแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ทำโดยกำหนดให้อัตราส่วนแผงวงจรต่อสารละลายกรดไนตริกเป็น 1:15 อุณหภูมิ 50°C ศึกษาที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 1 โมลาร์ 2 โมลาร์ 3 โมลาร์ และ 4 โมลาร์ ตามลำดับ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง และวิเคราะห์หาปริมาณของ Ag+ แสดงดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 พบว่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของโลหะซิลเวอร์ได้มากขึ้น แต่พิจารณาที่เวลาทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก 3 โมลาร์ และ 4 โมลาร์ จะได้ปริมาณ Ag^+ มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไปที่ 8 ชั่วโมง โดยพบว่าปริมาณ Ag^+ จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย และความเข้มข้นที่ 3 โมลาร์มีปริมาณของ Ag^+ มากที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นที่ใช้สูงและเวลานานเกินไป ทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงเกินไป [5] ดังนั้นจึงพิจารณาให้ความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโลหะซิลเวอร์จากแผงวงจรคือ 3 โมลาร์

3.3 ผลของเวลาต่อการทำปฏิกิริยา

การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของโลหะซิลเวอร์จากแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ทำโดยกำหนดให้อัตราส่วนแผงวงจรต่อ



รูปที่ 5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อความเข้มข้นของ Ag^+ ที่ความเข้มข้นกรดไนตริก 3 โมลาร์ อุณหภูมิ 50°C

สารละลายกรดไนตริกเป็น 1:15 อุณหภูมิ 50°C และความเข้มข้น 3 โมลาร์ ศึกษาที่เวลาของกรดไนตริก 4, 6 และ 8 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณ Ag^+ ที่อยู่ในสารละลาย ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 พบว่าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะได้ปริมาณของ Ag^+ เพิ่มขึ้นด้วย ดูได้จากเพิ่มเวลาจาก 4 ชั่วโมงเป็น 6 และ 8 ชั่วโมง จะได้ปริมาณ Ag^+ ที่ได้เพิ่มมากขึ้นประมาณ 50 ppm อีกทั้งได้มีการทดลองเพิ่มเวลาเป็น 10 ชั่วโมง แต่ผลความเข้มข้นของ Ag^+ ไม่ได้แตกต่างจากความเข้มข้นของ Ag^+ ที่เวลา 8 ชั่วโมง ดังนั้นจึงทำการเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัดโลหะซิลเวอร์คือ 8 ชั่วโมง

จากปฏิกิริยาในสมการที่ (1) เมื่อโลหะซิลเวอร์ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเกิดเป็นสารละลายเกลือซิลเวอร์ไนเตรตเกิดขึ้นโดยเกลือที่เกิดขึ้นสามารถละลายน้ำได้ดี ซึ่งแตกต่างจากการทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดชนิดอื่นๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เมื่อโลหะซิลเวอร์ที่ละลายออกมาอยู่ในรูปของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) กับคลอไรด์ไอออน (Cl^-) กรดจะเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนทันทีเกิดเป็นเกลือซิลเวอร์คลอไรด์ มีลักษณะสีขาวขุ่น แต่ละลายน้ำได้ยาก ในการสกัดโลหะซิลเวอร์นี้จะถูกพิจารณาร่วมกับตัวแปรทางเคมีเชิงฟิสิกส์ที่มีผลต่ออัตราการละลายด้วย เช่น พื้นที่ผิวของตัวอย่างจะกำหนดให้มีขนาดคงที่ 1×1 ตารางเซนติเมตร เมื่อพื้นที่ผิวของตัวอย่างมากขึ้นอัตราในการชนกันระหว่างโมเลกุลตัวถูกละลาย และตัวทำละลายจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ในการชนกันเพิ่มขึ้นอัตราเร็วในการกวนสารละลายกำหนดให้มีค่าคงที่เช่นเดียวกันคือ 25 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการคนเพื่อให้ตัวอย่างกับสารละลายกรดเข้ากันได้ดีขึ้น ยิ่งอัตราเร็วในการคนเพิ่มมากขึ้นก็ส่งผลให้โลหะซิลเวอร์สามารถละลายได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้อัตราเร็วสูงเกินทำให้แผงวงจรซึ่งเป็นพลาสติกเกิดการรวมกลุ่มกันและทำให้เกิดปฏิกิริยาลดลง และอุณหภูมิส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เพราะความร้อนทำให้การยืดเหนี่ยวระหว่างของโมเลกุลซิลเวอร์ลดลงช่วยเพิ่มการละลายของซิลเวอร์ไนเตรทให้ดีขึ้น [4], [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ HCl เพื่อให้ Ag^+ ในสารละลาย $AgNO_3$ เพื่อทำปฏิกิริยากับ Cl^- จากกรด HCl ที่ใส่เพื่อเกิดเป็นเกลือ AgCl มีลักษณะสีขาวขุ่น ซึ่งละลายน้ำได้ยาก นำมากรองได้ตะกอนสีขาวซิลเวอร์คลอไรด์แล้วทำการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซิลเวอร์ไอออน ซึ่งสารละลายที่ได้มีลักษณะใสไม่มีสี [5] จากนั้นจุ่มลวดทองแดงลงในสารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน โดยลวดทองแดงเป็นขั้วอาโนด (–) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้อิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากลวดทองแดงไปยังโลหะซิลเวอร์ ในขณะที่ซิลเวอร์ไอออนในสารละลายจะรับอิเล็กตรอน เพื่อเกิดเป็นตะกอนสีเทาของโลหะซิลเวอร์ที่ขั้วแคโทด (+) อยู่ในสารละลายสีฟ้า เกิดปฏิกิริยารีดักชัน [6] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2) และ (3)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน: $Cu\ (s) \longrightarrow Cu^{2+}\ (aq) + 2e^-$ (2)

ปฏิกิริยารีดักชัน: $Ag^+\ (aq) + e^- \longrightarrow Ag\ (s)$ (3)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละสมการเรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา เมื่อนำครึ่งปฏิกิริยาทั้งสองมารวมกัน สามารถเขียนได้

เป็นปฏิกิริยารวมหรือเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์แสดงดังสมการที่ (4)

$$Cu\ (s) + 2Ag^{+}\ (aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag\ (s) \quad (4)$$

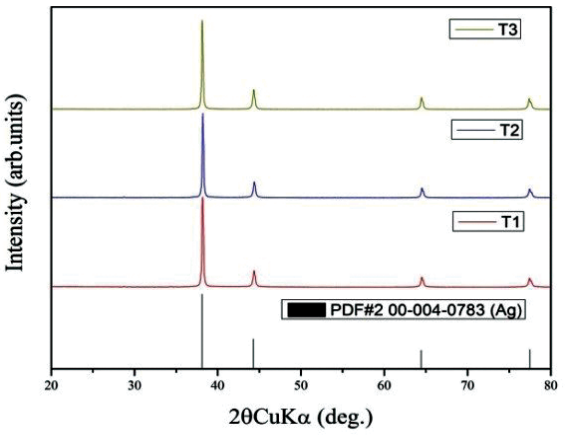
จากผลการทดลองด้วยการแยกซิลเวอร์ด้วยการแทนที่ด้วยลวดทองแดงโดยใช้แผงวงจร 10 กรัม เมื่อนำไปกรองและทำให้แห้งด้วยการใส่ในโถดูดความชื้นจะได้ผงตะกอนสีเทาของซิลเวอร์ แสดงดังตารางที่ 1

เมื่อนำสารละลายหลังจากตะกอนซิลเวอร์ไปวิเคราะห์ค่าปริมาณ Ag^{+} ที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ปรากฏว่าเหลืออยู่น้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ และเมื่อนำตะกอนซิลเวอร์ไปวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ยิงผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's Law

ตารางที่ 1 ตะกอนซิลเวอร์ที่ได้ในการใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ ที่ความเข้มข้นกรดไนตริก 3 โมลาร์ และอุณหภูมิ 50°C

เวลาทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นซิลเวอร์ไอออน (ppm)	น้ำหนักตะกอนซิลเวอร์ (กรัม)
4	1,138.5	0.1858
6	1,152.2	0.2139
8	1,172.5	0.2618

จากการแยกโลหะซิลเวอร์จากแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ พบว่าเมื่อนำแผงวงจรพลาสติกภายในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งใช้น้ำหนักรวม 120 กรัม สามารถแยกตะกอนซิลเวอร์ได้ 2.618 กรัม แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 6 พบว่าตะกอนซิลเวอร์ที่ได้จากการทดลองมีความบริสุทธิ์ 100%



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ตะกอนโลหะซิลเวอร์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

3.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการแยกซิลเวอร์

ในการเตรียมสารละลายกรดไนตริก 3 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร และใช้กรดไนตริกเข้มข้น 65%w ปริมาร 28.8 มิลลิลิตร กรดไนตริกเกรดการค้า 65%w จำนวน 2.5 ลิตร ราคา 487 บาท และน้ำ DI ปริมาตร 121.2 มิลลิลิตร น้ำ DI1 ลิตร ราคา 18 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายสำหรับกรดไนตริกที่ใช้คือ 5.6 บาทต่อครั้ง และค่าใช้จ่ายน้ำ DI ที่ใช้คือ 2.18 บาทต่อครั้ง กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร จำนวน 1 แผ่น ราคา 2.20 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสกัดโลหะซิลเวอร์ 10 กรัมต่อครั้ง รวม 120 กรัม รวมเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 200 บาท (ราคานี้ไม่รวมแผงวงจรแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ และค่ากำจัดของเสียจากกระบวรการผลิต) ซึ่งมีรายการดังต่อไปนี้

1. กรดไนตริกเข้มข้น 65%w เกรดห้องปฏิบัติการ ปริมาตร 345.60 มิลลิลิตร ราคา 67.20 บาท
2. น้ำ DI ปริมาตร 1,693.2 มิลลิลิตร ราคา 30.48 บาท
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 25%v เกรดห้องปฏิบัติการ ปริมาณ 360 มิลลิลิตร ราคา 57.00 บาท
4. โซเดียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ เกรดห้องปฏิบัติการ ปริมาณ 21 กรัม ราคา 2.1 บาท

5. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จำนวน 3 แผ่น ราคา 6.60 บาท

6. ค่าไฟเครื่องเขย่าพร้อมอ่างควบคุมอุณหภูมิกำลัง 400 วัตต์ ราคา 28.00 บาท โดยคิดจากอัตราบริการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นแบบองค์กรไม่แสวงหาผลกำไร [7]

7. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ราคา 8.62 บาท

ในการทดลองได้มีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ได้แก่ สารละลายต่างๆ ซึ่งสามารถกลั่นนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือถ้ามีปริมาณมากสามารถให้บริษัทเอกชนเพื่อดำเนินการแยกให้ได้โดยคิดลิตรละ 10 บาท ซึ่งในท้องตลาดได้มีการขายโลหะเงิน (ซิลเวอร์) 92.5 % ราคากรัมละ 22–25 บาท และ 100 % ราคากรัมละ 100 บาท

4. สรุป

ในการแยกซิลเวอร์จากแผงวงจรในแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ที่ใช้อัตราส่วนแผงวงจรต่อสารละลายกรดไนตริกเป็น 1:15 ที่อุณหภูมิ 50°C กรดไนตริก 65%w ที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง เป็นภาวะที่เหมาะสมที่ใช้แยกซิลเวอร์ออกจากแผงวงจร จะได้ความเข้มข้นของ Ag^+ 1,172.5 ppm ต่อน้ำหนักแผงวงจร 10 กรัม ซึ่งเมื่อทำการแยกหาปริมาณซิลเวอร์ที่มีอยู่ในแผงวงจรจากแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ได้ 2.618 % โดยมวล และได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพของโลหะซิลเวอร์ด้วยเครื่อง XRD ซึ่งซิลเวอร์ที่สกัดแยกได้มีความบริสุทธิ์ 100% และค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ในการแยกซิลเวอร์จากแผงวงจรแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ประมาณ 76.39 บาทต่อกรัมโลหะซิลเวอร์ที่ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานอาคารและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายวัสดุ มหาวิทยาลัยรังสิตที่สนับสนุนแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Lopthongkam, (2016, April). Environmental problem of electronic waste from social technology. [Online].Available: http://contentcenter. prd.go.th

[2] Greenpeace Thailand, problem of e-waste. (2013, September) [Online]. Available: http://www.research.cmru.ac.th

[3] J. Cui and L. Zhang., "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 158, pp. 228–256, 2008.

[4] M. Gunna and S. Somsanam (2014, March). The preparation of silver sulphate from electronic and laboratory waste [Online]. Available: http://www.research.cmru.ac.th

[5] W. Suanthaisong, "Silver extraction from laboratory waste," *Department of Science Service Journal*, vol. 179, pp. 37–39, 2009 (in Thai).

[6] R. Chang, "Electrochemistry," in *Chemistry*, 9th ed, McGraw-Hill, 2008, pp. 819–842.

[7] NEPO, Electricity rates of PEA. (2000, December). [online]. Available: http://www2.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html