



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแยกธาตุกำมะถันตรังสีโดยใช้แทนนิน

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประกร รามกุล และคณะ

มิถุนายน 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแยกธาตุแก๊สมันตรังสีโดยใช้แทนนิน

คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนันท์ ลิขิตพัฒนไพบุลย์

สังกัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
และ มหาวิทยาลัยศิลปากร

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5380236

ชื่อโครงการ: การแยกธาตุกัมมันตรังสีโดยใช้แทนนิน

ชื่อนักวิจัย และสถาบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประกร รามกุล

อีเมล: prakorn@su.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมโดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชไทย แบ่งการทดลองได้ 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน และการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ (1) ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือใบยอและใบกระถิน ซึ่งมีปริมาณแทนนิน 6.04, 5.27 และ 3.86 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (2) การแยกโลหะมีค่าในสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง พบว่าการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมขึ้นกับ pH เริ่มต้นในสารละลาย เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะและน้ำหนักตัวดูดซับ การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมให้ประสิทธิภาพสูงสุด 0.35 และ 17.70 mg/g ตามลำดับ ที่ pH 3 และ pH 2 ตามลำดับ และตัวดูดซับแทนนินยังสามารถแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมได้ในสารละลายโลหะผสม โดยสามารถแยกพัลลาเดียมได้สูงสุดถึง 17.20 mg/g มีค่าการนำกลับ 87.50 % และ (3) การศึกษากลไกการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายโลหะผสมด้วยตัวดูดซับแทนนิน พบว่าเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ฟังก์ชัน O-H ให้ไอเล็กตรอน และเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยไอออนโลหะพัลลาเดียมในสารละลายรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นโลหะพัลลาเดียม สามารถตรวจสอบพบโลหะพัลลาเดียมในตัวดูดซับแทนนินด้วยเครื่อง XRD EDX และ SEM

คำหลัก : แพลทินัม; พัลลาเดียม; การดูดซับ; แทนนิน

Abstract

Project Code: MRG5380236

Project Title: Separation of radioactive metal by tannin

Investigator: Assist. Prof. Dr. Prakorn Ramakul

E-mail Address: prakorn@su.ac.th

Project Period: 2 Years

Abstract:

This research is to separate and recover platinum and palladium from aqueous solution using tannin synthesized from Thai plant. The experimental methods can be divided into 3 parts that are the analysis of tannin and the synthesis of tannin adsorbent, the recovery of precious metal from solution by synthesized tannin adsorbent and study of mechanism of precious metal recovery from solution using synthesized tannin adsorbent. The results from this research can be summarized as follows : (1) The amounts of tannin in adsorbent synthesized from Indian Almond leaves, Indian Mulberry leaves and White Popinac leaves were found to be 6.04, 5.27 and 3.86 mg/g, respectively. (2) The separation of platinum and palladium from aqueous solutions by tannin adsorbent was investigated using a batch adsorption as a function of initial pH, contact time, initial metal concentration and adsorbent dosage. The maximum adsorption capacities of platinum and palladium on tannin adsorbent synthesized from Indian Almond leaves were 0.35 and 17.70 mg/g at pH 3 and pH 2, respectively. Batch adsorption studies showed that the palladium separation from the mixture of platinum is possible by using tannin adsorbent. The optimal pH for the separation of palladium from platinum was found to be 2. The maximum adsorption capacity of palladium on 0.05 g tannin adsorbent synthesized from Indian Almond leaves were 17.20 mg/g and 87.50 % recovery at room temperature. (3) The XRD, EDX and SEM analysis of the tannin adsorbent taken after adsorption supported the reduction of Pd(II) to elemental form. This fact indicates that tannin adsorbent can be used as an adsorbent for effective separate of palladium from platinum.

Keywords: Platinum; Palladium; Adsorption; Tannin

เนื้อหาของวิจัยประกอบด้วย

1. บทคัดย่อภาษาไทย และภาษาอังกฤษ
2. Executive summary
3. วัตถุประสงค์
4. วิธีทดลอง
5. ผลการทดลอง
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต
7. ภาคผนวก

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงพาณิชย์ (มีการนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้ หรือมีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจ/บุคคลทั่วไป)
 - เชิงนโยบาย (มีการกำหนดนโยบายอิงงานวิจัย/เกิดมาตรการใหม่/เปลี่ยนแปลงระเบียบข้อบังคับหรือวิธีทำงาน)
 - เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสความสนใจในวงกว้าง)
 - เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)
3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

บทสรุปย่อผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การแยกธาตุกัมมันตรังสีโดยใช้แทนนิน

(ภาษาอังกฤษ): Separation of radioactive metal by tannin

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โลหะกลุ่มแพลทินัม (Platinum group metals) ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเคมี ยาด้านโรคมะเร็ง ทันตกรรม ปีโตรเลียมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยมีการพัฒนาเทคโนโลยี และขยายกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการค้าส่งออก 2009) ดังนั้นน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตจึงเพิ่มปริมาณสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าในน้ำทิ้งดังกล่าว ยังคงมีไอออนของโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ เช่น แพลทินัมและพัลลาเดียม ซึ่งเป็นโลหะที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับทองคำ จึงจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาปรับปรุงวิธีการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลาย เพื่อเป็นการลดความสูญเสียค่าใช้จ่ายของทางอุตสาหกรรมและยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

แทนนินคือสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอลในธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถพบได้ในส่วนต่างๆของพืช เช่น เมล็ด ผล รากและเปลือก ซึ่งแทนนินมีความสามารถในการตะกอนไอออนโลหะได้หลายชนิด ดังนั้นตัวดูดซับที่ทำจากแทนนินจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับดูดซับไอออนของแพลทินัมและพัลลาเดียมออกจากสารละลาย

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่อง UV Spectrophotometer (PERKIN ELMER/Lambda 20)
2. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Bruker/EQUINOX 55)
3. เครื่อง Inductivity couple plasma spectrometer (ICP Perkin Elmer/Optima 4300 DV)
4. เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM JEOL/ JSM-5410LV)
5. เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD Bruker /D8-Discover)
6. เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDX Oxford/ INCA 300)
7. เครื่องระเหยแบบโรตารี (Rotary Evaporator BUCHI R251)
8. ชุดสกัดสารแบบใช้ตัวทำละลาย (Soxhlet Apparatus)
9. pH meter

3. วิธีการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

1. นำใบหูกวางที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ สกัดด้วยสารละลายเมทานอล ในชุดซอห์คเลตที่อุณหภูมิ 65 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. เมื่อครบกำหนดเวลานำสารละลายที่สกัดได้ ไประเหยเมทานอลออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ความดัน 375 มิลลิเมตรปรอท
3. นำสารละลายที่ผ่านการระเหยเมทานอลออกหมดแล้วมาทำปฏิกิริยากับ Folin's phenol reagent และ sodium carbonate สัดส่วน 1:5:4 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
4. นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน
5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนจากใบหูกวางเป็นใบยอและใบกระถินตามลำดับ

3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนิน

1. หั่นใบหูกวางให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น แล้วทำการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ปรับ pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรองตะกอน และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาอบและบด โดยคัดแยก ขนาด $-425 + 150 \mu\text{m}$ เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง
4. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนจากใบหูกวางเป็นใบยอ และใบกระถิน ตามลำดับ

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.3.1 แต่เปลี่ยนจากใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถินเป็นตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถินตามลำดับ

3.4 การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน

- ผลของ pH เริ่มต้นในสารละลาย

โดยศึกษา pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 2 3 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 35 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 50 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสม

•เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

โดยศึกษาในช่วงเวลา 1 3 7 16 24 48 และ 60 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุด

•ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ

โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 20 40 60 80 100 120 140 180 200 240 300 และ 350 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 20 40 60 80 100 120 140 180 200 และ 220 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสมปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุด

•น้ำหนักตัวดูดซับ

โดยศึกษาน้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.025 0.05 0.1 0.2 และ 0.3 กรัมสำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียว และ 0.0125 0.025 0.05 0.1 และ 0.2 กรัมสำหรับสารละลายโลหะผสม ปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุดจากข้อ 3.2.1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะชนิดเดียวและสารละลายโลหะผสม เลือกใช้ค่าที่ทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับโลหะดีที่สุด

3.4 ศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

นำตัวดูดซับแทนนินก่อนและหลังผ่านการทดลอง มาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR และตรวจสอบโครงสร้างของโลหะด้วยเครื่อง XRD EDX และ SEM

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 ไบโहुกวามีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือไบยอและไบกระถิน โดยมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 3.71, 3.12 และ 2.30 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

4.2 สามารถสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินได้จากการผสมพืชตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ได้ตะกอนแทนนินสีดำและไม่ละลายน้ำ

4.3 ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบโहुกวามีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบยอและไบกระถิน โดยมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.04, 5.27 และ 3.86 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางคือ สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายฟัลลาเดียมต่อน้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม: 950 ppm ปริมาตรสารละลาย 25 มิลลิลิตร pH 2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 40 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถดูดซับฟัลลาเดียมได้สูงที่สุด 18 mg/g

4.5 ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางเลือกดูดซับเฉพาะฟัลลาเดียม ทำให้สามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการแยกฟัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเดียมได้

4.6 สภาวะที่เหมาะสมในการแยกฟัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางคือ สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเดียมต่อน้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม : 1400 ppm ปริมาตรสารละลาย 20 มิลลิลิตร pH 2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถดูดซับแพลทินัมได้สูงที่สุด 17.70 mg/g และมีค่าการนำกลับฟัลลาเดียม 87.50 %

4.7 กลไกการแยกฟัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินสังที่เคราะห์จากใบหูกวางเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ฟังก์ชันในแทนนินให้อิเล็กตรอน และเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยไอออนของฟัลลาเดียมในสารละลายรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นโลหะฟัลลาเดียม จึงสามารถตรวจสอบโลหะฟัลลาเดียมด้วยเครื่อง XRD และ EDX ได้

เนื้อหาทางวิจัย

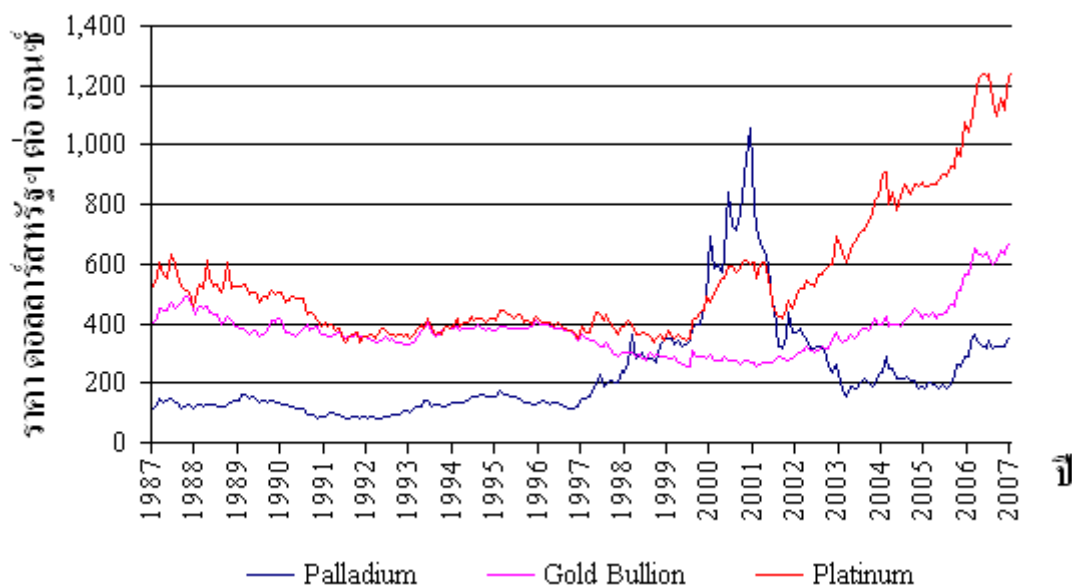
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลหะมีค่ากลุ่มแพลทินัม (Platinum group metals) ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเคมี ยาต้านโรคมะเร็ง ทันตกรรม พิโตรเลียมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสมบัติพิเศษทางกายภาพและทางเคมี (Roza และคณะ, 2007; Kononova และคณะ, 2010; Sébastien และ Gregory, 1999) โดยในปัจจุบันความต้องการใช้โลหะกลุ่มแพลทินัมยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณความต้องการสวนทางกับปริมาณโลหะที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ (He-wei, 2006; Kensuke และคณะ, 2007) ซึ่งปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศ ไทยมีการพัฒนาเทคโนโลยีและขยายกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2009) ดังนั้น น้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตจึงเพิ่มปริมาณสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำทิ้งดังกล่าว ยังคงมี ไอออนของโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ เช่น แพลทินัมและพัลลาเดียม (Weerawat และคณะ, 2003) ซึ่งเป็น โลหะที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับทองคำ ดังแสดงในรูปที่ 1 จึงจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาปรับปรุงวิธีการ แยกแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลาย เพื่อเป็นการลดความสูญเสียค่าใช้จ่ายของทางอุตสาหกรรม และยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

มีวิธีการต่างๆ ในการแยกโลหะ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การแลกเปลี่ยนไอออน การ แยกด้วยเมมเบรนและการดูดซับ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการแยกโลหะมีค่าที่อยู่ใน สารละลาย เมื่อเปรียบเทียบวิธีการต่างๆ พบว่า การดูดซับดูเหมือนจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแยก โลหะมีค่าในกรณีที่มีความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพ (Limin Z. และคณะ, 2009; Ramesh A. และคณะ, 2008; Violeta N. และคณะ, 2009)

แทนนินคือสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอลในธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถพบได้ใน ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด ผล รากและเปลือก ซึ่งแทนนินมีความสามารถในการตะกอนไอออนโลหะ ได้หลายชนิด (Xuepin และคณะ, 2004; Ayhan และคณะ, 2009; Meral และ Ayhan, 2009) ในปีที่ผ่านมา งานวิจัยได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับสารชีวมวลมากขึ้น ส่งผลให้การใช้แทนนินเป็นตัวดูดซับจึงมีมาก ขึ้น

ดังนั้นตัวดูดซับที่ทำจากแทนนินจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับดูดซับไอออนของ แพลทินัมและพัลลาเดียมออกจากสารละลาย



รูปที่ 1 ราคาเปรียบเทียบระหว่างแพลทินัม พัลลาเดียมและทองคำ (ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ ออนซ์) ระหว่างปี 1987-2007 (United Nations Conference on Trade and Development 2010)

2. Executive summary

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) : การแยกธาตุกัมมันตรังสีโดยใช้แทนนิน

(ภาษาอังกฤษ): Separation of radioactive metal by tannin

2.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โลหะกลุ่มแพลทินัม (Platinum group metals) ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเคมี ยาด้านโรคมะเร็ง ทันตกรรม ปีโตรเลียมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยมีการพัฒนาเทคโนโลยีและขยายกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการส่งออก 2009) ดังนั้นน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตจึงเพิ่มปริมาณสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าในน้ำทิ้งดังกล่าว ยังคงมีไอออนของโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ เช่น แพลทินัมและพัลลาเดียม ซึ่งเป็นโลหะที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับทองคำ จึงจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาปรับปรุงวิธีการแยก แพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลาย เพื่อเป็นการลดความสูญเสียค่าใช้จ่ายของทางอุตสาหกรรมและยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

แทนนินคือสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอลในธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถพบได้ในส่วนต่างๆของพืช เช่น เมล็ด ผล รากและเปลือก ซึ่งแทนนินมีความสามารถในการ

ตะกอนไฮดรอลิโหะได้หลายชนิด ดังนั้นตัวดูดซับที่ทำจากแทนนินจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับดูดซับไฮดรอลิโหะของแพลทินัมและพัลลาเดียมออกจากสารละลาย

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่อง UV Spectrophotometer (PERKIN ELMER/Lambda 20)
2. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Bruker/EQUINOX 55)
3. เครื่อง Inductivity couple plasma spectrometer (ICP Perkin Elmer/Optima 4300 DV)
4. เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM JEOL/ JSM-5410LV)
5. เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD Bruker /D8-Discover)
6. เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDX Oxford/ INCA 300)
7. เครื่องระเหยแบบโรตารี (Rotary Evaporator BUCHI R251)
8. ชุดสกัดสารแบบใช้ตัวทำละลาย (Soxhlet Apparatus)
9. pH meter

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

1. นำใบหูกวางที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ สกัดด้วยสารละลายเมทานอล ในชุดซอห์คเลตที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. เมื่อครบกำหนดเวลานำสารละลายที่สกัดได้ ไประเหยเมทานอลออกที่อุณหภูมิ น้ำ 40 องศาเซลเซียส ใช้ความดัน 375 มิลลิเมตรปรอท
3. นำสารละลายที่ผ่านการระเหยเมทานอลออกหมดแล้วมาทำปฏิกิริยากับ Folin's phenol reagent และ sodium carbonate สัดส่วน 1:5:4 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
4. นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน
5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนจากใบหูกวางเป็นใบยอและใบกระถินตามลำดับ

2.3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนิน

1. หั่นใบหูกวางให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น แล้วทำการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ปรับ pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรองตะกอน และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาอบและบด โดยคัดแยกขนาด -425 +150 μm เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง
4. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนจากใบหูกวางเป็นใบยอ และใบกระถิน ตามลำดับ

2.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.3.1 แต่เปลี่ยนจากใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถินเป็นตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถินตามลำดับ

2.3.4 การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน

• ผลของpH เริ่มต้นในสารละลาย

โดยศึกษา pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 2 3 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 35 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 50 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสม

• เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

โดยศึกษาในช่วงเวลา 1 3 7 16 24 48 และ 60 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายโลหะ แล้วใช้ pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุดในการทดลองต่อไป

• ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ

โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 20 40 60 80 100 120 140 180 200 240 300 และ 350 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 20 40 60 80 100 120 140 180 200 และ 220 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสมปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุด

• น้ำหนักตัวดูดซับ

โดยศึกษาน้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.025 0.05 0.1 0.2 และ 0.3 กรัมสำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียว และ 0.0125 0.025 0.05 0.1 และ 0.2 กรัม สำหรับสารละลาย

โลหะผสม ปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุด ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะชนิดเดียวและสารละลายโลหะผสม เลือกใช้ค่าที่ทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับโลหะดีที่สุด

2.3.4 ศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

นำตัวดูดซับแทนนินก่อนและหลังผ่านการทดลอง มาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR และตรวจสอบโครงสร้างของโลหะด้วยเครื่อง XRD EDX และ SEM

2.4 สรุปผลการทดลอง

1 ไบฮุกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือไบยอและไบกระถิน โดยมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 3.71, 3.12 และ 2.30 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

2 สามารถสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินได้จากการผสมพืชตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ได้ตะกอนแทนนินสีดำและไม่ละลายน้ำ

3 ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบยอและไบกระถิน โดยมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.04, 5.27 และ 3.86 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

4 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางคือ สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายพัลลาเดียมต่อน้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม: 950 ppm ปริมาตรสารละลาย 25 มิลลิลิตร pH 2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 40 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถดูดซับพัลลาเดียมได้สูงที่สุด 18 mg/g

5 ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม ทำให้สามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมได้

6 สภาวะที่เหมาะสมในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางคือ สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมต่อน้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม : 1400 ppm ปริมาตรสารละลาย 20 มิลลิลิตร pH 2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถดูดซับแพลทินัมได้สูงที่สุด 17.70 mg/g และมีค่าการนำกลับพัลลาเดียม 87.50 %

7 กลไกการแยกพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินสังที่เคราะห์จากไบฮุกวางเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ฟังก์ชันในแทนนินให้อิเล็กตรอน และเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยไอออนของพัลลาเดียมในสารละลายรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นโลหะพัลลาเดียม จึงสามารถตรวจสอบโลหะพัลลาเดียมด้วยเครื่อง XRD และ EDX ได้

3. วัตถุประสงค์

1. สังเคราะห์ตัวดูดซับ (แทนนิน) โดยใช้พืชไทย
2. หาความสามารถในการดูดซับไอออนของแพลทินัมและพัลลาเดียมไอออน โลหะมีค่าด้วยแทนนิน

4. วิธีทดลอง

4.1 วัสดุและสารเคมี

1. สารละลายแพลทินัมมาตรฐาน
2. สารละลายพัลลาเดียมมาตรฐาน
3. ไบฮุทว้าง ไบยอ และไบกระถิ่น
4. เมทานอลความเข้มข้น 99% โดยปริมาตร (CH_3OH)
5. กรดแกลลิก (Gallic acid)
6. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
7. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
8. โซเดียมไตรเจนคาร์บอเนต NaHCO_3)
9. โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3)
10. Folin's phenol reagent (FCR) Analytical grade

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง UV Spectrophotometer (PERKIN ELMER/Lambda 20)
2. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Bruker/EQUINOX 55)
3. เครื่อง Inductivity couple plasma spectrometer (ICP Perkin Elmer/Optima 4300 DV)
4. เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM JEOL/ JSM-5410LV)
5. เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD Bruker /D8-Discover)
6. เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDX Oxford/ INCA 300)
7. เครื่องระเหยแบบโรตารี (Rotary Evaporator BUCHI R251)
8. ชุดสกัดสารแบบใช้ตัวทำละลาย (Soxhlet Apparatus)
9. ครกบด
10. เตาให้ความร้อนพร้อมเครื่องกวน (Hot Plate Stirrer, Fisher Scientific, USA)
11. ตู้อบ (Mettler/model 700)

12. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม ตำแหน่ง (Precisa/Model 240A)
13. เทอร์โมมิเตอร์
14. pH meter
15. เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์

4.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการแยกโลหะมีค่าจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชตัวอย่าง ได้แก่ ใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถิน แบ่งวิธีการทดลองเป็น 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน และการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

1. นำใบหูกวางที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ 5 กรัม สกัดด้วยสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 99% ปริมาณ 300 มิลลิลิตร ในชุดซอท์คเลตที่อุณหภูมิ 65–70 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง
2. เมื่อครบกำหนดเวลานำสารละลายที่สกัดได้ ไประเหยเมทานอลออกที่อุณหภูมิ น้ำ 40 องศาเซลเซียส ใช้ความดัน 375 มิลลิเมตรปรอท
3. นำสารละลายที่ผ่านการระเหยเมทานอลออกหมดแล้วมาทำปฏิกิริยากับ Folin's phenol reagent และ sodium carbonate สัดส่วน 1:5:4 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
4. นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน
5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนจากใบหูกวางเป็นใบยอและใบกระถินตามลำดับ

4.3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทน

1. หั่นใบหูกวางให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ใส่ในขวดรูปกรวย (Conical Flask) แล้วทำการรีฟลักซ์เพื่อป้องกันการระเหยของสารละลาย ควบคุมความเร็วรอบที่ 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. เมื่อครบกำหนดเวลา ปรับ pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรองตะกอน และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาอบและบด โดยคัดแยกขนาด $-425 +150 \mu\text{m}$ เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง
4. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนจากใบหูกวางเป็นใบยอ และใบกระถิน ตามลำดับ

4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวอย่างที่สังเคราะห์จากพืช

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.3.1 แต่เปลี่ยนจากใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถินเป็นตัวอย่างแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถินตามลำดับ

4.3.3 การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน

ในหัวข้อนี้จะศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายโลหะชนิดเดียวและโลหะผสม ด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถิน ได้แก่ pH เริ่มต้นในสารละลาย เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ และน้ำหนักของตัวดูดซับ ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. นำสารละลายโลหะมาตรฐานมาเจือจางให้มีความเข้มข้นตามเงื่อนไขที่กำหนด ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ใส่ตัวดูดซับแทนนินลงในสารละลายโลหะที่ตั้งนิ่งโดยไม่มีการกวน เมื่อครบกำหนดเวลา หยุดปฏิกิริยาโดยการกรองเพื่อแยกตัวดูดซับแทนนินออกจากสารละลาย
3. นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะที่เหลือ ด้วยเครื่อง ICP
4. นำวิธีการทดลองข้างต้นมาใช้กับเงื่อนไขของแต่ละตัวแปรดังต่อไปนี้

● pH เริ่มต้นในสารละลาย

ศึกษา pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 2 3 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 35 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 50 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสม น้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.25 กรัมสำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 0.2 กรัม สำหรับสารละลายโลหะผสม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เลือกตัวดูดซับแทนนินที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุด มาใช้ในการทดลองในเงื่อนไขต่อไป

- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

โดยศึกษาในช่วงเวลา 1, 3, 7, 16, 24, 48 และ 60 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 35 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 50 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสม ปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุดจากข้อ 3.2.1 น้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 0.05 กรัม สำหรับสารละลายโลหะผสม

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ

จะศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 20 40 60 80 100 120 140 180 200 240 300 และ 350 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 20 40 60 80 100 120 140 180 200 และ 220 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสมปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุดจาก น้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 0.05 กรัม สำหรับสารละลายโลหะผสม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

- น้ำหนักตัวดูดซับ

ในครั้งนี้จะศึกษาน้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.025 0.05 0.1 0.2 และ 0.3 กรัม สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียว และ 0.0125 0.025 0.05 0.1 และ 0.2 กรัมสำหรับสารละลายโลหะผสม ปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุดจากข้อ 3.2.1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะชนิดเดียวและสารละลายโลหะผสม เลือกใช้ค่าที่ทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับโลหะดีที่สุดจากข้อ 3.2.3 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยความสามารถในการดูดซับโลหะ (มิลลิกรัม) คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$q = (C_i - C_t)V \quad (1)$$

เมื่อ C_i และ C_t คือ ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้นและที่เวลา t ใดๆ (มิลลิกรัม/ลิตร) และ V คือปริมาตรของสารละลาย (ลิตร)

4.3.4 ศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

นำตัวดูดซับแทนนินก่อนและหลังผ่านการทดลอง มาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR และตรวจสอบโครงสร้างของโลหะด้วยเครื่อง XRD EDX และ SEM

5. ผลการทดลอง

5.1. การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

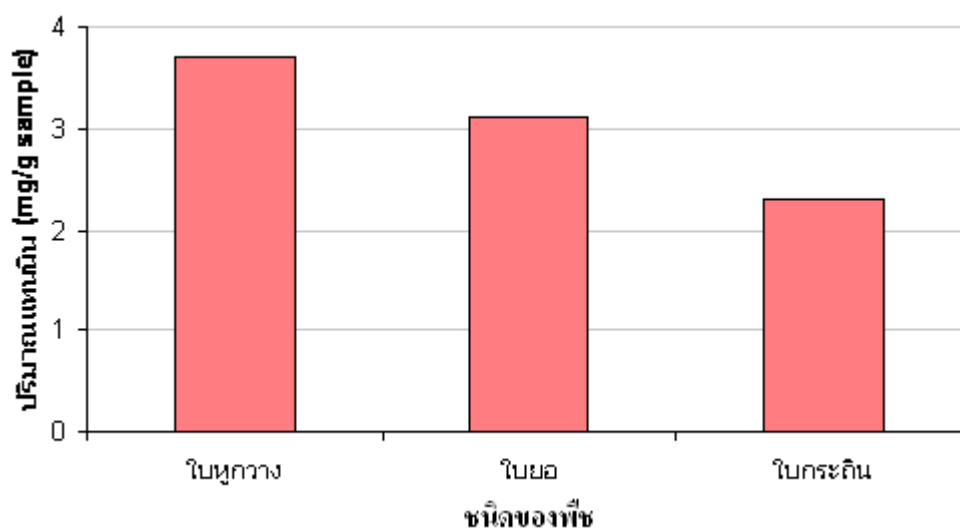
● การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง

การสกัดแทนนินในพืชตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดคือใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน โดยวิธีชอล์คเลต ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าสารละลายที่สกัดได้มีสีเขียวเข้มมาก และมีตะกอนขุ่นปนอยู่เล็กน้อย

จากการนำสารละลายแทนนินที่สกัดได้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารแทนนินในพืชตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากพืชตัวอย่างโดยวิธีชอล์คเลต

ชนิดพืชตัวอย่าง	ปริมาณสารแทนนิน (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง)
ใบหูกวาง	3.71
ใบยอ	3.12
ใบกระถิน	2.30



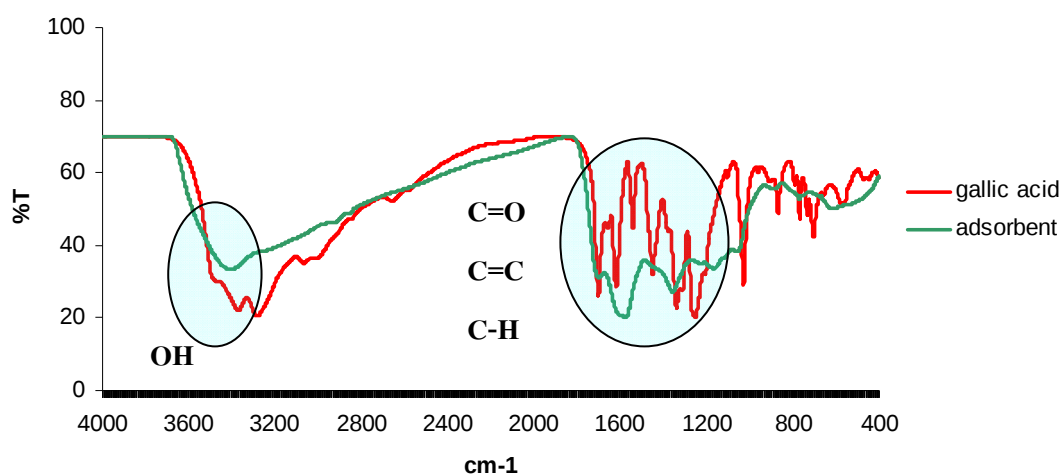
รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินจากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน

จากการทดลองหาปริมาณสารแทนนินในใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน พบว่าใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณแทนนินในใบยอและใบกระถิน ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากชนิดของแทนนินที่มีอยู่ในพืช โดยในใบหูกวางมีแทนนินชนิดรวมตัวแน่น ทำให้แทนนินสลายตัวได้ยากกว่าและละลายน้ำได้น้อยในขณะสกัด ส่วนในใบยอและใบกระถินมีปริมาณแทนนินน้อยกว่า

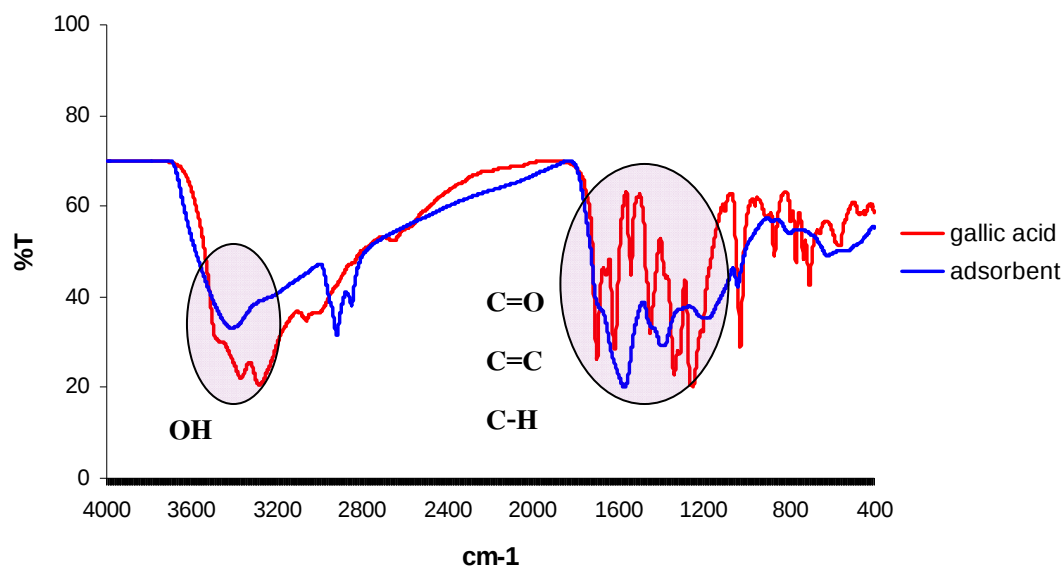
เนื่องจากไนโบยและโบกระถินมีแทนนินทั้งชนิดละลายตัวได้และชนิดรวมตัวแน่น ทำให้เกิดการสลายตัวของแทนนินชนิดละลายตัวได้ จึงเกิดการละลายน้ำเกิดขึ้นในระหว่างการสกัด ส่งผลให้มีปริมาณแทนนินน้อยกว่าพืชที่มีแทนนินชนิดรวมตัวแน่นในโครงสร้างเพียงอย่างเดียว (สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธุ์, 1988)

● 1.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนิน

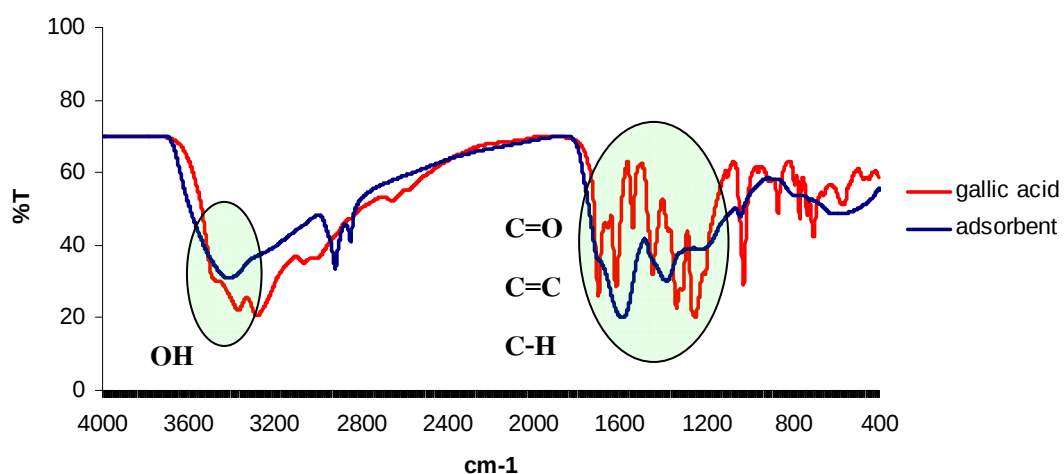
การสังเคราะห์แทนนินจากใบหูกวาง ไบยและโบกระถิน พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด ให้ตะกอนแทนนินสีดำและไม่ละลายน้ำ การตรวจสอบรูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตะกอนแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ไบยและโบกระถิน ทำได้โดยใช้เครื่อง FT-IR เปรียบเทียบกับกรดแกลลิก ดังแสดงในรูปที่ 8 – 10



รูปที่ 8 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางด้วยเครื่อง FT-IR



รูปที่ 9 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบยอด้วยเครื่อง FT-IR



รูปที่ 10 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบกระถินด้วยเครื่อง FT-IR

จากผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตะกอนที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน เปรียบเทียบกับกรดแกลลิก ด้วย FT-IR พบหมู่ฟังก์ชัน O-H ในช่วง 3000 – 3600 นาโนเมตร และพบหมู่ฟังก์ชัน C=C, C=O และ C-H ในช่วง 1000 – 1700, 1000 – 1710 และ 1000 – 1750 นาโนเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8 - 10 สอดคล้องกับโครงสร้างของแทนนินจากรูปที่ 2 ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน O-H, C=C, C=O และ C-H และผลการตรวจสอบพบว่าสอดคล้องกับการทดลองของ Takeshi และ (Takeshi และ Yoshio, 2005) ซึ่งศึกษากลไกการแยกทองคำจากสารละลายโดยใช้ นวัตกรรมแทนนินเจลจาก natural condensed tannin และได้ทำการตรวจสอบแทนนินเจลด้วย FT-IR

พบหมู่ฟังก์ชัน O-H, C=C, C=O และ C-H ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนั้นตะกอนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของงานวิจัยนี้จึงเป็นตะกอนแทนนินหรือเป็นตะกอนที่มีองค์ประกอบของแทนนิน

ตารางที่ 4 ช่วงความยาวคลื่นของพันธะต่างๆในแทนนิน (Takeshi และ Yoshio, 2005)

พันธะ	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
O-H	3200 – 3650
C=O	1705 – 1725
C=C	1475 – 1680
C-H	1000-1465

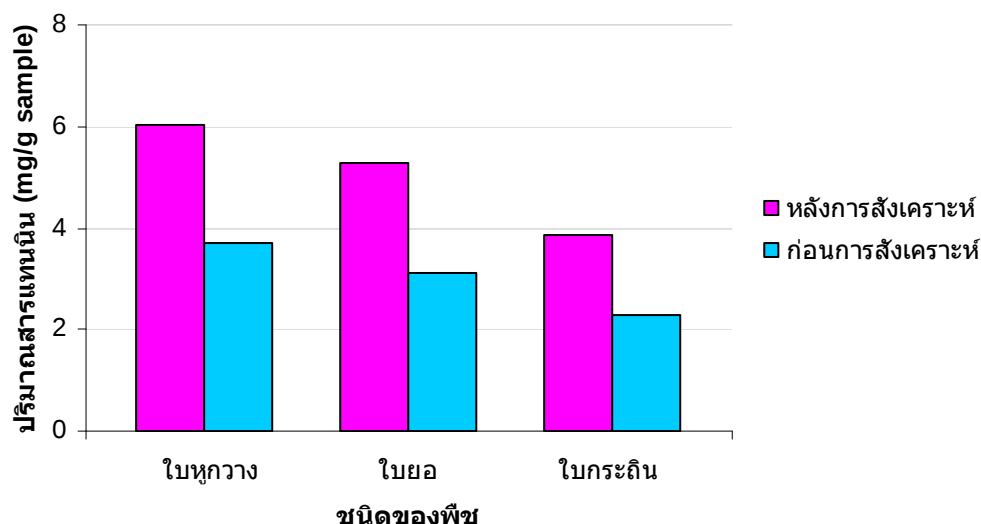
• 1.3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

การสกัดแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช 3 ชนิดคือใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน โดยวิธีซอห์คเลต ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าสารละลายที่สกัดได้มีสีเหลืองอ่อนและใส

จากการนำสารละลายแทนนินที่สกัดได้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืชตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากตัวดูดซับแทนนินโดยวิธีซอห์คเลต

ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืช	ปริมาณสารแทนนิน (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง)
ใบหูกวาง	6.04
ใบยอ	5.27
ใบกระถิน	3.86



รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแวนินจากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถินก่อน และหลังการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

จากการทดลองหาปริมาณสารแวนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน พบว่าใบหูกวางมีปริมาณแวนินมากที่สุด รองลงมาคือใบยอและใบกระถิน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง 1.1 โดยตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณสารแวนินมากกว่าในพืชสด เนื่องจากพืชทั้งสามชนิดมีแวนินชนิดรวมตัวแน่นเป็นองค์ประกอบ และเมื่อแวนินชนิดนี้ทำปฏิกิริยากับกรด ส่งผลให้มีการเพิ่มระดับของการเกิดพอลิเมอร์มากขึ้น เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะอัสฐานนั้นคือเป็นของแข็งที่อนุภาคจัดเรียงอย่างไม่เป็นระเบียบ และที่สำคัญพอลิเมอร์ที่ได้จะไม่ละลายน้ำ (สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธ์, 1988)

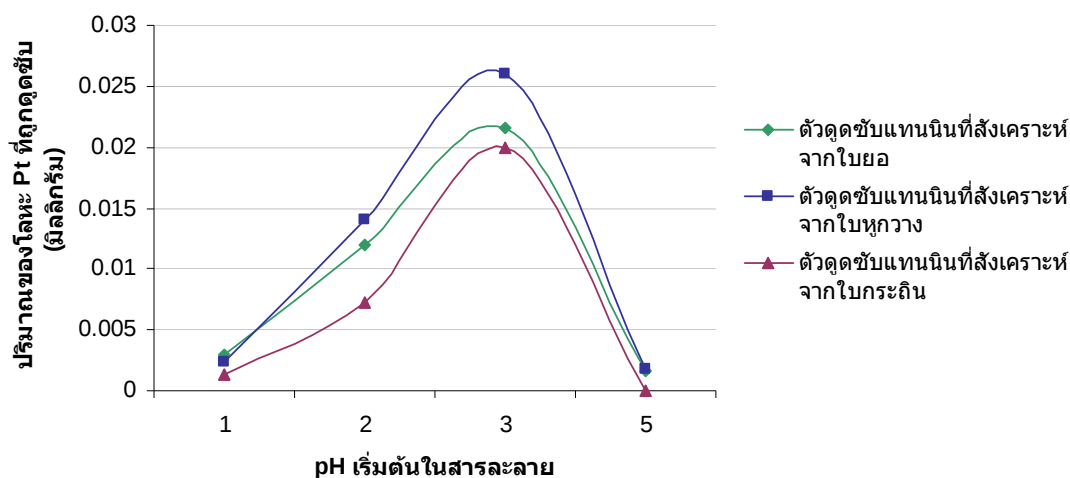
5.2 การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแวนิน

5.2.1 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะชนิดเดียวด้วยตัวดูดซับแวนิน

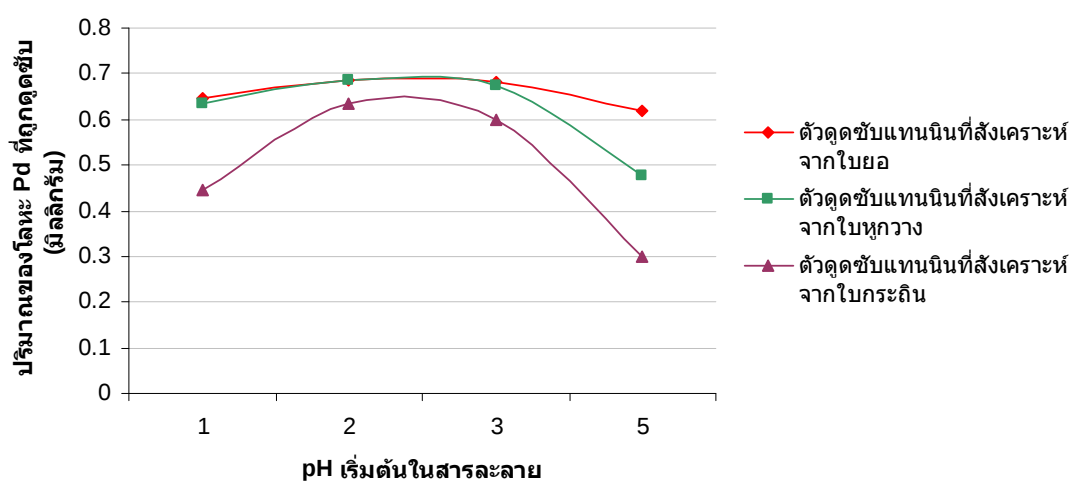
- pH เริ่มต้นในสารละลาย

โดยศึกษา pH เริ่มต้นในสารละลายเท่ากับ 1, 2, 3 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียม 35 ppm น้ำหนักตัวดูดซับแวนิน 0.25 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 12 และ 13 พบว่าตัวดูดซับแวนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้มากที่สุด รองลงมาคือตัวดูดซับแวนินที่สังเคราะห์จากใบยอและใบกระถิน ตามลำดับ เนื่องจากตัวดูดซับแวนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีปริมาณสารแวนินมากที่สุด รองลงมาคือใบยอและใบกระถิน ตามลำดับ โดยตัวดูดซับแวนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางสามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้มากที่สุด 0.026 และ 0.687 มิลลิกรัม (วิธีการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก.2) ที่ pH

3 และ pH 2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมาใช้ตลอดการทดลอง



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)



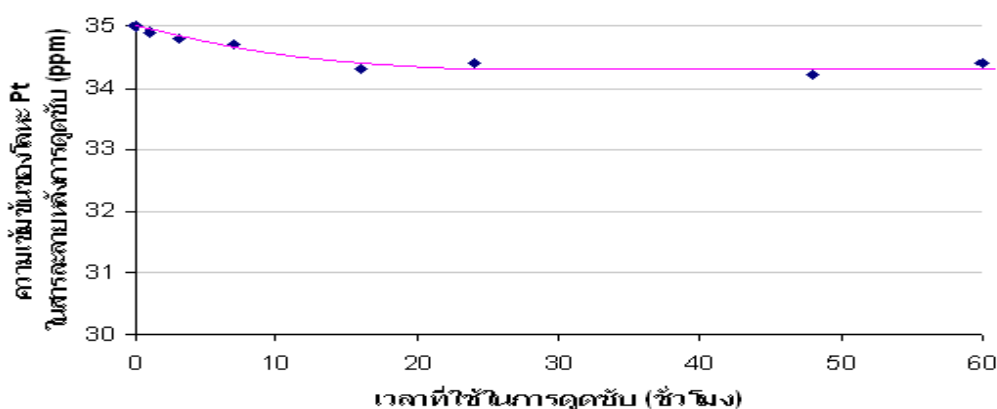
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองแสดงว่า pH เริ่มต้นของสารละลายมีผลต่อการแยกโลหะในสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน โดยแพลทินัมถูกดูดซับได้ดีที่สุดที่ pH 3 และพัลลาเดียมถูกดูดซับได้ดีที่สุดที่ pH 2 สอดคล้องกับการงานวิจัยของ He-wei (He-wei และคณะ, 2006) ซึ่งทำการศึกษาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายโดยใช้ immobilized collagen fiber เมมเบรนจากเบเบอร์รี่แทนนิน พบว่าความสามารถในการดูดซับแพลทินัมเพิ่มตามค่า pH ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ pH 3 มีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมสูงที่สุด และความสามารถในการดูดซับแพลทินัมจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Kensuke (Kensuke และคณะ, 2007) ซึ่งทำการศึกษาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายโดยใช้

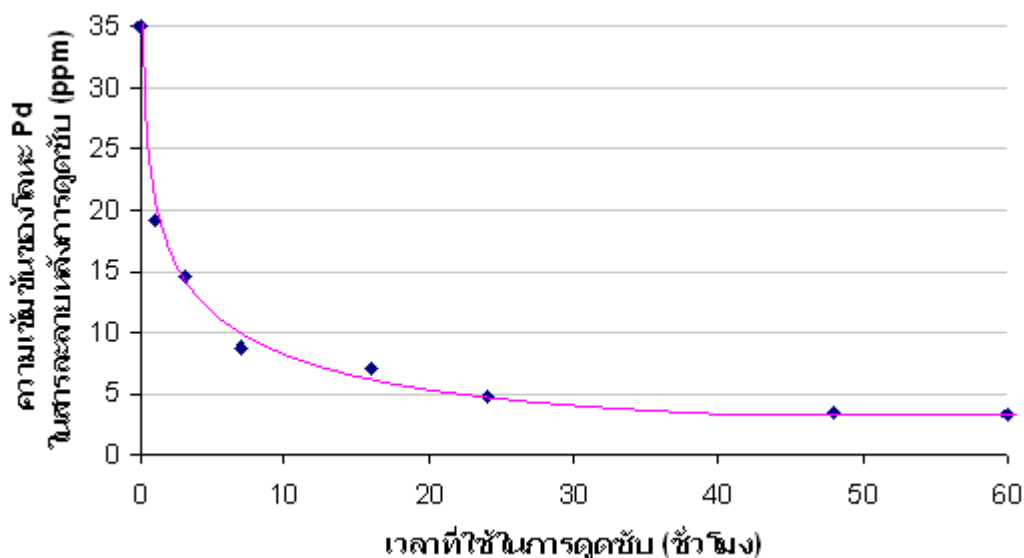
L-lysine modified crosslinked chitosan resin พบว่าที่ pH 2 มีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมสูงที่สุด ดังนั้นค่า pH เริ่มต้นในสารละลายจึงเลือกใช้ที่ pH 3 และ pH 2 สำหรับสารละลายแพลทินัมและฟัลลาเดียม ตามลำดับ ตลอดจนการทดลอง

- เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

โดยศึกษาในช่วงเวลา 1 - 60 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและฟัลลาเดียม 35 ppm pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและฟัลลาเดียมเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม ในสารละลาย 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 14 และ 15 ซึ่งพบว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางในการดูดซับแพลทินัมและฟัลลาเดียม เริ่มมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 20 และ 40 ชั่วโมง เป็นต้นไป ตามลำดับ และมีความสามารถในการแยกแพลทินัมและฟัลลาเดียมประมาณ 0.025 และ 0.80 มิลลิกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับความเข้มข้นของโลหะแพลทินัมในสารละลายหลังการดูดซับ (ppm)

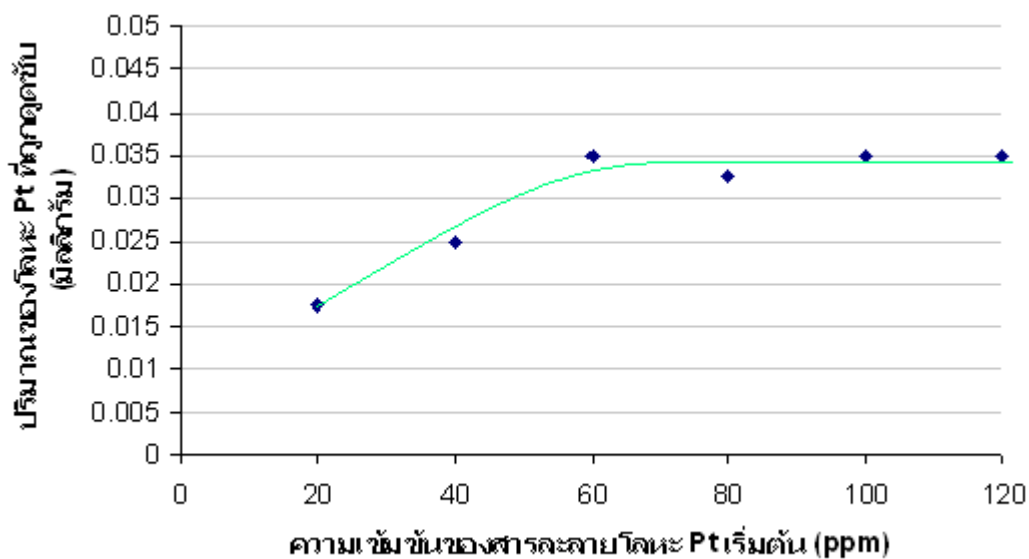


รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับความเข้มข้นของโลหะพัลลาเดียมในสารละลายหลังการดูดซับ (ppm)

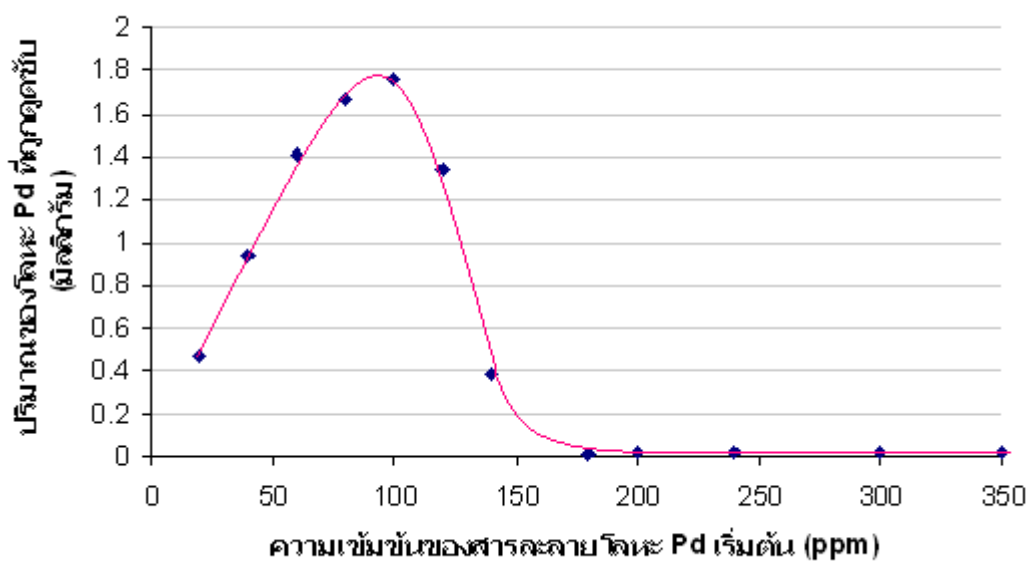
จากผลการทดลองแสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้เร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการดูดซับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาเฉพาะพื้นผิวของตัวดูดซับด้านนอกเท่านั้น ส่งผลให้ความต้านทานการแพร่ของการถ่ายเทมวลในระหว่างการดูดซับมีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้ จึงส่งผลให้เกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว (Xin และคณะ, 2009) และความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนถึงสภาวะสมดุล เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ก็จะสามารถหาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีต่อโลหะได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางคือ 20 และ 40 ชั่วโมง ตามลำดับ

- **ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ**

โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียม 20 - 350 ppm นำตัวดูดซับแทนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียมเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ ในสารละลาย 25 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 16 และ 17



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะแพลทินัม (ppm) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)



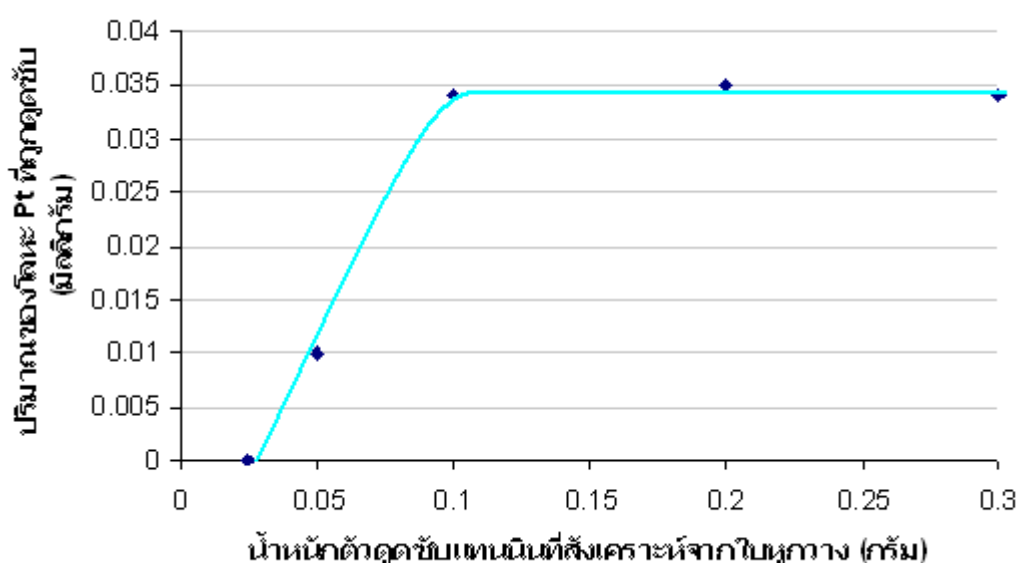
รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะพัลลาเดียม (ppm) กับปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมเพิ่มขึ้นจนถึงภาวะสมดุล โดยที่

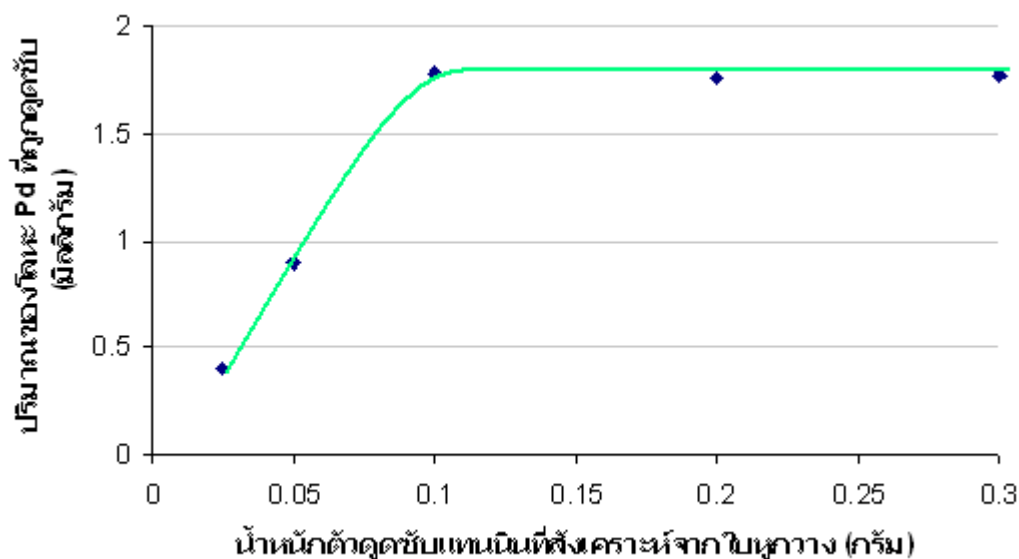
สภาวะสมดุลนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับแพลทินัมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม ทำปฏิกิริยากับไอออนของแพลทินัมที่ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัม 60 ppm คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมต่อตัวดูดซับ 1 : 600 และจากผลการทดลองการแยกพัลลาเดียม พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพัลลาเดียม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นจะลดลงจนถึงสภาวะสมดุล โดยที่จุดสูงสุดนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม ทำปฏิกิริยากับไอออนของพัลลาเดียมที่ความเข้มข้นของสารละลายพัลลาเดียม 95 ppm คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายพัลลาเดียมต่อตัวดูดซับ 1 : 950

- **น้ำหนักตัวดูดซับ**

น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางที่ศึกษาคือ 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและสารละลายพัลลาเดียม 60 และ 95 ppm ที่ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียมเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ ในสารละลาย 25 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 18 และ 19



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง (กรัม) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)



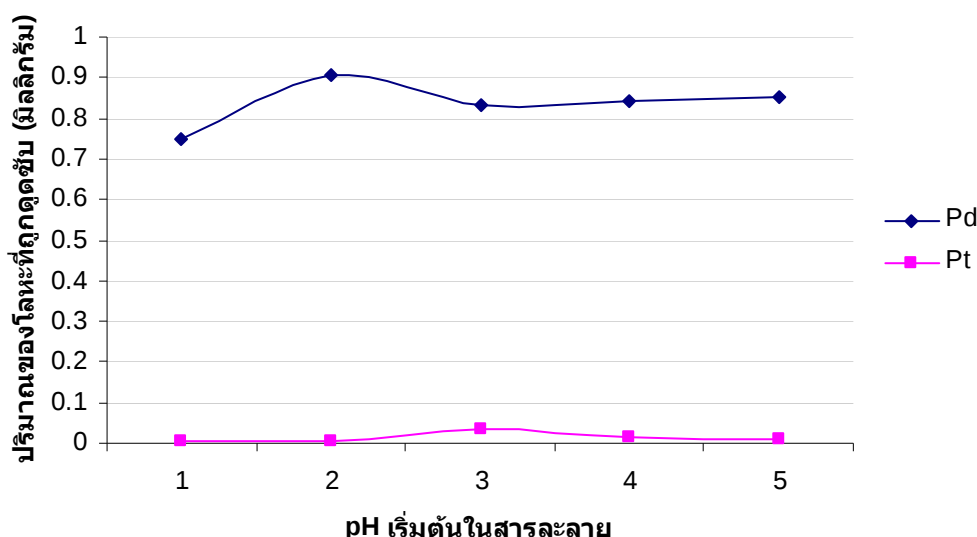
รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง (กรัม) กับปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่า น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.025, 0.05 และ 0.1 กรัม มีความสามารถในการแยกโลหะแตกต่างกัน แสดงว่าความสามารถในการดูดซับโลหะจะเพิ่มตามน้ำหนักของตัวดูดซับแทนนิน เนื่องจากความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายมีมากขึ้น เพราะปริมาณตัวดูดซับแทนนินมีมากขึ้นในสารละลายปริมาตรเท่าเดิม ทำให้เกิดสัมผัสนอกของโลหะในสารละลายได้มากขึ้น และที่ น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนิน 0.1, 0.2 และ 0.3 กรัม ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะ เนื่องจากเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว โดยที่สภาวะสมดุลของการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมคิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายโลหะต่อตัวดูดซับ 1 กรัม : 600 ppm และ 1 กรัม : 950 ppm ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง 2.1.3

5.2 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะผสม (แพลทินัมผสมพัลลาเดียม) ด้วยตัวดูดซับแทนนิน

- **pH เริ่มต้นในสารละลาย**

pH เริ่มต้นในสารละลายที่ศึกษาได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมคงที่คือ 50 ppm น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.2 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 20 พบว่าตัวดูดซับแทนนินสามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้มากที่สุดที่ pH 3 และ pH 2 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลอง 2.1.1 ซึ่งโดยทั่วไป pH 3 และ pH 2 เป็นค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม ตามลำดับ (Nilanjana, 2010; Mark และคณะ, 2007)



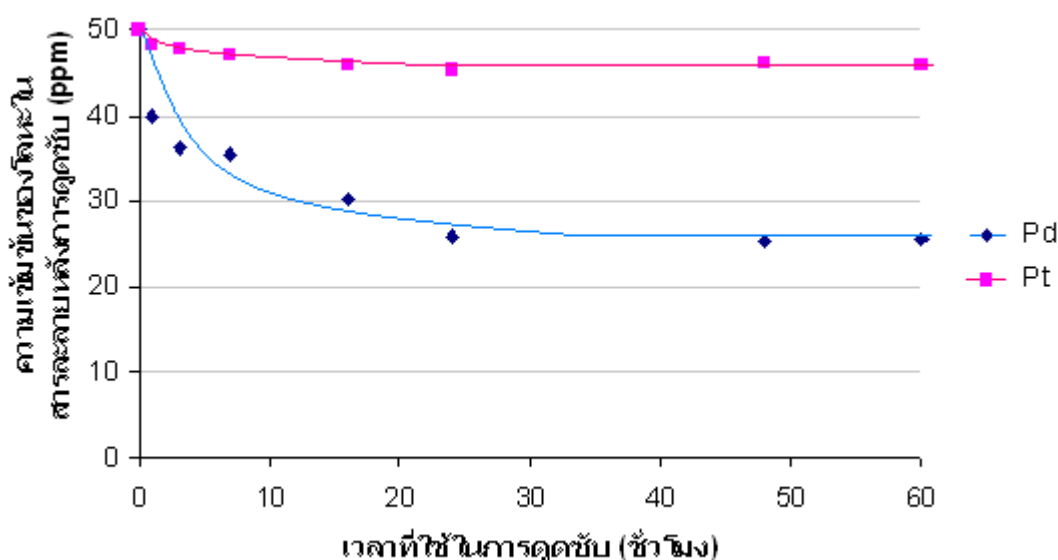
รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มค่า pH จาก 1 ถึง 5 ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกก่อนจะลดลง ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายด้วยกลไกของกระบวนการดูดซับเชิงเคมี โดยทั่วไปแล้วกลุ่ม phenolic hydroxyl ในแทนนินสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะในสารละลาย ซึ่งเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นก็จะทำให้องศาการเกิดไอออนไนเซชันของ phenolic hydroxyl เพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ในขณะเดียวกัน ชนิดประจุของโลหะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากประจุบวกเป็นกลางหรือเป็นประจุลบ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะจึงเริ่มลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นถึงขอบเขตนั้น (He-wei และคณะ, 2006) และจากรูปที่ 20 แสดงชัดเจนว่าที่ pH 2 เป็นค่าที่เหมาะสมใน

การแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมได้ดีที่สุดด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ดังนั้นค่า pH เริ่มต้นในสารละลายจึงเลือกใช้ pH 2 ตลอดการทดลอง

• เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

เวลาที่ใช้ในการดูดซับนั้น จะศึกษาในช่วงเวลา 1 - 60 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 50 ppm pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเท่ากับ 2 น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 21 ซึ่งพบว่า ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางสามารถดูดซับพัลลาเดียมได้ดีกว่าแพลทินัม โดยเริ่มมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 20 และ 30 ชั่วโมงเป็นต้นไป สำหรับแพลทินัมและพัลลาเดียม ตามลำดับ และมีความสามารถในการแยกพัลลาเดียม 5 มิลลิกรัม ในขณะที่แยกแพลทินัมได้เพียง 1 มิลลิกรัม

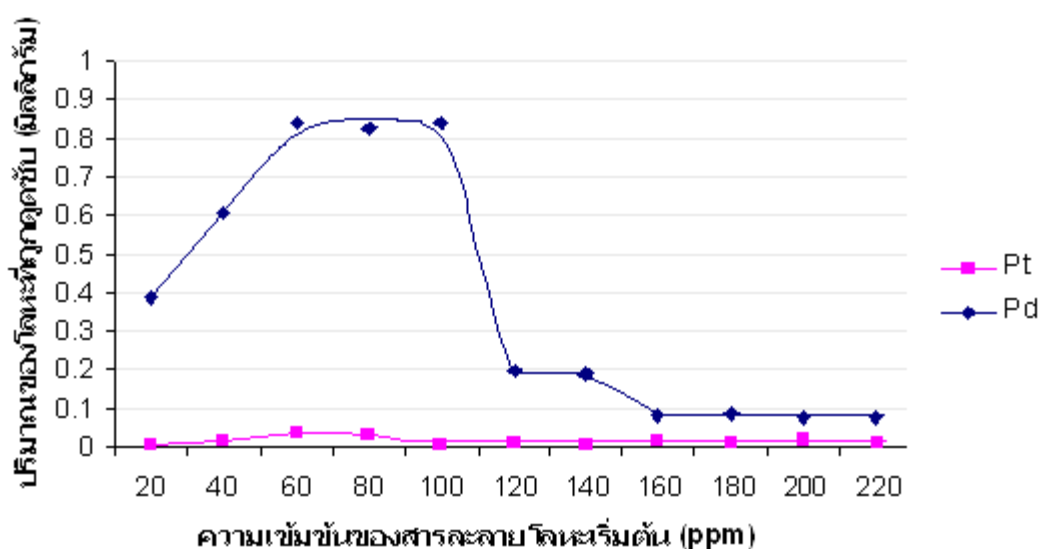


รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองแสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้เร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการดูดซับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาเฉพาะพื้นผิวของตัวดูดซับด้านนอกเท่านั้น ส่งผลให้ความต้านทานการแพร่ของการถ่ายเทมวลในระหว่างการดูดซับมีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้ จึงส่งผลให้เกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว (Xin และคณะ, 2009) และความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนถึงสภาวะสมดุล เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ก็จะสามารถหาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีต่อโลหะได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางคือ 30 ชั่วโมง

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม

ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 20 - 220 ppm น้ำตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเท่ากับ 2 ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 22 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมเพิ่มขึ้นจนถึงภาวะสมดุล โดยที่สภาวะสมดุลนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับแพลทินัมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.05 กรัม ทำปฏิกิริยากับไอออนของแพลทินัมที่ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 70 ppm และจากผลการทดลองยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นจะลดลงจนถึงภาวะสมดุล โดยที่จุดสูงสุดนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.05 กรัม ทำปฏิกิริยากับไอออนของพัลลาเดียมที่ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 70 ppm โดยความสามารถในการดูดซับโลหะที่มากที่สุดทั้งแพลทินัมและพัลลาเดียม คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายโลหะต่อตัวดูดซับ 1 กรัม : 1400 ppm เท่ากัน



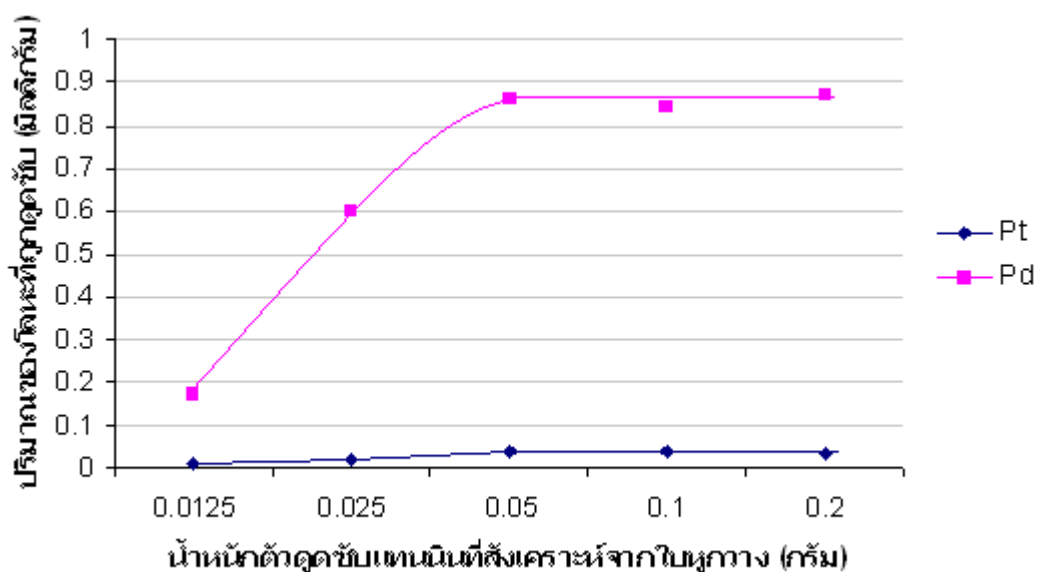
รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะเริ่มต้น (ppm) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นตามในช่วง 20 - 70 ppm สำหรับแพลทินัม

และ 20 – 80 ppm สำหรับพัลลาเดียม ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะมีค่าน้อย สัดส่วนโมลของปริมาณโลหะกับบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับที่ทำปฏิกิริยาจะมีค่าน้อยตาม (Nilanjana, 2010) อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นจาก 80 – 220 ppm ทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะแพลทินัมลดลง เนื่องจากเกิดการจำกัดของพื้นผิวของตัวดูดซับที่ทำปฏิกิริยา (Kensuke และคณะ, 2007) และความสามารถในการดูดซับโลหะพัลลาเดียมลดลงจนอาจกล่าวได้ว่าไม่เกิดการดูดซับพัลลาเดียม เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะพัลลาเดียมมีค่ามากขึ้น ไอออนของพัลลาเดียมอาจเกิด hydration force ไอออนของพัลลาเดียมจึงจับตัวกับน้ำมากกว่าที่จะทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับแทนนิน แสดงว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมที่เหมาะสมในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม คือ 70 ppm โดยตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม 0.76 และ 17.2 mg/g ตามลำดับ ซึ่งชี้ชัดเจนว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีความสามารถในการเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม และมีค่าการนำกลับพัลลาเดียม 87.50 % นั้นหมายความว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีประสิทธิภาพในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม

● น้ำหนักตัวดูดซับ

โดยศึกษาน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 และ 0.2 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 70 ppm ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเท่ากับ 2 ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง

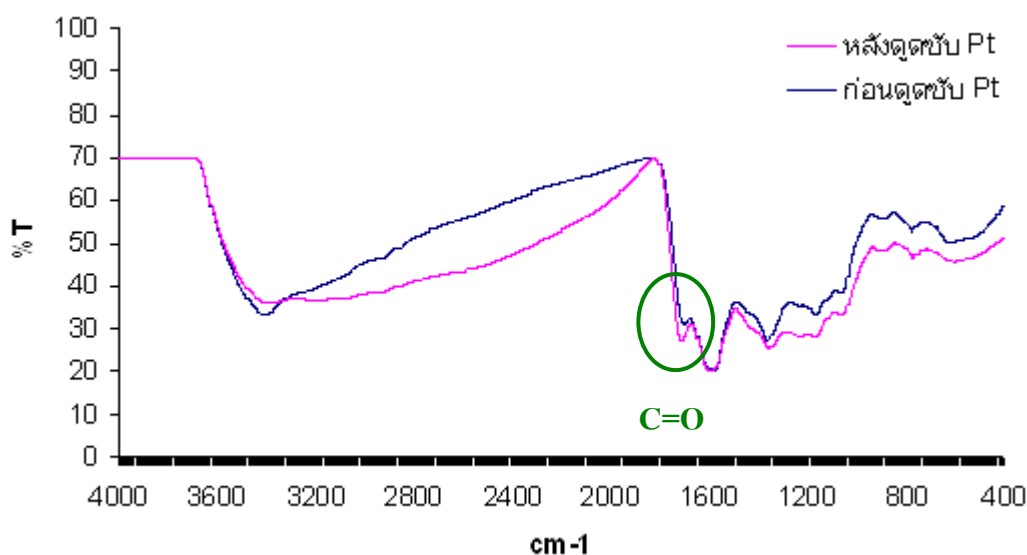
(กรัม) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวดูดซับจาก 0.0125 ถึง 0.05 กรัม ทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น จึงมีตำแหน่งที่ทำปฏิกิริยาการดูดซับเพิ่มขึ้น (Nilanjana, 2010) และเมื่อน้ำหนักตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับโลหะจะเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะสมดุล ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับกับปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับจึงมีลักษณะเส้นโค้งแบบ hyperbola (Akira และ Takashi, 1993) ซึ่งพบว่าที่สภาวะสมดุลของการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม มีความสามารถในการดูดซับสูงที่สุด คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายโลหะต่อตัวดูดซับ 1 กรัม: 1400 ppm สอดคล้องกับผลการทดลองด้านบน

5.3 การศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

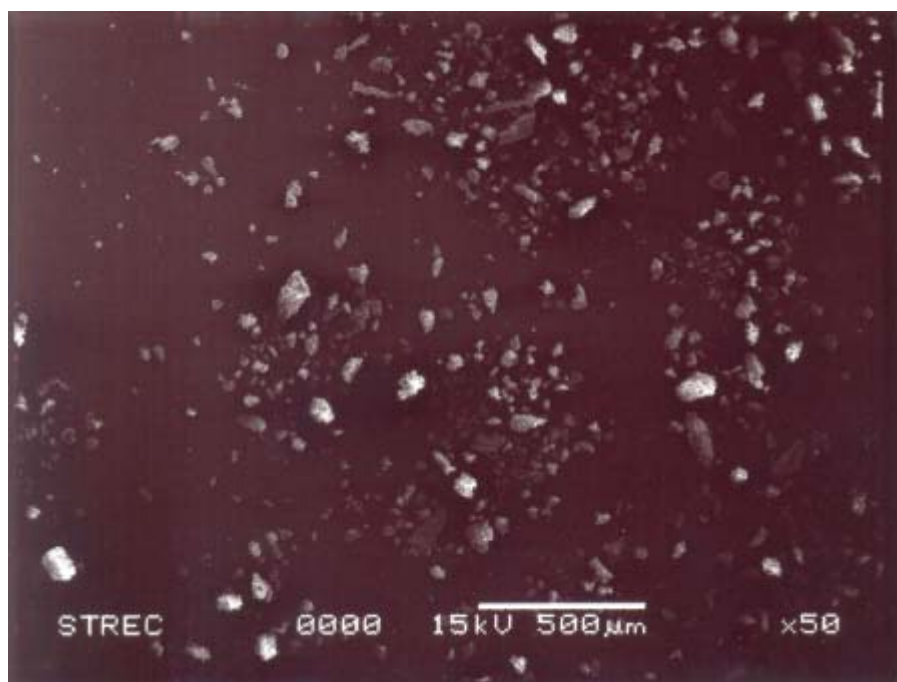
5.3.1 การแยกแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมด้วยตัวดูดซับแทนนิน

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง FT – IR ได้ผลดังรูปที่ 24



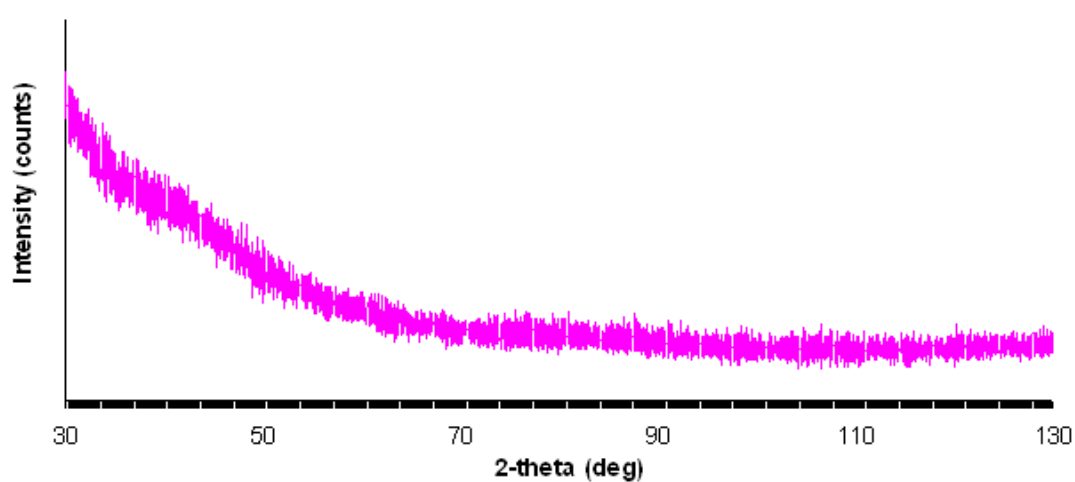
รูปที่ 24 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการดูดซับสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง FT-IR

การตรวจสอบพื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังรูปที่ 25



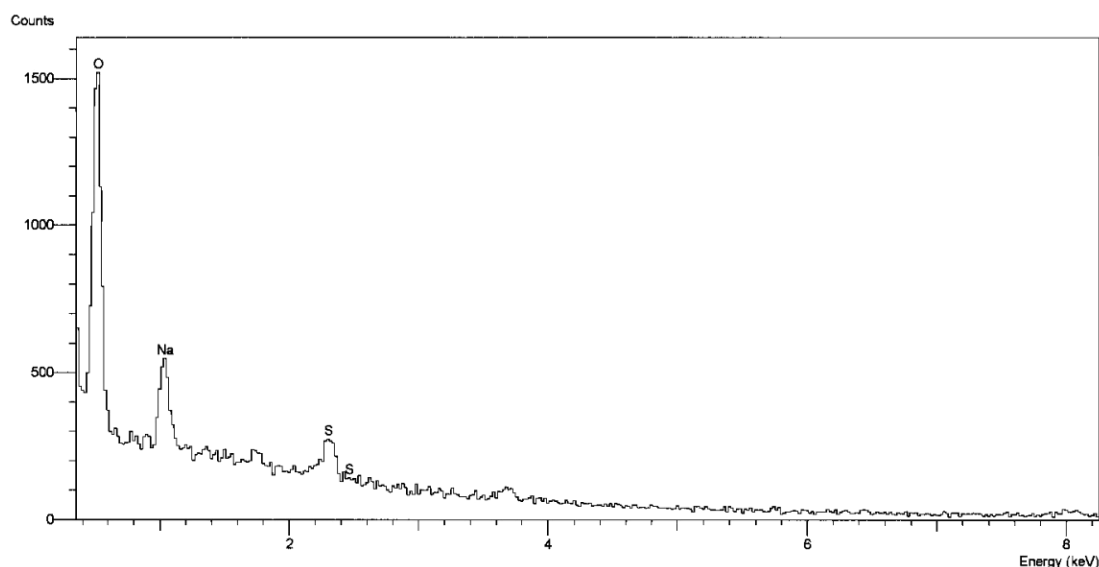
รูปที่ 25 พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ แพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง SEM

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 รูปแบบพีคที่มุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง XRD

การตรวจสอบชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง EDX ได้ผลดังรูปที่ 27

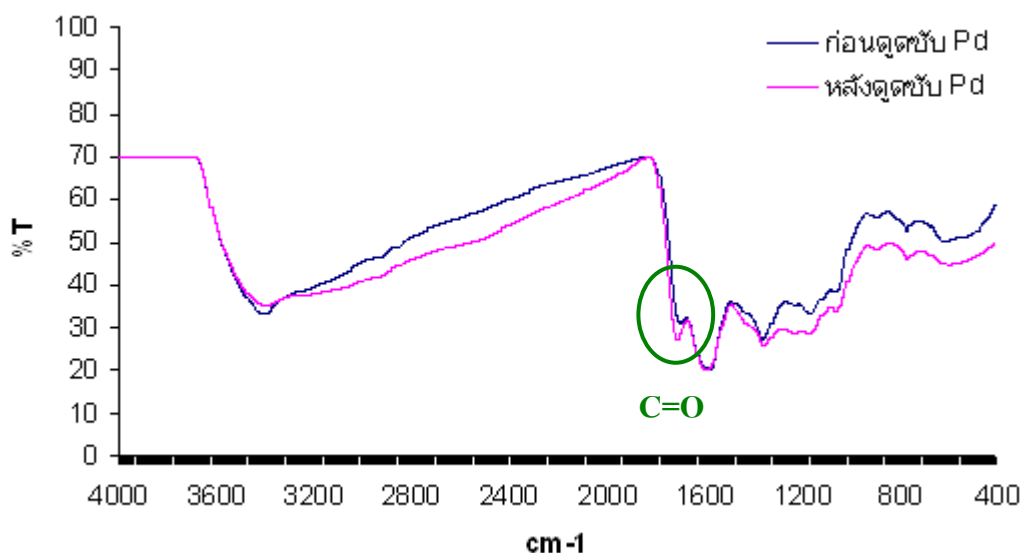


รูปที่ 27 ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง EDX

จากรูปที่ 24 พบว่าหมู่ฟังก์ชันของ carbonyl ในตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการดูดซับแพลทินัมมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่า Intensity มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่ากลุ่ม hydroxyl ในตัวดูดซับแทนนินถูก oxidize ไปเป็นกลุ่ม carbonyl (Takeshi Ogata และ Yoshio Nakano, 2005) นั้นหมายความว่ามีการทำปฏิกิริยาระหว่างไอออนของแพลทินัมกับหมู่ hydroxyl ของตัวดูดซับแทนนิน แต่เนื่องจากแพลทินัมมีการ form ตัวหลายแบบ โดยเฉพาะเมื่อแพลทินัมอยู่ในสารละลายคลอไรด์ จะชอบ form ตัวเป็นประจุบวกมากกว่าประจุลบ ซึ่งกลุ่ม hydroxyl ในแทนนินจะทำปฏิกิริยาเฉพาะกับโลหะที่ form ตัวเป็นประจุลบเท่านั้น ดังนั้นตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจึงดูดซับแพลทินัมได้น้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าตัวดูดซับแทนนินไม่สามารถดูดซับไอออนของแพลทินัมในสารละลายได้ ทำให้เมื่อนำตัวดูดซับแทนนินหลังการดูดซับไปตรวจสอบด้วย SEM, XRD และ EDX จึงไม่พบโลหะแพลทินัมบนตัวดูดซับแทนนิน

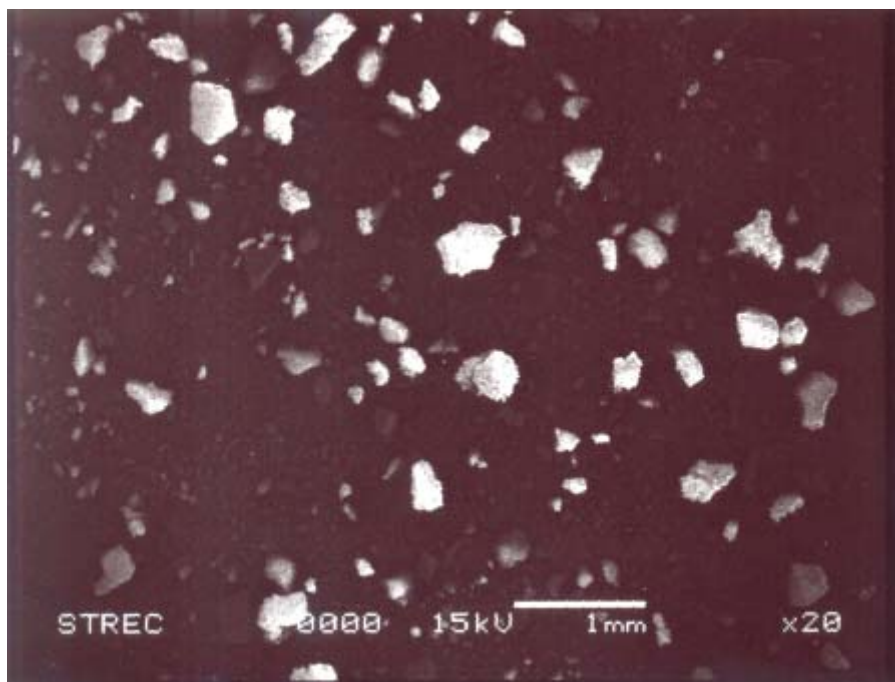
5.3.2 การแยกพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนิน

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายโลหะพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT – IR ได้ผลดังรูปที่ 28

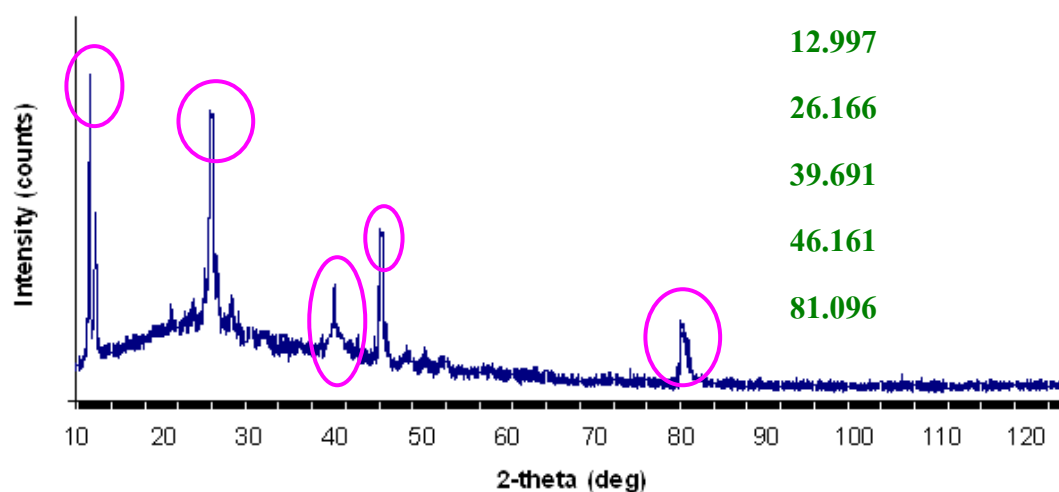


รูปที่ 28 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการดูดซับสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT-IR

การตรวจสอบพื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังรูปที่ 29 ส่วนการตรวจสอบโครงสร้างโลหะของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลดังรูปที่ 30

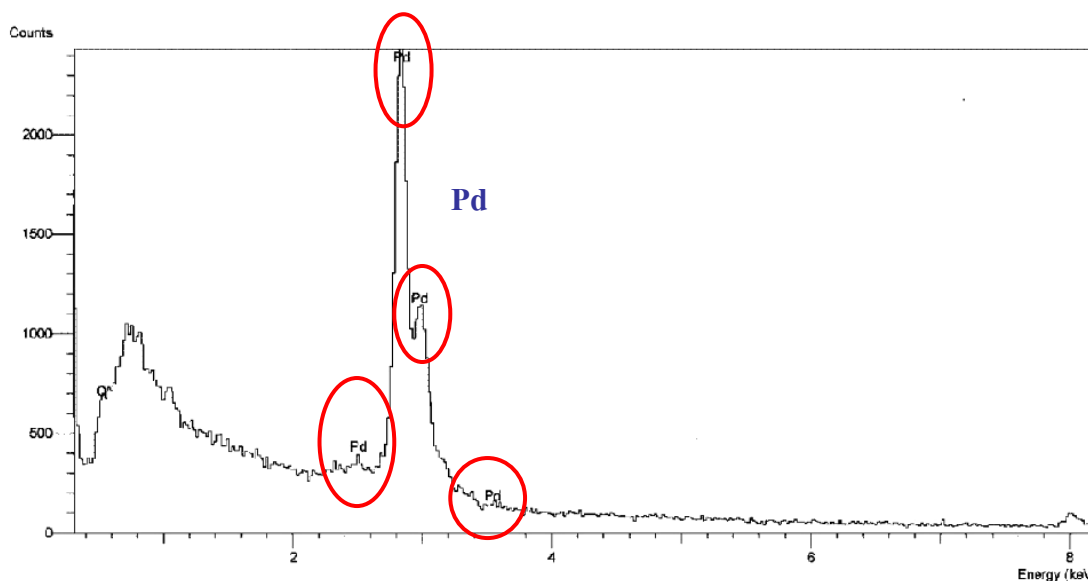


รูปที่ 29 พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ ฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียมด้วยเครื่อง SEM



รูปที่ 30 รูปแบบพีคที่มุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดดูดซับฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD

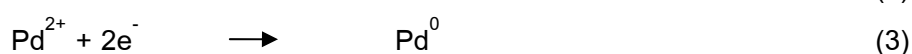
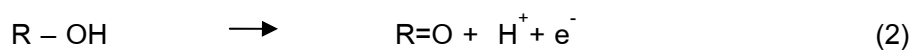
การตรวจสอบชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX ได้ผลดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดการ ดูดซับฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX

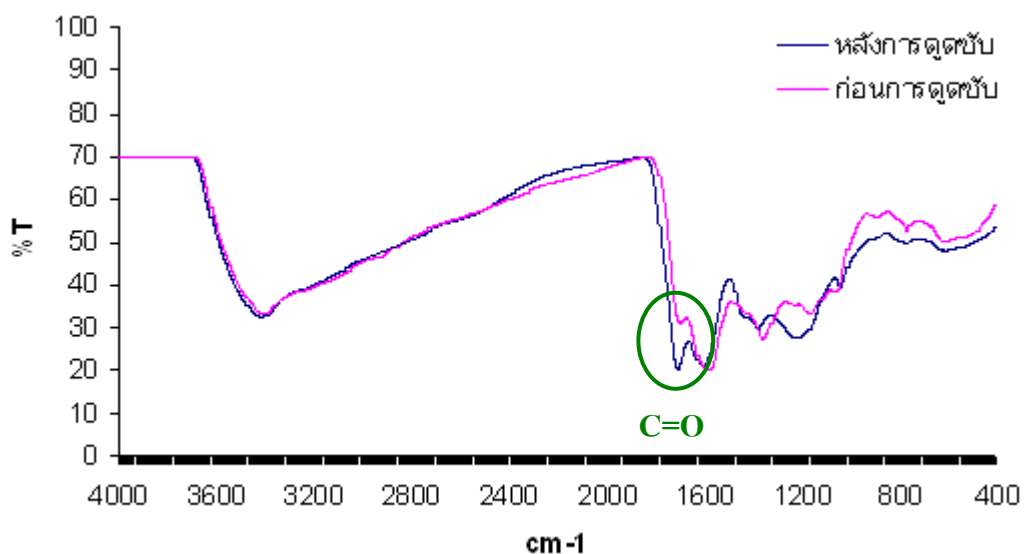
ผลการตรวจสอบตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายฟัลลาเดียมด้วย FT-IR พบว่ากลุ่ม C=O ของตัวดูดซับแทนนินหลังเกิดปฏิกิริยากับสารละลายฟัลลาเดียมมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเกิดปฏิกิริยา แสดงว่าหมู่ฟังก์ชัน O-H ของแทนนินถูก oxidize ไปเป็นกลุ่ม carbonyl และจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบอนุภาคของโลหะที่ผิวของตัวดูดซับแทนนิน จึงนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) พบว่ามีฟัลลาเดียมเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากรูปแบบ 2θ คือ 12.997, 26.166, 39.691, 46.161 และ 81.096 องศา ตรงกับรูปแบบของโลหะฟัลลาเดียม (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2011) และจากผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (EDX) ก็พบธาตุฟัลลาเดียมเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน

โดยกลไกการแยกฟัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางในสารละลายฟัลลาเดียม เกิดจากหมู่ฟังก์ชัน O-H ของตัวดูดซับแทนนินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ C=O จึงให้อิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการ (2) และเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับไอออนของฟัลลาเดียมในสารละลาย จึงเปลี่ยนไอออนของฟัลลาเดียมเป็นโลหะฟัลลาเดียมดังแสดงในสมการ(3)



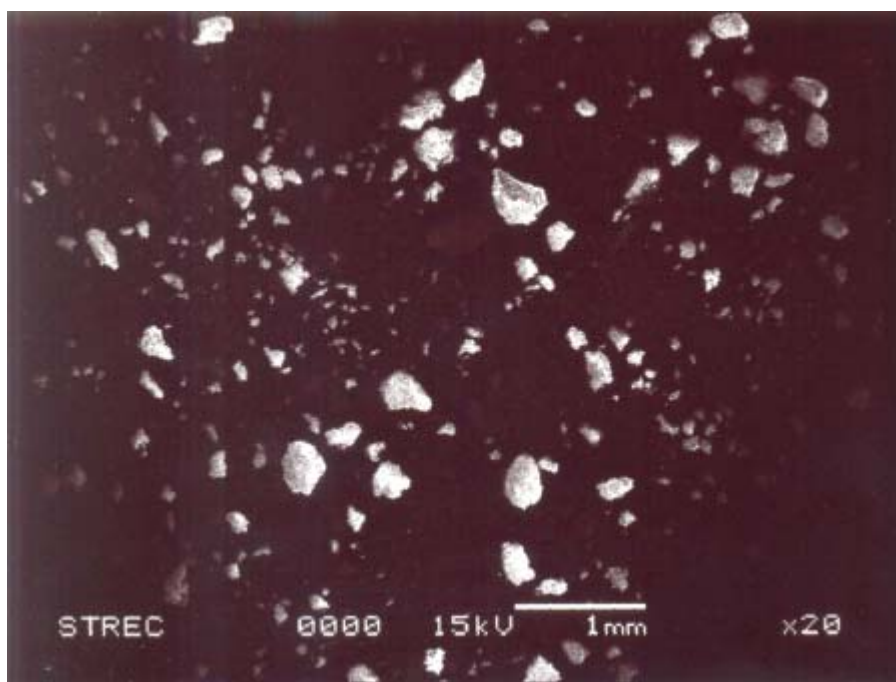
5.2 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะผสม (แพลทินัมผสมพัลลาเดียม) ด้วยตัวดูดซับแทนนิน

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT – IR ได้ผลดังรูปที่ 32



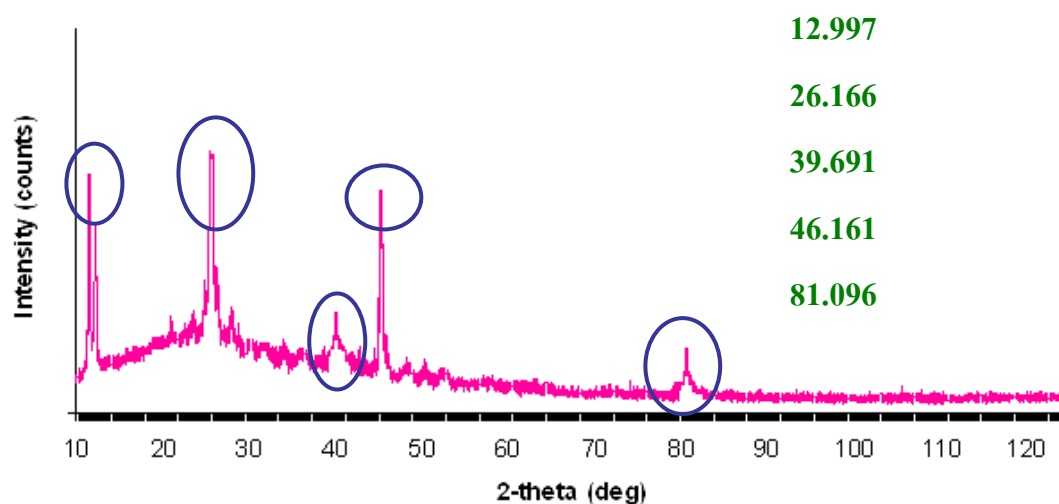
รูปที่ 32 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT-IR

การตรวจสอบพื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังรูปที่ 33

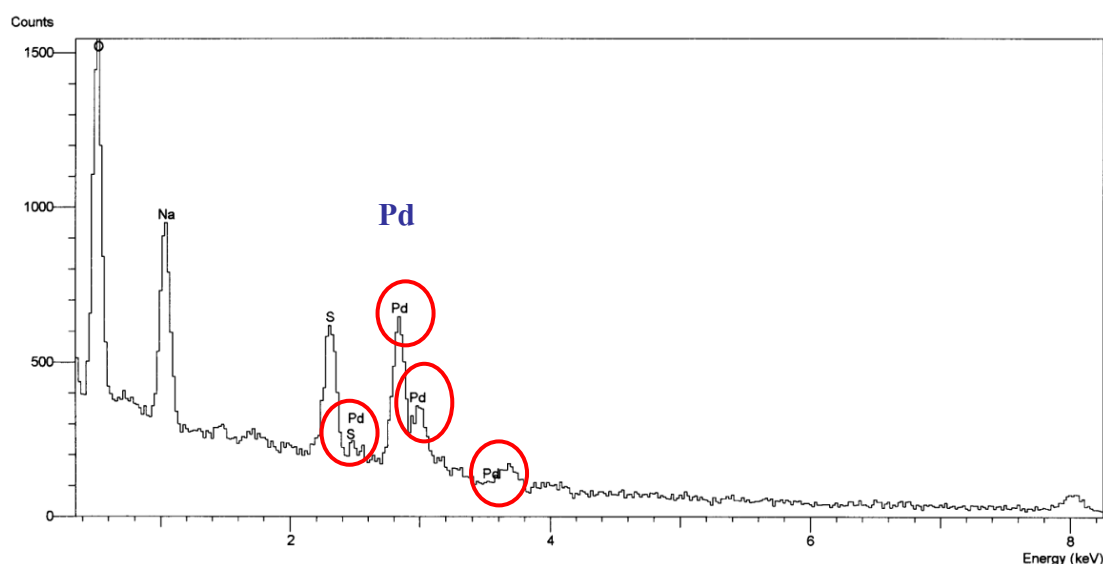


รูปที่ 33 พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ โลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลดังรูปที่ 34 ส่วนการตรวจสอบชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX ได้ผลดังรูปที่ 35



รูปที่ 34 รูปแบบพีคที่มุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD



รูปที่ 35 ชนิดองค์ประกอบของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX

ผลการตรวจสอบตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมด้วย FT-IR พบว่าความยาวคลื่นช่วง $1720 - 1710 \text{ cm}^{-1}$ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยช่วงความยาวคลื่นนี้คือกลุ่มของ carbonyl ซึ่งสอดคล้องกับ 3.1 ทำให้สรุปได้ว่ากลไกการแยกพัลลาเดียมเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างตัวดูดซับแทนนินและไอออนของพัลลาเดียม จึงเป็นผลทำให้เกิดการรีดิวซ์ไอออนพัลลาเดียม(Pd^{2+})เป็นโลหะพัลลาเดียม(Pd^0) จึงสามารถตรวจสอบพบโลหะพัลลาเดียมในตัวดูดซับแทนนินด้วยเครื่อง XRD, EDX และ SEM

จากผลการตรวจสอบด้วย FT-IR, XRD, EDX และ SEM แสดงชัดเจนว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม เนื่องจากปริมาณโลหะที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับได้และกลไกการดูดซับขึ้นกับการ form ตัวเป็นชนิดประจุของโลหะ โดยเมื่อพัลลาเดียมอยู่ในสารละลายคลอไรด์ พัลลาเดียมจะชอบ form ตัวเป็นประจุลบ เช่น PdCl_4^{2-} หรือ PdCl_3^- มากกว่าจะ form ตัวเป็นประจุบวก เช่น PdCl^+ หรือไม่มีประจุ เช่น PdCl_2 (Yeon Ho Kim และ Yoshio Nakano 2005) แต่

แพลทินัมจะชอบ form ตัวเป็นประจุบวกมากกว่า ส่งผลให้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง เลือกดูดซับเฉพาะฟัลลาเดียม จึงสรุปได้ว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางสามารถใช้เป็นตัวดูดซับในการแยกฟัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเดียมได้ โดยสามารถนำกลับฟัลลาเดียมได้ 87.50 % และตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมได้สูงถึง 17.20 mg/g ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมที่มากกว่าการใช้ตัวดูดซับชนิดอื่นเช่น การใช้ Nanometer-size titanium dioxide มีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียม 11.82 mg/g การใช้ Fe_3O_4 nano-particles มีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมประมาณ 10.96 - 11 mg/g การใช้ Modified nanometer-sized alumina มีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียม 7.60 mg/g และการใช้ Crosslinked carboxymethyl chitosan hydrogels มีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมเพียง 1.053 mg/g (Ramesh และคณะ, 2009)

6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

6.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแยกโลหะมีค่าจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชไทย แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช การแยกแพลทินัมและฟัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน และการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือใบยอและใบกระถิน โดยมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 3.71, 3.12 และ 2.30 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ
2. สามารถสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินได้จากการผสมพืชตัวอย่างกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ได้ตะกอนแทนนินสีดำและไม่ละลายน้ำ
3. ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบยอและใบกระถิน โดยมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.04, 5.27 และ 3.86 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ
4. สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางคือ สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายฟัลลาเดียมต่อน้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม: 950 ppm ปริมาตรสารละลาย 25 มิลลิลิตร pH 2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 40 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถดูดซับฟัลลาเดียมได้สูงที่สุด 18 mg/g

5. ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางเลือกดูดซับเฉพาะฟัลลาเตียม ทำให้สามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการแยกฟัลลาเตียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเตียมได้

6. สภาวะที่เหมาะสมในการแยกฟัลลาเตียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเตียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง คือสัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมฟัลลาเตียมต่อน้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม: 1400 ppm ปริมาตรสารละลาย 20 มิลลิลิตร pH 2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถดูดซับแพลทินัมได้สูงที่สุด 17.70 mg/g และมีค่าการนำกลับฟัลลาเตียม 87.50 %

7. กลไกการแยกฟัลลาเตียมด้วยตัวดูดซับแทนนินสังเคราะห์จากใบหูกวางเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ฟังก์ชันในแทนนินให้อิเล็กตรอน และเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยไอออนของฟัลลาเตียมในสารละลายรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นโลหะฟัลลาเตียม จึงสามารถตรวจสอบโลหะฟัลลาเตียมด้วยเครื่อง XRD และ EDX ได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินด้วยวิธีอื่นหรือเปลี่ยนพืชที่นำมาสังเคราะห์เนื่องจากในพืชแต่ละชนิดมีปริมาณแทนนินไม่เท่ากัน
2. ศึกษาการดูดซับโลหะชนิดอื่นด้วยตัวดูดซับแทนนินหรือศึกษาการดูดซับโลหะในสารละลายที่มีโลหะผสมอยู่หลายตัว เช่น ทองคำ แพลทินัมและฟัลลาเตียม
3. ศึกษาความสามารถในการดูดซับฟัลลาเตียมในสารละลายที่เป็นน้ำทิ้งจากโรงงาน ด้วยตัวดูดซับแทนนิน

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการส่งออก. สรุปภาวะการนำเข้าและส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับไทย ไตรมาสแรกปี 2549 [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 9 มกราคม 2553. เข้าถึงได้จาก www.dephtai.go.th/DEP/DOC/51/51008242.doc
- ธนัชชัย พิริยโสภสสกุล. “การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในสมุนไพร.” โครงการพิเศษปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2545.
- ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. “XRD Pattern ของแพลทินัมและฟัลลาเตียม.” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์. “ตำราเภสัชเวทเรื่องพิษแทนนิน.” ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2531.

สุเมธ บุญเกิด. กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. การใช้อัลตราซาวด์ในการช่วยสกัดพืชสมุนไพร [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2554. เข้าถึงได้จาก www.gpo.or.th/rdi/html/Ultrasonde.html

หทัยพร ศิริโนมารัตนา. “แทนนินกับเภสัชกรรม.” คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.
อุทัย โสธนะพันธ์. ภาควิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. การเตรียมสารสกัดสมุนไพรร
[ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2554. เข้าถึงได้จาก www.pharm.su.ac.th/jubkrasae/lecture/2-12%20Sotanaphun_U.pdf

Akira Nakajima และ Takashi Sakaguchi. “Uptake and Recovery of Gold by Immobilized Persimmon Tannin”, Journal of Chemical Technology & Biotechnology 57, 4 (February 1993): 321-326.

Ayhan I. Sengil and Mahmut Ozacar. “Biosorption of Cu(II) from aqueous solution by mimosa tannin gel”, Journal of Hazardous Materials 157, 2-3 (September 2008) : 277-285.

Ayhan I. Sengil et al. “Kinetic and isotherm studies of Cu(II) biosorption onto valonia tannin resin” Journal of Hazardous Materials 162, 2-3 (March 2009) : 1046-1052.

Ayhan I. Sengil and Mahmut Ozacar. “Competitive biosorption of Pb²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺ ions from aqueous solutions onto valonia tannin resin”, Journal of Hazardous Materials 166, 2-3 (July 2009): 1488-1494.

Digital Library for SchoolNet Thailand. Periodic Table [online]. Accessed 7 June 2010.
Available from <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Pd.html>

Durga Parajuli et al. “Persimmon peel gel for the selective recovery of gold”, Hydrometallurgy 87, 3-4 (July 2007): 133 - 139.

Edgar Charles Bate-Smith and Tony Swain. Flavonoid compounds. New-York : Scribner , 1962.

He-wei Ma et al. “Recovery of platinum(IV) and palladium(II) by bayberry tannin immobilized collagen fiber membrane from water solution”, Journal of Membrane Science 278, 1-2 (July 2006) : 373-380.

Kensuke Fujiwara et al. “Adsorption of platinum (IV), palladium (II) and gold (III) from aqueous solutions onto L-lysine modified crosslinked chitosan resin”, Journal of Hazardous Materials 146, 1-2 (July 2007) : 39-50.

Kononova O.N et al. “Ion exchange recovery of platinum from chloride solutions”, Hydrometallurgy 100, 3-4 (June 2010):161-167.

Limin Zhou et al. “Platinum(IV) recovery from chloride solution by functionalized acrylic copolymers”, Journal of Environmental Management 91, 1 (September 2009): 270-276.

Los Alamos National Laboratory's Chemistry Division. Platinum [online]. Accessed 7 June 2010.

Available from <http://periodic.lanl.gov/elements/78.html>

Mark C. et al. "Research review paper Biosorption of precious metals", Biotechnology Advances 25, 3 (May-June 2007): 264-271.

Meral Yurtsever and Ayhan I. Sengil. "Biosorption of Pb(II) ions by modified quebracho tannin resin", Journal of Hazardous Materials 163, 1 (April 2009) : 58-64.

Nilanjana Das. "Recovery of precious metal through biosorption – A review", Hydrometallurgy 103, 1-4 (June 2010) : 180-189.

Ramesh A. "Adsorption of gold(III), platinum(IV) and palladium(II) onto glycine modified crosslinked chitosan resin", Bioresource Technology 99, 9 (June 2008) : 3801-3809.

Roza Dimeska et al. "Platinum Recovery Using Inherently conducting polymers and common fabrics", Fibers and Polymers 8, 5 (August 2007) : 463-9.

Seader J. D. and Ernest J. Henley. Separation Process Principles. New-York: Wiley, 2006.

Sébastien Rauch and Gregory M. Morrison. "Platinum uptake by the freshwater isopod *Asellus Aquaticus* in urban rivers", The Science of the Total Environment 8, 1-3 (September 1999): 261-268.

Takeshi Ogata and Yoshi Nakano. "Mechanisms of gold recovery from aqueous solutions using a novel tannin gel adsorbent synthesized from natural condensed tannin", Water Res 39, 18 (November 2005): 4281-4286.

The Massachusetts Institute of Technology. Platinum [online]. Accessed 7 June 2010.

Available from <http://www.chemicool.com/elements/platinum.html>

The University of Sheffield and Web element Ltd. Platinum [online]. Accessed 7 June 2010.

Available from <http://www.webelements.com/platinum>

Violeta Neagu et al. "Platinum(IV) recovery from chloride solution by functionalized acrylic copolymers", Journal of Environmental Management 91, 1 (October 2009) : 270-276.

Weerawat Patthaveekongka et al. "Selective recovery of palladium from used aqua regia by hollow fiber supported with liquid membrane", Korean Journal of Chemical Engineer 20, 6 (July2003): 1092 - 1096.

Wikimedia Foundation Inc. Palladium [online]. Accessed 7 June 2010. Available from

<http://en.wikipedia.org/wiki/Palladium>

Wikimedia Foundation Inc. Platinum [online]. Accessed 7 June 2010. Available from

<http://en.wikipedia.org/wiki/Platinum>

- Xin Huang, Xuepin Liao and Bi Shi. "Hg(II) removal from aqueous solution by bayberry tannin-immobilized collagen fiber", Journal of Hazardous Materials 170, 2-3 (October 2009): 1141-1148.
- Xuepin Liao et al. "Collagen-Fiber-Immobilized Tannins and Their Adsorption of Au(III)", Industrial and Engineering Chemistry Research 43, 9 (March 2004) : 2222-2227.
- Yeon Ho Kim and Yoshio Nakano. "Adsorption mechanism of palladium by redox within condensed-tannin gel" Water Research 39, 7 (April 2005) : 1324-1330.
- Yunhang Zeng et al. "Recovery of Th(IV) from aqueous solution by reassembled collagen-tannin fiber adsorbent", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 280, 1 (January 2009): 91-98.

7. ผลงาน/หัวข้อเรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1. ชื่อเรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์: Biosorption of palladium(II) and platinum(IV) from aqueous solution using tannin from Indian almond (*Terminalia catappa* L.) leaf biomass: Kinetic and equilibrium studies
ชื่อวารสารที่ลงตีพิมพ์ : Chemical Engineering Journal, Volumes 193–194, (2012), pp.102–111
2. ชื่อเรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์: Mass transport modeling and analysis on the mutual separation of lanthanum(III) and cerium(IV) through a hollow fiber supported liquid membrane
ชื่อวารสารที่ลงตีพิมพ์ : Journal of Industrial and Engineering Chemistry (inpress)