



การดูฉบับไอออนไลน์มีค่าด้วยแทนนินจากพืชไทย

# มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

โดย

นางสาวณัชฌา ญาณชวกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การดูฉบับไอออนไลน์ที่มีค่าด้วยแทนนินจากพืชไทย

โดย

นางสาวชญานภา ญาณชวกุล

# มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**ADSORPTION OF PRECIOUS METAL IONS BY TANNIN FROM THAI PLANT**

**By**

**Yachanapha Yanachawakul**

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree**

**MASTER OF ENGINEERING**

**Department of Chemical Engineering**

**Graduate School**

**SILPAKORN UNIVERSITY**

**2010**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การดูดซับไอออนโลหะมีค่าด้วยแทนนินจากพืชไทย” เสนอโดย นางสาวอุษาชานาภา ญาณชวกุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัทสนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนันท์ ลิพิพัฒน์ไพบูลย์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์  
..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิตติพงษ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เอมมา อาสนจินดา)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุวิมล วงศ์สกุลเกษ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนันท์ ลิพิพัฒน์ไพบูลย์)

...../...../.....

52404202 : สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คำสำคัญ : โลหะมีค่า/ แพลทินัม/ พัลลาเดียม/ การดูดซับ/ แทนนิน

ผู้นาวิชา : ญาณชวกุล : การดูดซับไอออนโลหะมีค่าด้วยแทนนินจากพืชไทย. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ประกร รามกุล และ ผศ.ดร.ฉัฐชนัน ธิพิพัฒนไพบูลย์. 71 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกโลหะมีค่า ได้แก่ แพลทินัมและพัลลาเดียมโดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชไทย แบ่งการทดลองได้ 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน และการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ (1) การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง 3 ชนิด พบว่าใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือใบข่อยและใบกระถิน ซึ่งมีปริมาณแทนนิน 3.71, 3.12 และ 2.30 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินจากพืช 3 ชนิด พบว่าได้ตะกอนตัวดูดซับแทนนินสีดำและไม่ละลายน้ำ และการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่ได้ทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือใบข่อยและใบกระถิน 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 ให้ไฮดรอกซิเจน และเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยไอออนโลหะพัลลาเดียมในสารละลายรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นโลหะพัลลาเดียม สามารถตรวจสอบพบโลหะพัลลาเดียมในตัวดูดซับแทนนินด้วยเครื่อง XRD EDX และ SEM

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. .... 2. ....

52404202 : MAJOR : CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORDS : PRECIOUS METAL/ PLATINUM/ PALLADIUM/ ADSORPTION/ TANNIN

YACHANAPHA YANACHAWAKUL : ADSORPTION OF PRECIOUS METAL IONS BY TANNIN FROM THAI PLANT. THESIS ADVISORS : ASST.PROF.PRAKORN RAMAKUL, PhD. AND ASST.PROF. NATCHANUN LEEPIPATPIBOON, PhD. 71 pp.

This thesis is the study of precious metal recovery 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 tannin in three kinds of plant, namely Indian Almond leaves, Indian Mulberry leaves and White Popinac leaves were analyzed and the amounts of tannin in Indian Almond leaves, Indian Mulberry leaves and White Popinac leaves were found to be 3.71, 3.12 and 2.30 mg/g sample, respectively. The black and insoluble precipitate of synthesized tannin adsorbent was resulted from the mixing of the above leaves with concentrated sulfuric acid. 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 capacity 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 was 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 facts indicate that tannin adsorbent can be used as an adsorbent for effective separate of palladium from platinum.

---

Department of Chemical Engineering

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2010

Student's signature .....

Thesis Advisors' signature 1. .... 2. ....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนันต์ ลิฬพัฒน์ไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาระหว่างการดำเนินงาน ตรวจสอบ แก้ไขปัญหาข้อผิดพลาดและชี้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัยที่ถูกต้อง และกรรมการทุกท่าน ที่ได้ สละเวลาให้คำแนะนำงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนการวิจัยในด้านเครื่องมือและสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านในศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้คำปรึกษา

ที่สำคัญที่สุด ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ สำหรับกำลังใจและการให้ความสนับสนุน ส่งเสริมการศึกษามาโดยตลอด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1    บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
จุดประสงค์ของการวิจัย.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
2    ทฤษฎี.....	8
แพลทินัม.....	8
พัลลาเดียม.....	10
การดูดซับ .....	11
แทนนิน .....	12
3    การทดลอง.....	16
วัสดุและสารเคมี.....	16
เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	16
วิธีการทดลอง .....	17
การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช.....	17
การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน .....	18
การศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน .....	20
4    ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	21
ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช .....	21
ผลการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน .....	27



บทที่	หน้า
ผลการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน .....	39
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	51
สรุปผลการทดลอง .....	51
ข้อเสนอแนะ .....	52
บรรณานุกรม .....	53
ภาคผนวก .....	56
ภาคผนวก ก .....	57
ภาคผนวก ข .....	60
ภาคผนวก ค .....	69

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์  
 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ 71

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติต่างๆของแพลทินัม .....	9
2	คุณสมบัติต่างๆของแพลเลเดียม .....	10
3	ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากพืชตัวอย่างโดยวิธีชอห์คเลต .....	21
4	ช่วงความยาวคลื่นของพันธะต่างๆในแทนนิน .....	25
5	ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากตัวดูดซับแทนนินโดยวิธีชอห์คเลต .....	26
6	ข้อมูลผลการทดลองหาปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้โดยวิธีชอห์คเลต .....	61
7	ข้อมูลผลการทดลองการวัดค่า Absorbance ของสารละลายกรดแกลลิกจากเครื่อง ตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนคลื่นแสง .....	61
8	ข้อมูลผลการทดลองการหาความสามารถในการดูดซับแพลทินัมในสารละลาย แพลทินัม 35 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์ จากพืชตัวอย่าง 0.25 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง .....	62
9	ข้อมูลผลการทดลองการหาความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลาย พัลลาเดียม 35 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สัง- เคราะห์จากพืชตัวอย่าง 0.25 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง .....	63
10	ข้อมูลผลการทดลองเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม 35 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์ จากใบหูกวาง 0.1 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง .....	64
11	ข้อมูลผลการทดลองแสดงเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของพัลลาเดียมในสารละลาย พัลลาเดียม 35 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่ สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง .....	64
12	ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับแพลทินัมในสารละลาย แพลทินัม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์ จากใบหูกวาง 0.1 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ..	65
13	ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลาย พัลลาเดียม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์ จากใบหูกวาง 0.1 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง...	65

- 14 ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับแพลทินัมในสารละลาย  
แพลทินัม 60 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนิน  
ที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง  
ที่อุณหภูมิห้อง ..... 66
- 15 ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลาย  
พัลลาเดียม 95 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนิน  
ที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง  
ที่อุณหภูมิห้อง..... 66
- 16 ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม  
ในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 50 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดย  
ใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.2 กรัม เวลาที่ใช้ในการ  
ดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง..... 67
- 17 ข้อมูลผลการทดลองแสดงเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของแพลทินัมและพัลลาเดียมใน  
สารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 50 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้  
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง..... 67
- 18 ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม  
ในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้  
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ  
48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง..... 68
- 19 ข้อมูลผลการทดลองแสดงความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม  
ในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 70 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 2  
โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ  
48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง..... 68

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ราคาเปรียบเทียบระหว่างแพลทินัม พัลลาเดียมและทองคำ (ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ ออนซ์) ระหว่างปี 1987-2007.....	2
2	โครงสร้างของแทนนินชนิดรวมตัวแน่น .....	13
3	โครงสร้างแทนนินชนิดสลายตัวได้ .....	14
4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินจากใบหูกวาง ใบข่อยและใบกระถิน .....	22
5	ตะกอนแทนนินที่ได้จากใบหูกวาง.....	23
6	ตะกอนแทนนินที่ได้จากใบข่อย .....	23
7	ตะกอนแทนนินที่ได้จากใบกระถิน .....	23
8	รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางด้วยเครื่อง FT-IR .....	24
9	รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบข่อยด้วยเครื่อง FT-IR.....	24
10	รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบกระถินด้วยเครื่อง FT-IR .....	25
11	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินจากใบหูกวาง ใบข่อยและใบกระถินก่อนและ หลังการสังเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR.....	26
12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะ แพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	28
13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะ พัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	28
14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับความ เข้มข้นของโลหะแพลทินัมในสารละลายหลังการดูดซับ (ppm) .....	29
15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับความ เข้มข้นของโลหะพัลลาเดียมในสารละลายหลังการดูดซับ (ppm) .....	30
16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะแพลทินัม (ppm) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	31
17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะพัลลาเดียม (ppm) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	31
18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จาก ใบหูกวาง(กรัม) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) ....	33

ภาพที่		หน้า
19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จาก ไบฮุกวาง(กรัม) กับปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) ...	33
20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะ แพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) .....	35
21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับปริมาณของ โลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	36
22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะเริ่มต้น (ppm) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	37
23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบ ฮุกวาง(กรัม) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม).....	38
24	รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางก่อนและหลัง การดูดซับสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง FT-IR .....	39
25	พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ แพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง SEM .....	40
26	รูปแบบพีคที่มุม 2 $\theta$ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางหลังเกิดการ ดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง XRD.....	40
27	ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางหลังเกิดการ ดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง EDX.....	41
28	รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางก่อนและหลัง การดูดซับสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT-IR .....	42
29	พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ พัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM .....	43
30	รูปแบบพีคที่มุม 2 $\theta$ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางหลังเกิดการ ดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD .....	44
31	ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางหลัง เกิดการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX .....	45

ภาพที่		หน้า
32	รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและ หลังการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT-IR .....	46
33	พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการ ดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM.....	47
34	รูปแบบพีคของมุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลัง เกิดการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD	48
35	ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลัง เกิดการดูดซับโลหะในสารละลายโลหะผสม ด้วยเครื่อง EDX .....	49
36	กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกจากเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืน คลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร .....	62

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## บทที่ 1

### บทนำ

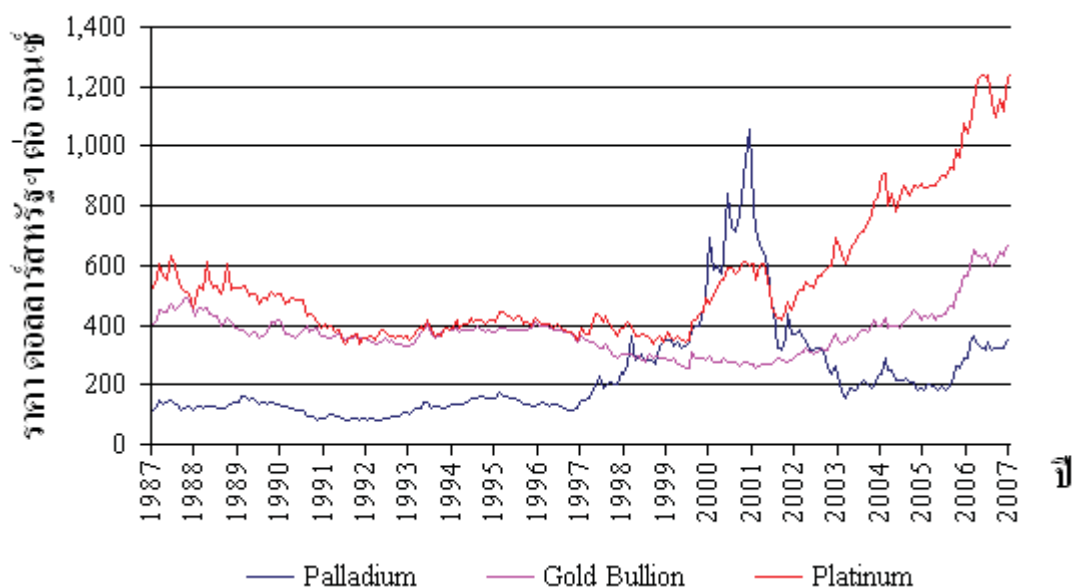
#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

โลหะมีค่ากลุ่มแพลทินัม (Platinum group metals) ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเคมี ยาต้านโรคมะเร็ง ทันตกรรม ปีโตรเลียมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสมบัติพิเศษทางกายภาพและทางเคมี (Roza Dimeska et al. 2007 ; Kononova O.N et al. 2010 ; Sébastien Rauch and Gregory M. Morrison 1999) โดยในปัจจุบันความต้องการใช้โลหะกลุ่มแพลทินัมยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณความต้องการสวนทางกับปริมาณโลหะที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ (He-wei Ma et al. 2006 ; Kensuke Fujiwara et al. 2007) ซึ่งปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยมีการพัฒนาเทคโนโลยีและขยายกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการส่งออก 2009) ดังนั้นน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตจึงเพิ่มปริมาณสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าในน้ำทิ้งดังกล่าว ยังคงมีไอออนของโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ เช่น แพลทินัมและพัลลาเดียม (Weerawat Patthaveekongka et al. 2003) ซึ่งเป็นโลหะที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับทองคำ ดังแสดงในรูปที่ 1 จึงจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาปรับปรุงวิธีการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลาย เพื่อเป็นการลดความสูญเสียค่าใช้จ่ายของทางอุตสาหกรรม และยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

มีวิธีการต่างๆ ในการแยกโลหะ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การแลกเปลี่ยนไอออน การแยกด้วยเมมเบรนและการดูดซับ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการแยกโลหะมีค่าที่อยู่ในสารละลาย เมื่อเปรียบเทียบวิธีการต่างๆ พบว่า การดูดซับดูเหมือนจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแยกโลหะมีค่าในกรณีที่มีความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพ (Limin Zhou et al. 2009 ; Ramesh A. et al. 2008 ; Violeta Neagu et al. 2009)

แทนนินคือสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอลในธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด ผล รากและเปลือก ซึ่งแทนนินมีความสามารถในการตะกอนไอออนโลหะได้หลายชนิด (Xuepin Liao et al. 2004 ; Ayhan I. Sengil et al 2009 ; Meral Yurtsever and Ayhan I. Sengil 2009) ในปีที่ผ่านมา งานวิจัยได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับสารชีวมวลมากขึ้น ส่งผลให้การใช้แทนนินเป็นตัวดูดซับจึงมีมากขึ้น

ดังนั้นตัวดูดซับที่ทำจากแทนนินจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับดูดซับไอออนของแพลทินัมและพัลลาเดียมออกจากสารละลาย



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

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้แทนนินเป็นตัวดูดซับในการแยกโลหะจากสารละลาย มีตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงปี 2002-2009 ดังต่อไปนี้ การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายโดยใช้เมมเบรนจาก bayberry tannin-immobilized collagen fiber, แทนนินที่มีเส้นใยคอลลาเจนและการดูดซับทองคำ, การดูดซับไอออนของตะกั่วโดยใช้ modified quebracho tannin resin, กลไกการแยกทองคำจากสารละลายโดยใช้นวัตกรรมแทนนินเจลจาก natural condensed tannin, การใช้เจลจากเปลือกลูกพลับในการแยกทองคำ, การดูดซับทองแดงในสารละลายโดยใช้แทนนินเจลจากต้นไมยราบ, การแยกไอออนของปรอทจากสารละลายโดยใช้ bayberry tannin-immobilized collagen fiber, การแยกทอเรียมจากสารละลายโดยใช้ตัวดูดซับคอลลาเจนแทนนินไฟเบอร์ และการดูดซับแบบแข่งขันของไอออนตะกั่ว ทองแดงและสังกะสีในสารละลายโดยใช้แทนนินเรซินที่ทำจากสาหร่ายพวงองุ่น

He-wei Ma et al. (2006) ได้ทำการสร้างชุดอุปกรณ์เมมเบรน โดยนำ bayberry tannin-immobilized collagen fiber มาใส่ใน plate ซึ่งแต่ละ plate มีพื้นที่ 63.6 ตารางเซนติเมตร และมี



ระยะห่างระหว่าง plate 50 มิลลิเมตร จำนวนทั้งหมด 3 ชั้น พบว่าการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมด้วย bayberry tannin-immobilized collagen fiber มีค่า pH ที่เหมาะสมคือ 3 และ 4 ตามลำดับ สามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้ถึง 30.8 และ 22.4 mg/g ตามลำดับ ส่วนจลนศาสตร์การดูดซับ สอดคล้องตาม pseudo-second order และ isotherm สอดคล้องตาม Langmuir เมื่อใช้ bayberry tannin-immobilized collagen fiber 0.1 กรัม ที่อุณหภูมิ 293 K สามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้ 68.4 และ 44.2 % ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวดูดซับเป็น 0.4 กรัม พบว่าสามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้เพิ่มขึ้นถึง 97.4 และ 95 % ตามลำดับ โดยความสามารถในการดูดซับยังเพิ่มตามอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 293 เป็น 313 K พบว่าความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นเป็น 68.4 และ 92.8% ตามลำดับ แม้ใช้ตัวดูดซับเพียง 0.1 กรัมเท่าเดิม และเมื่อนำแพลทินัมและพัลลาเดียมมาผสมกับโลหะชนิดอื่น คือแมงกานีส สังกะสีและทองแดง พบว่าการใช้เมมเบรนเพียงชั้นเดียวสามารถเลือกดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่น ซึ่งสามารถแยกทองแดง สังกะสีและแมงกานีสออกจากตัวดูดซับได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.1 M และแยกแพลทินัมออกจากพัลลาเดียมได้โดยใช้ thiourea 0.1 M แสดงว่า bayberry tannin-immobilized collagen fiber สามารถเลือกแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายที่มีโลหะชนิดอื่นผสมอยู่ได้

Xuepin Liao et al. (2004) ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับทองคำระหว่าง

แทนนินที่มาจากเปลือกของต้นเบเบอร์รี่และต้นสนลาร์ช ชนิดของกระบวนการดูดซับ และจลนศาสตร์ของกระบวนการดูดซับทองคำ ซึ่งจากการสกัดด้วยอะซิโตนกับน้ำให้ค่าแทนนินจากเปลือกต้นเบเบอร์รี่ 76.3 % และเปลือกต้นสนลาร์ช 72.7% จากนั้นนำผงแทนนินที่ได้มาผสมกับเส้นใยคอลลาเจนที่มาจากหนังสัตว์ เพื่อป้องกันไม่ให้แทนนินละลายน้ำระหว่างการดูดซับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับของเบเบอร์รี่แทนนินมีมากกว่าลาร์ชแทนนินถึงประมาณ 10% เนื่องจากโครงสร้างที่แตกต่างกันของพืชสองชนิดนี้ ซึ่งเบเบอร์รี่แทนนินมีหมู่ของฟีนอลมากกว่าลาร์ชแทนนินนั่นเอง และจากการทดลองหาความสามารถในการดูดซับทองคำที่อุณหภูมิต่างๆของสารละลายทองคำ พบว่าความสามารถในการดูดซับทองคำแปรผันตามอุณหภูมิ แสดงว่าเป็นกระบวนการดูดซับเชิงเคมี ทำวิเคราะห์ความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ พบว่าสอดคล้องตามสมการของไอโซเทอม Langmuir และจากการศึกษาหาจลนศาสตร์ของกระบวนการดูดซับทองคำด้วยแทนนินในสารละลายทองคำ พบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาสอดคล้องตาม Pseudo second order

Meral Yurtsever and I. Ayhan Sengil (2009) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่วในสารละลายโดยใช้ modified quebracho tannin resin ที่สภาวะต่างๆคือ pH เริ่มต้นของ

สารละลาย ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วและเวลา พบว่าความสามารถในการดูดซับ ตะกั่วขึ้นกับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นตาม แสดงว่าเป็น กระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน ที่ pH 5 แแทนนินเรซินสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงที่สุด นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วสูงขึ้น พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 150 mg/g แแทนนินเรซินสามารถดูดซับตะกั่วได้ถึง 83.517 mg/g และแทนนินเรซินใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเพียง 10 นาที ซึ่งไม่ขึ้นกับความเข้มข้น เริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว จากข้อมูลที่สภาวะสมดุลพบว่าไอโซเทอมของการดูดซับสอดคล้องตาม Langmuir ส่วนจลนศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องตาม pseudo second order และที่สภาวะ pH 5 อุณหภูมิ 296 K แแทนนินเรซินสามารถดูดซับปรอทได้มากที่สุดถึง 86.207 mg/g

Takeshi Ogata and Yoshi Nakano (2005) ศึกษาการแยกทองคำออกจากสารละลายทอง มาตรฐานโดยใช้แทนนินเจลในการแยก ซึ่งการดูดซับทองคำ เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน โดย trivalent ของไอออนทองคำไปเป็นโลหะทองคำบนพื้นผิวของอนุภาคแทนนินเจล และปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของกลุ่ม hydroxyl ในอนุภาคแทนนินเจลเปลี่ยนเป็นกลุ่ม carbonyl โดยแทนนินเจลสามารถดูดซับ ทองคำได้สูงถึง 8000 mg Au/g dried gel เมื่อตรวจสอบหาโลหะทองคำที่ถูกดูดซับด้วยอนุภาค แทนนินเจลด้วย X-ray diffraction (XRD) พบว่าที่ค่า  $2\theta = 38.1, 44.4, 64.6, 77.5, 81.6$  และ  $98.0$  องศา เป็น pattern ของโลหะทองคำเนื่องจาก trivalent ของไอออนทองคำในสารละลาย aqueous chloride ถูกรีดิวซ์ไปเป็นโลหะทองคำในอนุภาคแทนนินเจล จากนั้นใช้ Fourier transform infrared spectrometry (FT-IR) ตรวจสอบอนุภาคแทนนินเจลบริสุทธิ์และอนุภาคแทนนินเจลก่อนและหลัง การดูดซับ พบว่าช่วงความยาวคลื่น 3600-3000, 1620-1610, 1460-1440 และ 1300-1100  $\text{cm}^{-1}$  เป็น ปฏิกิริยา oxidation ของกลุ่ม hydroxyl ใน tannin gel particles ไปเป็นกลุ่ม carbonyl

Durga Parajuli et al. (2007) ได้ทำการเตรียมเจลดูดซับจากเปลือกลูกพลับโดยตรง ไม่มีการสกัดแทนนินออกก่อน เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการสกัดแทนนิน พบว่าแทนนินเจลเปลือกดูดซับ ไอออนของทองคำได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่น คือ ทองแดง เหล็ก แพลเลเดียม แพลทินัม ดีบุกและ สังกะสี ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทองคำเพิ่ม ความสามารถในการดูดซับทองคำจะมีค่า สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแยกทองคำของแทนนินเจลจากเปลือกลูกพลับกับ วัสดุคิบที่มีแทนนินคือ ชาเขียว ชาอู่หลงและเปลือกลูกพลับสด พบว่าแทนนินเจลจากเปลือกลูก พลับมีความสามารถในการแยกทองคำสูงที่สุดถึง 100% และเมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถ ในการแยกทองคำกับสารเคมีที่มีกลุ่ม hydroxyl คือ กรด oxalic กรด ascorbic และกรด gallic พบว่า แทนนินเจลจากเปลือกลูกพลับมีความสามารถในการแยกทองคำสูงที่สุดถึง 100% เมื่อนำแทนนิน เจลจากเปลือกลูกพลับไปวิเคราะห์ด้วย XRD พบ pattern ของโลหะทองคำที่ผิวของแทนนินเจล

และเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้อง digital micrograph พบโลหะทองคำแวววาวที่ผิวของแทนนินเจลเช่นกัน ซึ่งแทนนินเจลจากเปลือกกล้วยมีความสามารถในการแยกทองคำจากสารละลายและสามารถเปลี่ยนไอออนของทองคำเป็นโลหะทองคำที่ผิวของแทนนินเจลได้ จึงเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสมราคาและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการแยกโลหะมีค่าในสารละลาย

Ayhan I. Sengil and Mahmut Ozacar (2008) ได้ทำการศึกษากลไกการดูดซับ ไอโซเทอมการดูดซับและจลนศาสตร์การดูดซับโดยใช้แทนนินเจลที่สังเคราะห์จากแทนนินในต้นไมยราบสำหรับการแยกทองแดงจากสารละลาย พบว่าที่ pH 5 แทนนินเจลมีความสามารถในการดูดซับทองแดงมากที่สุด อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับทองแดงสูงขึ้น จากข้อมูลการดูดซับที่สถานะสมดุลสอดคล้องตามสมการของ Langmuir และจลนศาสตร์การดูดซับสอดคล้องตาม pseudo-second-order เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับทองแดงด้วยตัวดูดซับชนิดอื่น เช่น modified jute fibres, Tectona grandis L.f leave powder และ activated poplar sawdust มีค่า 8.40, 15.43 และ 13.49 mg/g ตามลำดับ ในขณะที่แทนนินเจลจากต้นไมยราบมีค่าสูงถึง 43.71 mg/g แสดงว่าแทนนินเจลจากต้นไมยราบเป็นตัวดูดซับในการแยกทองแดงที่ดี กลไกการดูดซับทองแดงด้วยแทนนินเจลเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่ผิวของแทนนินเจลระหว่างไอออนของทองแดงและกลุ่ม phenolic บนผิวของแทนนินเจล จึงสามารถเปลี่ยนไอออนของทองแดงในสารละลายเป็นโลหะทองคำที่ผิวของแทนนินเจลได้

Xin Huang, Xuepin Liao and Bi Shi (2009) ได้ทำการศึกษาการแยกปรอทในสารละลายโดยใช้แทนนินจากเปลือกของต้น myrica esculenta ทำการสกัดแทนนินด้วยอะซิโตนและน้ำแล้วนำมา immobilized ด้วยคอลลาเจนไฟเบอร์ พบว่า pH เริ่มต้นของสารละลายที่มากกว่า 4 ส่งผลให้ bayberry tannin-immobilized collagen fiber มีความสามารถในการดูดซับปรอท 198.49 mg/g กลไกการดูดซับปรอทเกิดจากในเบเบอร์รี่แทนนินมี phenolic hydroxyl ทำให้สามารถจับกับไอออนของปรอทในสารละลายได้ ความสามารถในการดูดซับปรอทจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของสารละลาย ความสามารถในการดูดซับเพิ่มตามน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวดูดซับจาก 0.2 เป็น 1 กรัมต่อลิตร พบว่าความสามารถในการดูดซับปรอทเพิ่มจาก 32.38 % เป็น 98.34% ไอโซเทอมของการดูดซับสอดคล้องตามสมการ Langmuir โดยความสามารถในการดูดซับปรอทจากการคำนวณด้วยสมการของ Langmuir มีค่า 622.31 mg/g ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง 619.78 mg/g ข้อดีของ bayberry tannin-immobilized collagen fiber คือสามารถ desorbed ได้ด้วยการใช้กรดแลคติก 0.1 M และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 4 ครั้งโดยที่ความสามารถในการดูดซับมีค่าเท่าเดิม

Yunhang Zeng et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการใช้คอลลาเจนจากหนังวัวในการทำตัวดูดซับชนิดใหม่ที่เป็น immobilized แทนนินในการแยกทอเรียมจากสารละลาย ศึกษาความสามารถในการดูดซับ ผลกระทบของ pH จลนศาสตร์และไอโซเทอมของการดูดซับ จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ใช้คอลลาเจนไฟเบอร์ 1 กรัมผสมกับแทนนิน 0.5 กรัม แต่การศึกษาครั้งนี้เป็นการเตรียมตัวดูดซับชนิดใหม่ ผู้วิจัยใช้ wattle แทนนิน 1.5 กรัมผสมกับคอลลาเจน 1 กรัม พบว่าตัวดูดซับชนิดใหม่ไม่มีรูพรุน ทำให้การดูดซับเกิดเฉพาะที่ผิวเท่านั้น ที่ pH 4 ความสามารถในการดูดซับทอเรียมสูงถึง 141.48 mg/g ซึ่งมากกว่าการใช้ตัวดูดซับแบบเก่า ที่มีความสามารถในการดูดซับทอเรียมเพียง 56 mg/g จลนศาสตร์การดูดซับสอดคล้องตาม pseudo-second-order ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง มีความผิดพลาดน้อยกว่า 3.5% และจากข้อมูลการดูดซับที่สภาวะสมดุลสอดคล้องตามสมการของ Langmuir

Ayhan I. Sengil and Mahmut Ozacar (2009) ได้ทำการศึกษาความสามารถของแทนนินเรซินที่ทำจากสาหร่ายพวงองุ่นในการเลือกโลหะที่ผสมกัน คือ ตะกั่ว ทองแดงและสังกะสี เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้โลหะแบบชนิดเดียว จากการทดลองพบว่าขนาดรัศมีของแทนนินเรซินมีผลต่อการดูดซับ ประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าขนาดแทนนินเรซินลดลง ที่ pH 5 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะแบบชนิดเดียวของแทนนินเรซินมีค่าสูงที่สุด สามารถดูดซับตะกั่วได้สูงถึง 98.2% และดูดซับทองแดงและสังกะสีได้ 44 และ 37.5% ตามลำดับ จากข้อมูลการดูดซับที่สภาวะสมดุลสอดคล้องตาม Langmuir จากการคำนวณตามสมการของ Langmuir พบว่าค่าความสามารถในการดูดซับที่มากที่สุดของไอออนตะกั่ว ทองแดงและสังกะสีในสารละลายแบบชนิดเดียวโดยใช้แทนนินเรซินคือ 138.9, 45.44 และ 35.51 mg/g ตามลำดับ ส่วนการดูดซับโลหะผสมสองและสามชนิดพบว่าแบบการแข่งขัน แทนนินเรซินมีความสามารถในการดูดซับโลหะต่ำ เมื่อเทียบกับการดูดซับโลหะแบบชนิดเดียว ตะกั่วสามารถถูกดูดซับได้มากกว่าทองแดงและสังกะสี โดยในสารละลายโลหะผสมสามชนิดพบว่าความสามารถในการดูดซับของตะกั่วมากกว่าทองแดง และสังกะสีเกิดการดูดซับน้อยที่สุด

### 3. จุดประสงค์ของการวิจัย

หาความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะมีค่าด้วยแทนนินจากพืชไทย

### 4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ใช้พืชไทยในการสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนิน จากพืชตัวอย่างได้แก่ ใบहुกวาง ใบข่อย และใบกระถิน

4.2 หาความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะมีค่า ได้แก่ แพลทินัมและพัลลาเดียม โดยใช้สารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียมมาตรฐานด้วยตัวดูดซับแทนนิน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการแยกไอออนของแพลทินัมและพัลลาเดียมออกจากสารละลายโดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชไทย ดังนั้นจึงควรมีความรู้ความเข้าใจในหลักการและแนวคิดเกี่ยวกับคุณสมบัติและประโยชน์ของแพลทินัมและพัลลาเดียม นอกจากนี้ควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแทนนิน ได้แก่ ชนิด โครงสร้าง คุณสมบัติ แหล่งที่พบและวิธีการสกัด เป็นต้น

1. แพลทินัม (Los Alamos National Laboratory's Chemistry Division 2010 ; The Massachusetts Institute of Technology. 2010 ; The University of Sheffield and Webelement Ltd. 2010 ; Wikimedia Foundation Inc. 2010)

แพลทินัมคือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 78 และสัญลักษณ์คือ Pt พบครั้งแรกในอเมริกาใต้ชื่อแพลทินัมมาจากภาษาสเปนว่า platina หมายถึงเงินน้อย ปรากฏตามหลักฐานของชาวยุโรปครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1557 โดยนายแพทย์ชาวอิตาลีชื่อ Julius Caesar Scaliger และนักวิทยาศาสตร์ชาวสเปนชื่อ Don Antonio de Ulloa ได้ศึกษาแพลทินัมอย่างจริงจังในปี ค.ศ. 1748

โลหะอื่นที่คล้ายคลึงกับแพลทินัม ส่วนมากจะพบในสินแร่ชนิดเดียวกับแพลทินัมซึ่งมี 5 ชนิด ถ้ารวมแพลทินัมด้วยก็เป็น 6 ชนิด ทั้ง 6 ชนิดนี้เรียกว่ากลุ่มโลหะแพลทินัม (Platinum group metals)

หมู่แรกประกอบด้วย รูทีเนียม โรเดียมและแพลเลเดียม เกือบเจ็ดสิบปีหลังจากการพบแพลทินัมแล้ว ในราวปีค.ศ. 1803-1805 ได้มีการแยกเอาธาตุในกลุ่มแพลทินัมออกมาได้อีก 4 ธาตุ โดยชาวอังกฤษชื่อ W.H. wollaston แยกพัลลาเดียมและโรเดียมได้ ส่วน Smithson Tennant ศึกษาการกำจัดกากแพลทินัมให้หมดสิ้น จึงพบออสเมียมและอิริเดียม และ C.E. claus พบรูทีเนียม

แพลทินัมบริสุทธิ์จะเป็นสีขาวเทาและเงา ไม่ออกซิไดส์ที่อุณหภูมิใดๆ ซึ่งแพลทินัมจะไม่ละลายในกรดไนตริกและไฮโดรคลอริก แต่ละลายในกรดกัดทอง (aqua regia) (กรดไนตริกผสมกับกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน 1:3) ฟอรัมตัวเป็น chloroplatinic ( $H_2PtCl_6$ )

การประยุกต์ใช้งานแพลทินัมในปี 2006 จากแพลทินัมที่ขาย 239 ตัน พบว่า 130 ตันถูกนำมาใช้สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการปล่อยก๊าซจากรถยนต์ 49 ตันถูกนำมาใช้สำหรับเครื่องประดับ 13.3 ตันใช้ในอิเล็กทรอนิกส์และ 11.2 ตันใช้โดยอุตสาหกรรมเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 35.5 ตันที่

เหลือถูกใช้ในการผลิตด้านอื่น ๆ เช่น ยารักษามะเร็ง เซนเซอร์ออกซิเจน หัวเทียนและเครื่องยนต์  
กังหัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีในหลายๆด้าน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติต่างๆของแพลทินัม (Wikimedia Foundation Inc. 2010)

<b>คุณสมบัติทั่วไป</b>	
ชื่อ , สัญลักษณ์ , หมายเลข	Platinum, Pt, 78
ประเภท	โลหะทรานซิชัน
มวลอะตอม	195.084 g mol <sup>-1</sup>
<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b>	
เฟส	ของแข็ง
ความหนาแน่น	21.45 g cm <sup>-3</sup>
จุดหลอมเหลว	2041.4 K , 1768.3 °C , 3214.9 °F
จุดเดือด	4098 K , 3825 °C , 6917 °F
ความร้อนของการหลอมเหลว	22.17 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	469 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 25.86 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>คุณสมบัติของอะตอม</b>	
พลังงาน Ionization	ชั้นที่ 1 : 870 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
	ชั้นที่ 2 : 1791 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
รัศมีอะตอม	139 pm
รัศมีโควาเลนต์	136 ± 5
รัศมี Van der Waals	175 pm

## 2. พัลลาเดียม (Digital Library for SchoolNet Thailand, 2010 ; Wikimedia Foundation Inc. 2010)

พัลลาเดียมคือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 46 และสัญลักษณ์คือ Pd เกิดจากความพยายามในการสกัดและทำให้ได้มาซึ่งโลหะแพลทินัมบริสุทธิ์ โดย Wollaston ได้ค้นพบธาตุพัลลาเดียมในปี ค.ศ. 1803 (และธาตุโรเดียม, Rh ในปี ค.ศ. 1804) จากการศึกษาละลายที่เหลือหลังแพลทินัมส่วนใหญ่ถูกสกัดออกไปหมดแล้ว เขาสกัดพัลลาเดียมในรูปของตะกอนสีเหลือง เมื่อเติมเมอร์คิวรัสไซยาไนด์ (HgCN) กับสารละลายที่เหลือนี้ และได้โลหะนี้ในรูปของโลหะสีขาวเมื่อนำตะกอนสีเหลืองนี้ไปล้างและเผา Wollaston จึงตั้งชื่อธาตุที่เขาค้นพบว่า palladium จาก Pallas ดาวเคราะห์ใหม่ซึ่งเพิ่งค้นพบในสมัยนั้น

พัลลาเดียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆเช่น ในอุตสาหกรรมเครื่องไฟฟ้าและโทรคมนาคม โดยใช้ในรูปของโลหะเชื่อมกับทองแดงและเงินใช้ทำ contact ใน electrical relays หรือ automatic switch gear ใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันโดยใช้เป็นตัวเร่งสำหรับกระบวนการ cracking และ reforming ใช้ในอุตสาหกรรมเตรียมเคมีภัณฑ์และเภสัชภัณฑ์ โดยใช้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) และปฏิกิริยาการดึงเอาไฮโดรเจนออก (dehydrogenation) นอกจากนี้ยังมีการใช้พัลลาเดียมในรูปของโลหะเจือเพื่อใช้ในการอุดฟัน ใช้เป็นเครื่องประดับถ้าโลหะถูกเชื่อมกับยูทนีเนียม (Ru) หรือโรเดียม (Rh) หรือในกรณีเกิดโลหะเจือกับทองคำได้ทองขาว (white gold) เหมาะสำหรับทำเครื่องประดับเช่นกัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีในหลายๆด้าน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติต่างๆของแพลเลเดียม (Wikimedia Foundation Inc. 2010)

คุณสมบัติทั่วไป	
ชื่อ , สัญลักษณ์ , หมายเลข	Palladium, Pd, 46
ประเภท	โลหะทรานซิชัน
มวลอะตอม	106.42 g mol <sup>-1</sup>
คุณสมบัติทางกายภาพ	
เฟส	ของแข็ง
ความหนาแน่น	12.023 g cm <sup>-3</sup>
จุดหลอมเหลว	1828.05 K , 1554.9 ° C , 2830.82 ° F



ตารางที่ 2 (ต่อ)

<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b>	
<b>จุดเดือด</b>	3236 K , 2963 ° C , 5365 ° F
<b>ความร้อนของการหลอมเหลว</b>	16.74 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
<b>ความร้อนของการกลายเป็นไอ</b>	362 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
<b>ความร้อนจำเพาะ</b>	(25 ° C) 25.98 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>คุณสมบัติของอะตอม</b>	
<b>พลังงาน Ionization</b>	ชั้นที่ 1 : 804.4 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
	ชั้นที่ 2 : 1870 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
	ชั้นที่ 3 : 3177 กิโลจูล โมล <sup>-1</sup>
<b>รัศมีอะตอม</b>	137 pm
<b>รัศมีโควาเลนต์</b>	139 ± 6
<b>รัศมี Van der Waals</b>	163 pm

### 3. การดูดซับ (Adsorption) (Seader J. D. and Ernest J. Henley 2006)

กระบวนการดูดซับ หรือกระบวนการดูดติดที่ผิว หมายถึง กระบวนการแยกมลสาร ซึ่งอาจอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่มีอยู่ในสารละลายหรือก๊าซ ให้เกาะอยู่บนผิวของของแข็ง ซึ่งจัดอยู่ในกระบวนการบำบัดทางกายภาพ-เคมี เพื่อให้สารละลายหรือก๊าซดังกล่าวมีความสะอาดมากขึ้นด้วยกลไกของกระบวนการดังกล่าว สารที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดูดซับประกอบไปด้วยสารสำคัญ จำนวน 2 ชนิด คือ สารถูกดูดซับ (Adsorbate) และสารที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ ซึ่งเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

กลไกของกระบวนการดูดซับ แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

1. กระบวนการดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ และเป็นกระบวนการแบบผันกลับ ซึ่งเมื่อประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับหมดสภาพไปแล้ว ต้องทำการฟื้นฟูสภาพใหม่ (Regeneration) เพื่อให้วัสดุดูดซับมีความสามารถในการดูดซับได้ดีเช่นเดิม ซึ่งมักใช้ความร้อนสูงในการฟื้นฟู ในขั้นตอนนี้จะเกิดการสูญเสียวัสดุดูดซับไปประมาณ 5% ของปริมาณวัสดุดูดซับ และหากแรงระหว่างตัวถูกละลายกับวัสดุดูดซับมีค่ามากกว่าตัวทำละลายกับวัสดุดูดซับ จะเกิดการดูดซับตัวถูกละลายให้เกาะที่ผิวของวัสดุดูดซับ

2. กระบวนการดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างของแข็งกับวัสดุดูดซับ และเป็นกระบวนการแบบไม่ผันกลับ ซึ่งเมื่อประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับหมดสภาพไปแล้ว ไม่สามารถทำการฟื้นฟูสภาพใหม่ (Regeneration) เหมือนกับกระบวนการดูดซับแบบแรก

#### 4. แทนนิน

4.1 ความหมายและชนิดของแทนนิน (สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ 1988 ; หทัยพร ศิริธรรมา รัตนา 1994 ; Edgar Charles Bate-Smith and Tony Swain 1962 ; Xuepin Liao et al. 2004 )

แทนนินคือ กลุ่มสารประกอบเคมีที่ได้จากพวกพฤษชาติ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาแต่โบราณ แทนนินได้ถูกบัญญัติขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1796 โดย Sequil ก่อนที่จะมาทราบว่าแทนนินประกอบขึ้นด้วยสารผสมซับซ้อนหลายชนิด ปัจจุบันได้มีการบัญญัตินิยามของคำว่าแทนนินขึ้น โดยให้ความหมายว่า แทนนินคือสารประกอบจำพวกฟีนอลที่ละลายน้ำ (water-soluble phenolics) ที่มีหมู่ hydroxyl เป็นจำนวนมากและโมเลกุลมีโครงสร้างที่ซับซ้อน น้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-3000 มีสถานะเป็นกรดอ่อนรสฝาด เป็นสารให้ความฝาดในพืช พบได้ในพืชหลายชนิดจากราก เปลือก ก้าน และผล

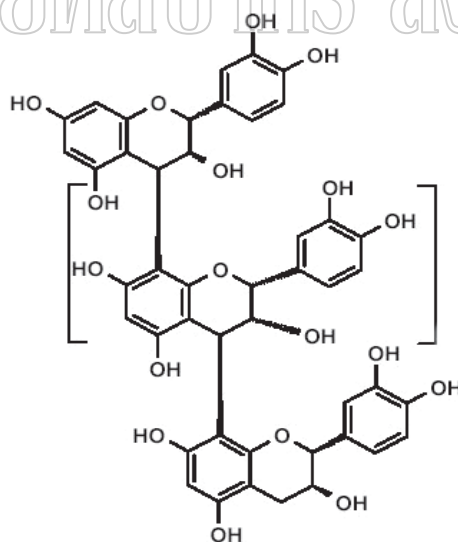
แทนนินมีคุณสมบัติในการฟอกหนัง ซึ่งก็คือการตกตะกอนกับโปรตีน โดยแทนนินจะทำปฏิกิริยากับโปรตีน หนึ่งที่ฟอกแล้วจะมีสีและไม่เน่าเสียหลังการฟอก นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางชนิด เช่น การทำให้เบียร์ใสและทำให้เกิดรสขม ฝาด รวมทั้งกลิ่นในเครื่องสำอางค์ ไวน์ ชา กาแฟ อีกด้วย ใช้ย้อมแห อวน เชือกและเรือใบ ทำให้ทนทานต่อการใช้งานที่สัมผัสกับน้ำเค็ม ซึ่งอาศัยคุณสมบัติการตกตะกอนกับ macromolecules ช่วยในการผลิตกาว สีย้อม และช่วยให้สีติดแน่นทนทาน เช่น โปรแอนโทไซยานิดินแทนนิน (proanthocyanidin tannins) สามารถนำมาใช้ผลิตแผ่นไม้อัดแทนการใช้ฟีนอลสังเคราะห์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมี นำมาใช้รับประทานเป็นยาแก้ท้องเสียหรือท้องเดิน (antidiarrheals) โดยแทนนินมีกลไกไปจับกับ fungal protein, bacteria protein หรือ viral protein หรือ macromolecules อื่น ๆ ของเชื้อที่รุกรานทำให้เชื้อไม่สามารถทำอันตรายกับร่างกายได้ นำมาใช้เป็นยาภายนอก ในการรักษาแผล โดยแทนนินจะไปจับกับผิวหนังชั้นนอก และเนื้อเยื่อที่ผลิตเมือก (mucosa) กลุ่มผิวให้สามารถป้องกันน้ำได้และมีฤทธิ์ทำให้เส้นเลือดหดตัว (vasoconstrictor) ต่อเส้นเลือดบริเวณผิวหนัง (superficial vessels) ได้ ทำให้ลดการสูญเสียจากบาดแผล ซึ่งเป็นผลให้เนื้อเยื่อที่เป็นแผลหรือเนื้อเยื่อที่โดนแผลไฟไหม้ หรือน้ำร้อนลวกนั้น ซ่อมแซมตัวเองได้ดีขึ้น แผลจึงหายเร็วขึ้น ลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยแทนนินบางชนิดมีคุณสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและยับยั้งการเกิด superoxide ion ขึ้นมาใหม่อีกด้วย อาจจะช่วยลดการเกิดมะเร็งต่างๆได้ นอกจากนี้แทนนินยังมีคุณสมบัติอื่นๆ

อีกมากมาย เช่น ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์บางชนิด เช่น lipoxygenase, Angiotensin converting enzyme และจากการที่แทนนินบางกลุ่มมีโครงสร้างของสารกลุ่ม flavonoids อยู่ก็อาจมีคุณสมบัติทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น ไม่เปราะแตกง่าย

แทนนิน มี 2 ชนิด คือ แทนนินชนิดรวมตัวแน่น (condensed tannins) และแทนนินชนิดสลายตัวได้ (hydrolysable tannins)

1. แทนนินชนิดรวมตัวแน่น (condensed tannins) เป็นสารประกอบ polyphenols ที่มีความซับซ้อน โครงสร้าง polyphenols นั้นเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบกลุ่ม flavonoids (ดังแสดงรูปที่ 2) พืชที่เป็นแหล่งของแทนนินชนิดรวมตัวแน่น ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชินโคนา เปลือกหลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกและใบของ hamamelis ราก krameria ราก male fern เปลือกโกโก้ ใบชา เป็นต้น สารประกอบกลุ่มนี้เมื่อนำมาต้มกับกรดเจือจางหรือนำมาทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์ จะได้สารประกอบที่เป็น polymer รูปอสัณฐานสีแดงไม่ละลายน้ำ ซึ่งเรียกว่า phobaphenes หรือ tannin red จึงเรียกลักษณะนี้ว่า phobatanins เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้มาถนอมแบบ dry distillation จะได้สารประกอบที่เป็น catechol tannins สารประกอบกลุ่มนี้จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า catechol tannins (สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ 1988)

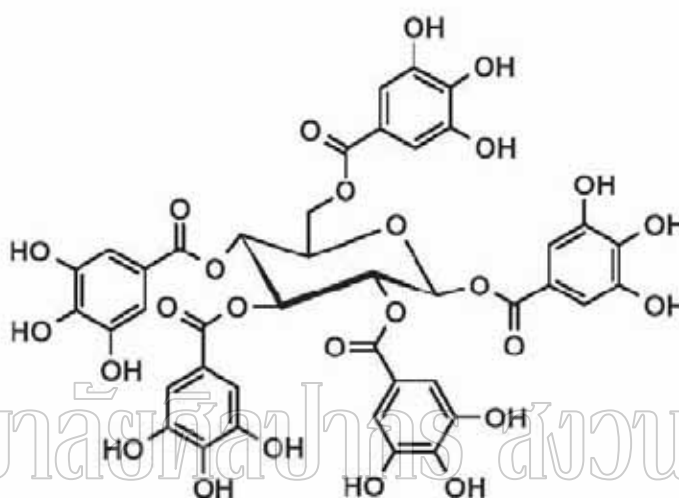
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 2 โครงสร้างของแทนนินชนิดรวมตัวแน่น (สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ 1988)

2. แทนนินชนิดสลายตัวได้ (hydrolysable tannins) ที่บริเวณกึ่งกลางของแทนนินชนิดสลายตัวได้ประกอบด้วยหมู่ polyol carbohydrate (D-glucoase) (ดังแสดงในรูปที่ 3) ที่สามารถถูกแยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ทำปฏิกิริยากับกรดอ่อนหรือเบสอ่อนจะได้เป็นคาร์โบไฮเดรตและ

กรดฟีนอลิก พบมากในส่วนใบ ฝัก และส่วนที่ปลูตออกมาจากปกติเมื่อต้นไม้ได้รับอันตราย (gall) (Chavan 1980) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของน้ำตาล มักเป็นน้ำตาลกลูโคสเป็นส่วนใหญ่หรือสารประกอบ polyols อื่นๆ ส่วนที่สองเป็น phenolic acid เช่น gallic acid หรือ hexahydroxydiphenic acid (HHDP) หรือ อนุพันธ์ของ HHDP ที่มักอยู่ในรูปออกซิไดซ์ โดยส่วนที่เป็น phenolic acid จะมากกว่าส่วนของน้ำตาลหรือ polyols มาเชื่อมโยกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester linkage) ที่เรียกว่า depside linkage (สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ 1988 ; Xuepin Liao et al. 2004)



ภาพที่ 3 โครงสร้างแทนนินชนิดสลายตัวได้ (สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ 1988)

#### 4.2 การสกัดสารแทนนินออกจากพืช

การสกัด (Extraction) หมายถึงการแยกสิ่งที่ต้องการออกจากสิ่งที่ไม่ต้องการ การเตรียมสารสกัดจากพืช คือการแยกองค์ประกอบทางเคมีออกจากพืช หรือจากองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆที่ไม่ต้องการ

หลักการเบื้องต้นของการสกัดคือ solid-liquid extraction ซึ่งทฤษฎีพื้นฐานคือการละลาย คุณสมบัติเบื้องต้นของการละลายคือความมีขั้ว ตัวถูกละลายจะละลายได้ดีที่สุดในตัวทำละลายตามหลักที่เรียกว่า like dissolve like และนอกจากตัวถูกละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกันแล้ว ตัวทำละลายยังสามารถละลายตัวถูกละลายที่มีขั้วต่ำกว่าได้ด้วย ยกเว้นน้ำซึ่งจะละลายได้เฉพาะตัวถูกละลายที่มีขั้วสูงเท่านั้น (อุทัย โสธนะพันธ์ 2008)

วิธีการที่ใช้ในการสกัดแทนนินมี 3 วิธี (สุเมธ บุญเกิด 2008) ประกอบด้วย

1. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (โดยการสกัดแบบเดิมนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกตัวทำ

ละลายที่ถูกต้อง การผสม (Mixing) การให้ความร้อน และการกวน)

1.1 มาเซอเรชัน (Maceration) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชโดยการหมักสมุนไพรกับน้ำยาสกัดจนกระทั่งเนื้อเยื่อของสมุนไพรอ่อนนุ่มและน้ำยาสกัดสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในผงสมุนไพรออกมา

1.2 เพอร์โคเลชัน (Percolation) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรโดยการปล่อยให้ยาสกัดไหลผ่านผงสมุนไพรอย่างช้าๆ พร้อมกับละลายเอาองค์ประกอบออกจากผงสมุนไพรออกมา

1.3 อินฟิวชัน (Infusion) เป็นการสกัดโดยการต้มกับน้ำเดือด

1.4 การสกัดด้วยน้ำมันที่เย็นหรือเอ็นเฟลอร์เรจ (Enfleurage)

1.5 การสกัดด้วยน้ำมันที่ร้อน

2. การกลั่น

3. การใช้เทคนิคสมัยใหม่เข้าช่วย

3.1 Supercritical fluid extraction

3.2 Vortical extraction

3.3 Extraction by electrical energy

3.4 Ultrasonically assisted extraction

### บทที่ 3

#### การทดลอง

#### 1. วัสดุและสารเคมี

1. สารละลายเพคตินมาตรฐาน Analytical grade (Fluka)
2. สารละลายพัลลาเดียมมาตรฐาน Analytical grade (Fluka)
3. ไบฮุกวาง ไบยอ และไบกะถิน
4. เมทานอลความเข้มข้น 99% โดยปริมาตร ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) Analytical grade (QReC)
5. กรดแกลลิก (Gallic acid) Analytical grade (Sigma Aldrich)
6. กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) Analytical grade (Merck)
7. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) Analytical grade (Merck)
8. โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) Analytical grade (UNILAB)
9. โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) Analytical grade (Ajax)
10. Folin's phenol reagent (FCR) Analytical grade (Merck)

#### 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. กรกบด
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

### 3. วิธีการทดลอง

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการแยกโลหะมีค่าจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชตัวอย่าง ได้แก่ ใบหูกวาง ใบขยอ และใบกระถิน แบ่งวิธีการทดลองเป็น 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน และการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน โดยดูแผนผังขั้นตอนการทดลองที่ภาคผนวก ก

#### 3.1 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

##### 3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง (ชนันชัย พิริยโสภสสกุล 2002)

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

##### 3.1.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนิน (Durga Parajuli et al. 2007)

1. หั่นใบหูกวางให้เป็นชิ้นเล็กๆ 100 กรัม ผสมกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย (Conical Flask) แล้วทำการรีฟลักซ์เพื่อถนอมการระเหยของสารละลาย 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

### 3.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.1 แต่เปลี่ยนจากใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถิน เป็นตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน ตามลำดับ

## 3.2 การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน

ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายโลหะชนิดเดียวและโลหะผสม ด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอ และใบกระถิน ได้แก่ pH เริ่มต้นในสารละลาย เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ และ น้ำหนักของตัวดูดซับ ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. นำสารละลายโลหะมาตรฐานมาเจือจางให้มีความเข้มข้นตามเงื่อนไขที่กำหนด ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ใส่ตัวดูดซับแทนนินลงในสารละลายโลหะที่ตั้งนิ่งโดยไม่มีการกวน เมื่อครบกำหนดเวลา หยุดปฏิกิริยาโดยการกรอง เพื่อแยกตัวดูดซับแทนนินออกจากสารละลาย
3. นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะที่เหลือ ด้วยเครื่อง Inductivity couple plasma spectrometer (ICP)
4. นำวิธีการทดลองข้างต้นมาใช้กับเงื่อนไขของแต่ละตัวแปรดังต่อไปนี้

### 3.2.1 pH เริ่มต้นในสารละลาย

โดยศึกษา pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 2 3 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ 35 ppm สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 50 ppm สำหรับสารละลายโลหะผสม น้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.25 กรัมสำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 0.2 กรัม สำหรับสารละลายโลหะผสม เวลา



ที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เลือกตัวดูดซับแทนนินที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุด มาใช้ในการทดลองในเงื่อนไขต่อไป

### 3.2.2 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

### 3.2.3 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 สำหรับสารละลายโลหะผสม ปรับ pH ของสารละลายโลหะจากค่า pH ที่ให้ผลการแยกโลหะดีที่สุดจากข้อ 3.2.1 น้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม สำหรับสารละลายโลหะชนิดเดียวและ 0.05 กรัม สำหรับสารละลายโลหะผสม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

### 3.2.4 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 เลือกใช้ค่าที่ทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับโลหะดีที่สุดจากข้อ 3.2.3 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

โดยความสามารถในการดูดซับโลหะ (มิลลิกรัม) คำนวณได้จากสมการที่ 1

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

เมื่อ  $C_t$  และ  $C_0$  คือ ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้นและที่เวลา  $t$  ใดๆ (มิลลิกรัม/ลิตร) และ  $V$  คือ ปริมาตรของสารละลาย (ลิตร)

### 3.3 การศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

นำตัวดูดซับแทนนินก่อนและหลังผ่านการทดลองจากข้อ 3.2 มาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่อง FT-IR และตรวจสอบโครงสร้างของโลหะด้วยเครื่อง XRD EDX และ SEM

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

#### บทที่ 4

##### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 1. การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

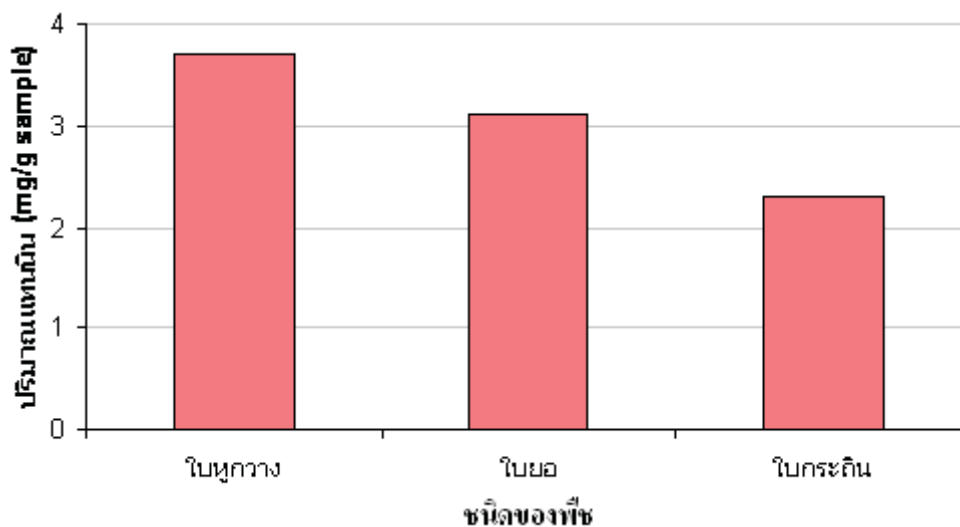
##### 1.1 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง

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

จากการนำสารละลายแทนนินที่สกัดได้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารแทนนินในพืชตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากพืชตัวอย่าง โดยวิธีชอล์คเลต

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



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมจากไบหูกว้าง ไบยอและไบกระถิน

จากการทดลองหาปริมาณสารแคดเมียมในไบหูกว้าง ไบยอและไบกระถิน พบว่าไบหูกว้างมีปริมาณแคดเมียมมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมในไบยอและไบกระถิน ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากชนิดของแคดเมียมที่มีอยู่ในพืช โดยในไบหูกว้างมีแคดเมียมชนิดรวมตัวแน่น ทำให้แคดเมียมสลายตัวได้ยากกว่าและละลายน้ำได้น้อยในขณะสกัด ส่วนในไบยอและไบกระถินมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า เนื่องจากในไบยอและไบกระถินมีแคดเมียมทั้งชนิดสลายตัวได้และชนิดรวมตัวแน่น ทำให้เกิดการสลายตัวของแคดเมียมชนิดสลายตัวได้ จึงเกิดการละลายน้ำเกิดขึ้นในระหว่างการสกัด ส่งผลให้มีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่าพืชที่มีแคดเมียมชนิดรวมตัวแน่นในโครงสร้างเพียงอย่างเดียว (สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ 1988)

## 1.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับแคดเมียม

การสังเคราะห์แคดเมียมจากไบหูกว้าง ไบยอและไบกระถิน พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด ให้ตะกอนแคดเมียมสีดำและไม่ละลายน้ำ โดยตะกอนแคดเมียมจากไบหูกว้าง ไบยอและไบกระถินหลังการอบและบด แสดงได้ดังภาพที่ 5 – 7



ภาพที่ 5 ตะกอนแทนนินที่ได้จากใบหูกวาง

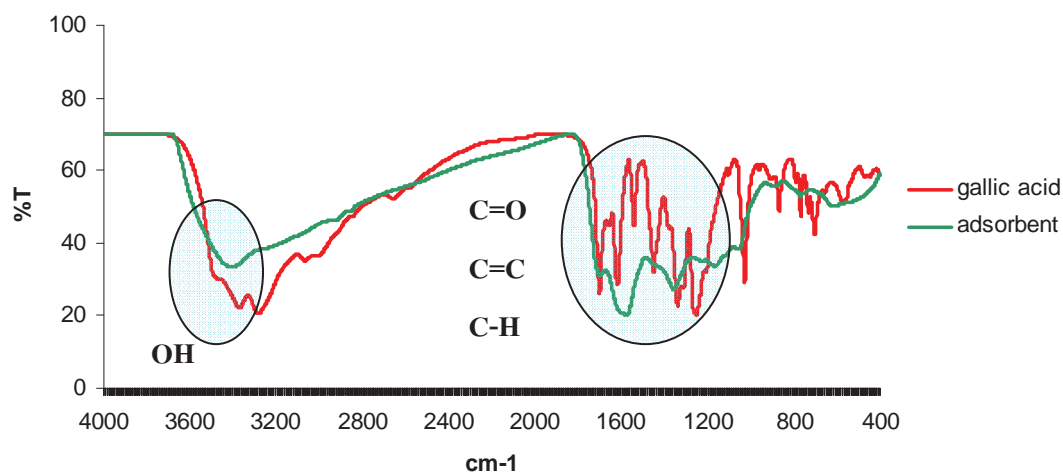


ภาพที่ 6 ตะกอนแทนนินที่ได้จากใบข่อย



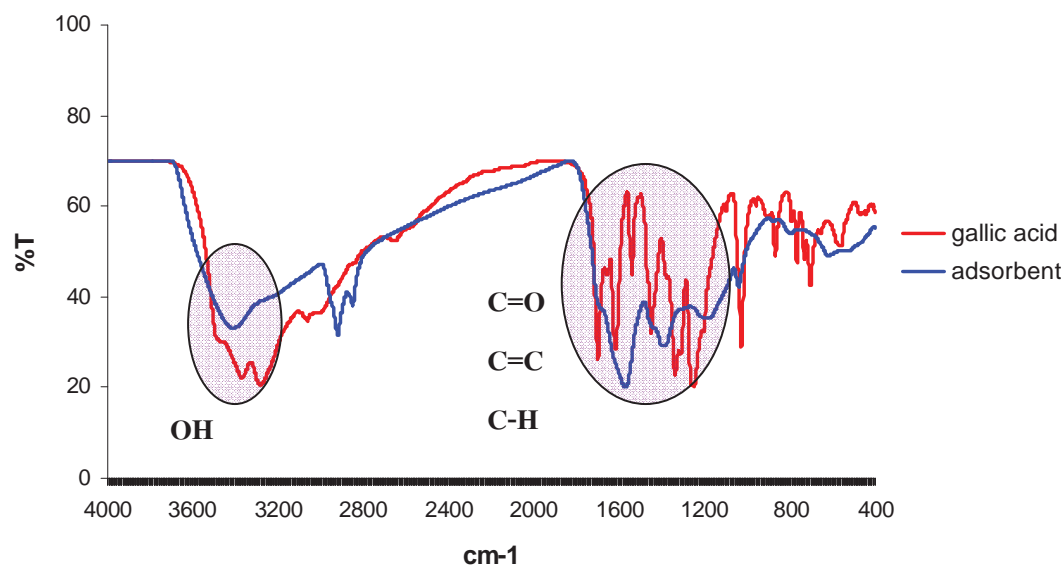
ภาพที่ 7 ตะกอนแทนนินที่ได้จากใบกระถิน

การตรวจสอบรูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบยอและ ใบกระถิน ด้วยเครื่อง FT-IR เปรียบเทียบกับกรดแกลลิก ดังแสดงในภาพที่ 8 – 10

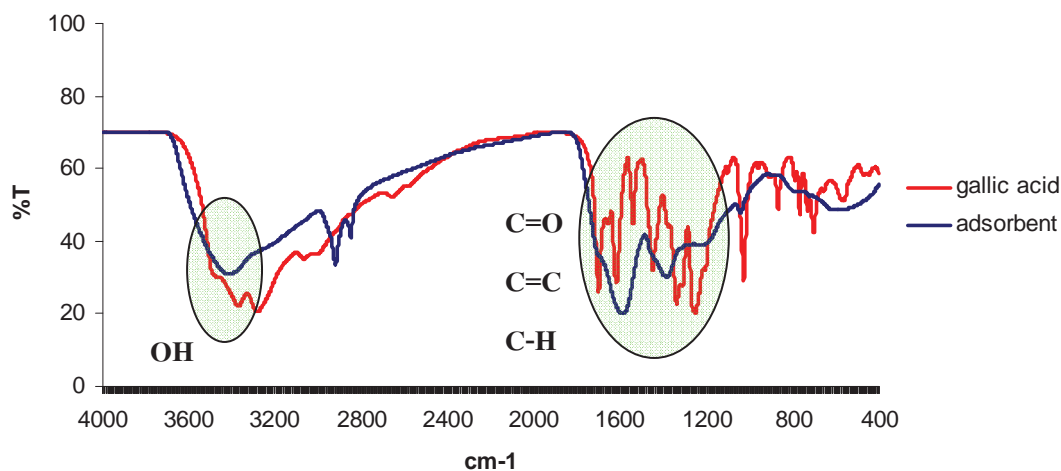


ภาพที่ 8 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางด้วยเครื่อง FT-IR

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 9 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากใบยอด้วยเครื่อง FT-IR



ภาพที่ 10 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของแทนนินที่สังเคราะห์จากไบโกระดิ่งด้วยเครื่อง FT-IR

จากผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตะกอนที่สังเคราะห์จากไบหูกวาง ไบยอและไบกระดิ่ง 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 ดังแสดงในภาพที่ 8 - 10 สอดคล้องกับโครงสร้างของแทนนินจากภาพที่ 2 ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน O-H, C=C, C=O และ C-H และผลการตรวจสอบพบว่าสอดคล้องกับการทดลองของ Takeshi Ogata และ Yoshio Nakamo (Takeshi Ogata and Yoshio Nakano 2005) ซึ่งศึกษากลไกการแยกทองคำจากสารละลายโดยใช้นวัตกรรมแทนนินเจดจาก natural condensed tannin และได้ทำการตรวจสอบแทนนินเจดด้วย FT-IR พบหมู่ฟังก์ชัน O-H, C=C, C=O และ C-H ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนั้นตะกอนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของงานวิจัยนี้จึงเป็นตะกอนแทนนินหรือเป็นตะกอนที่มีองค์ประกอบของแทนนิน

ตารางที่ 4 ช่วงความยาวคลื่นของพันธะต่างๆในแทนนิน (Takeshi Ogata and Yoshio Nakano 2005)

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

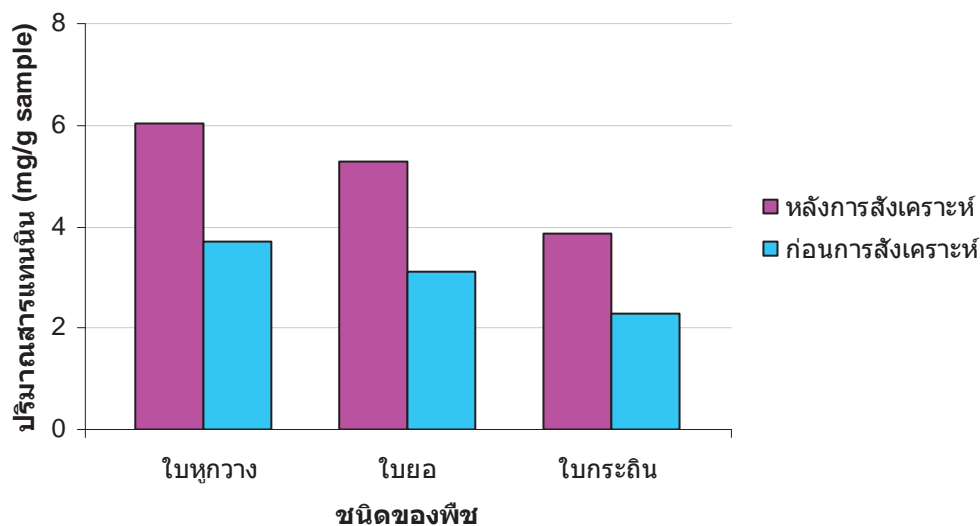
### 1.3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช

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



ภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินจากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถินก่อนและหลังการสังเคราะห์ตัวดูดซับ



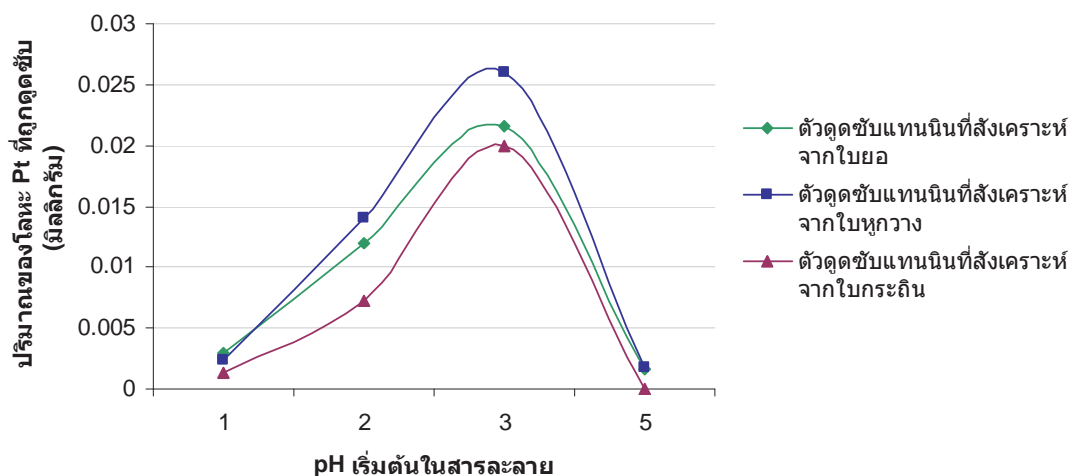
จากการทดลองหาปริมาณสารแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ใบขย และใบกระถิน พบว่าใบหูกวางมีปริมาณแทนนินมากที่สุด รองลงมาคือใบขยและใบกระถิน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง 1.1 โดยตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มี ปริมาณสารแทนนินมากกว่าในพืชสด เนื่องจากพืชทั้งสามชนิดมีแทนนินชนิดรวมตัวแน่นเป็น องค์กรประกอบ และเมื่อแทนนินชนิดนี้ทำปฏิกิริยากับกรด ส่งผลให้มีการเพิ่มระดับของการเกิดพอลิ เมอร์มากขึ้น เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะอสัณฐาน นั่นคือเป็นของแข็งที่อนุภาคจัดเรียงอย่างไม่ เป็นระเบียบ และที่สำคัญพอลิเมอร์ที่ได้นี้จะไม่ละลายน้ำ (สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธุ์ 1988)

**2. การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน (ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แพลทินัมและพัลลาเดียม ของทุกตัวแปรแสดงในภาคผนวก ข.3)**

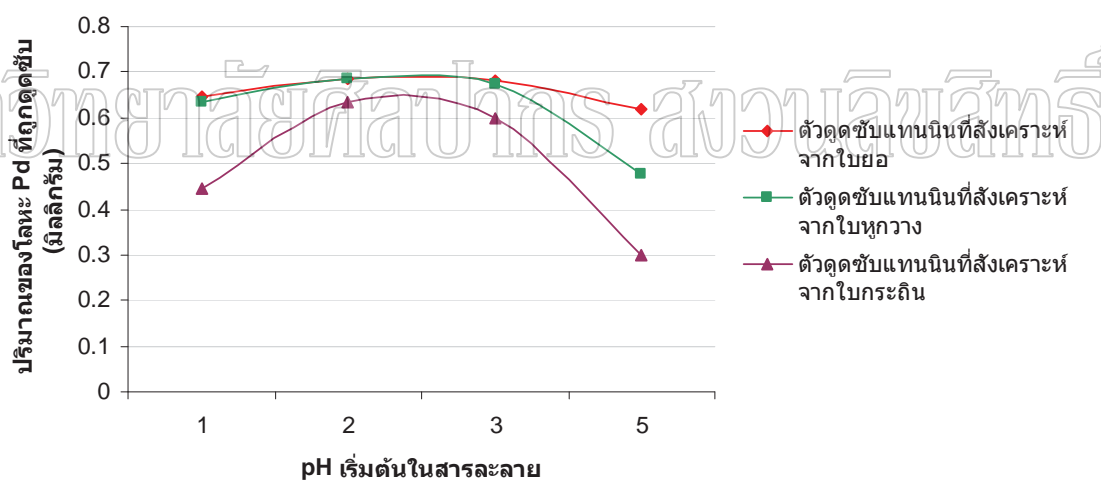
### **2.1 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะชนิดเดียวด้วยตัวดูดซับแทนนิน**

#### **2.1.1 pH เริ่มต้นในสารละลาย**

โดยศึกษา pH เริ่มต้นในสารละลายเท่ากับ 1, 2, 3 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียม 35 ppm น้ำหนักตัวดูดซับแทนนิน 0.25 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังในภาพที่ 12 และ 13 พบว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีความสามารถในการดูดซับ แพลทินัมและพัลลาเดียมได้มากที่สุด รองลงมาคือตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบขยและใบ กระถิน ตามลำดับ เนื่องจากตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีปริมาณสารแทนนินมาก ที่สุด รองลงมาคือใบขยและใบกระถิน ตามลำดับ โดยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง สามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้มากที่สุด 0.026 และ 0.687 มิลลิกรัม (วิธีการคำนวณ แสดงดังภาคผนวก ก.2) ที่ pH 3 และ pH 2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวดูดซับแทนนินที่ สังเคราะห์จากใบหูกวางมาใช้ตลอดการทดลอง



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)



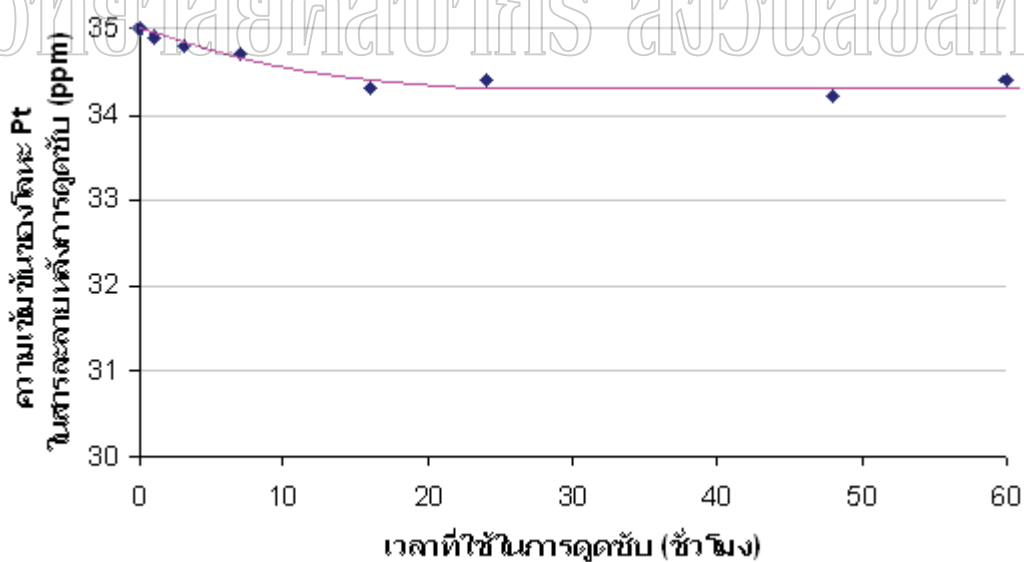
ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองแสดงว่า pH เริ่มต้นของสารละลายมีผลต่อการแยกโลหะในสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน โดยแพลทินัมถูกดูดซับได้ดีที่สุดที่ pH 3 และพัลลาเดียมถูกดูดซับได้ดีที่สุดที่ pH 2 สอดคล้องกับการงานวิจัยของ He-wei Ma และคณะ (He-wei Ma et al. 2006) ซึ่งทำการศึกษาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายโดยใช้ immobilized collagen fiber เมมเบรนจากเบเบอร์รี่แทนนิน พบว่าความสามารถในการดูดซับแพลทินัมเพิ่มตามค่า pH ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ pH 3 มี

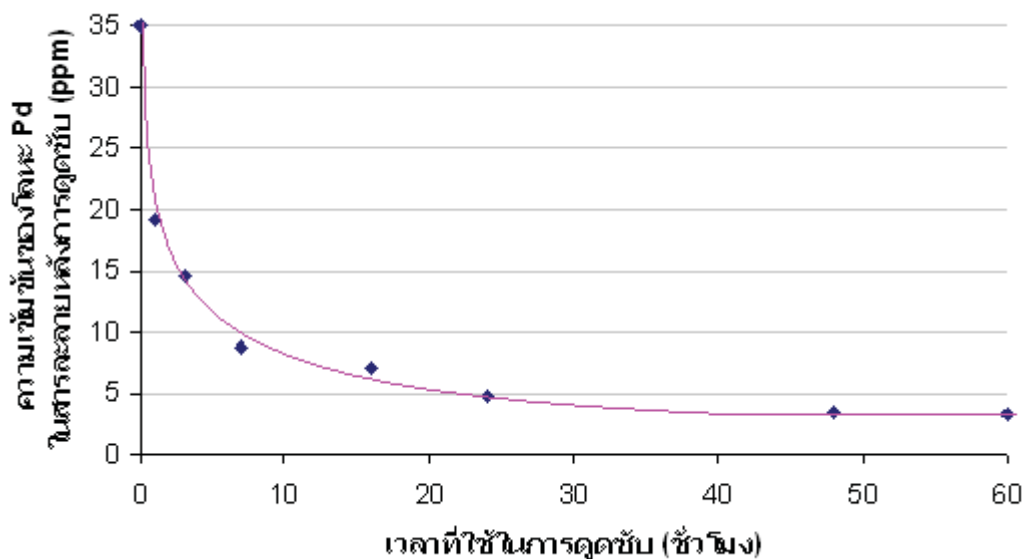
ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมสูงที่สุด และความสามารถในการดูดซับแพลทินัมจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kensuke Fujiwara และคณะ (Kensuke Fujiwara et al. 2007) ซึ่งทำการศึกษาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายโดยใช้ L-lysine modified crosslinked chitosan resin พบว่าที่ pH 2 มีความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมสูงที่สุด ดังนั้นค่า pH เริ่มต้นในสารละลายจึงเลือกใช้ที่ pH 3 และ pH 2 สำหรับสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียม ตามลำดับตลอดการทดลอง

### 2.1.2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

โดยศึกษาในช่วงเวลา 1 - 60 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียม 35 ppm pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมและพัลลาเดียมเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม ในสารละลาย 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 14 และ 15 ซึ่งพบว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม เริ่มมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 20 และ 40 ชั่วโมงเป็นต้นไป ตามลำดับ และมีความสามารถในการแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมประมาณ 0.025 และ 0.80 มิลลิกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับความเข้มข้นของโลหะแพลทินัมในสารละลายหลังการดูดซับ (ppm)

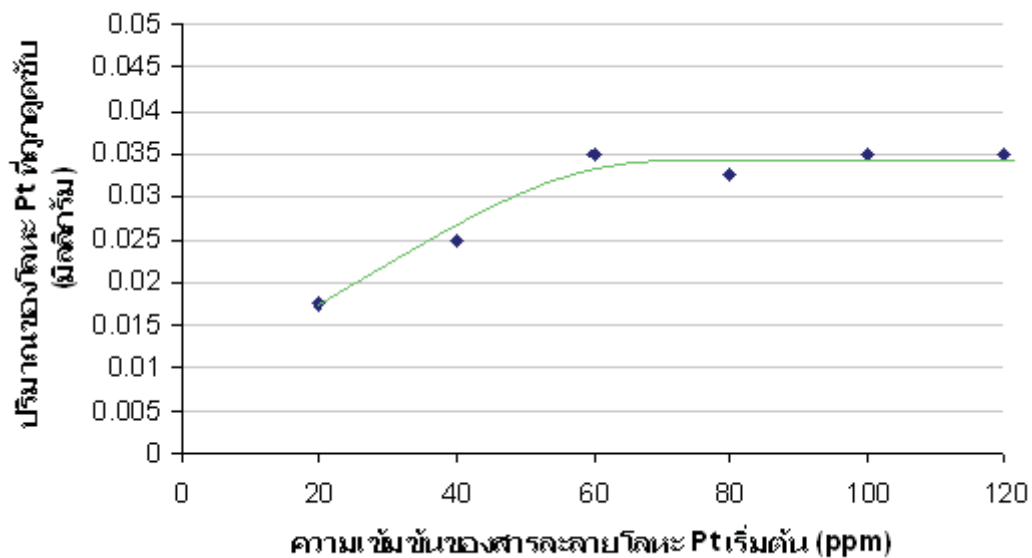


ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับความเข้มข้นของโลหะพัลลาเดียมในสารละลายหลังการดูดซับ (ppm)

จากผลการทดลองแสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้เร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการดูดซับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาเฉพาะพื้นผิวของตัวดูดซับจำนวนมากเท่านั้น ส่งผลให้ความต้านทานการแพร่ของการถ่ายเทมวลในระหว่างการดูดซับมีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้ จึงส่งผลให้เกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว (Xin Huang et al. 2009) และความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับ จนถึงสภาวะสมดุล เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ก็จะสามารถหาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีต่อโลหะได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางคือ 20 และ 40 ชั่วโมง ตามลำดับ

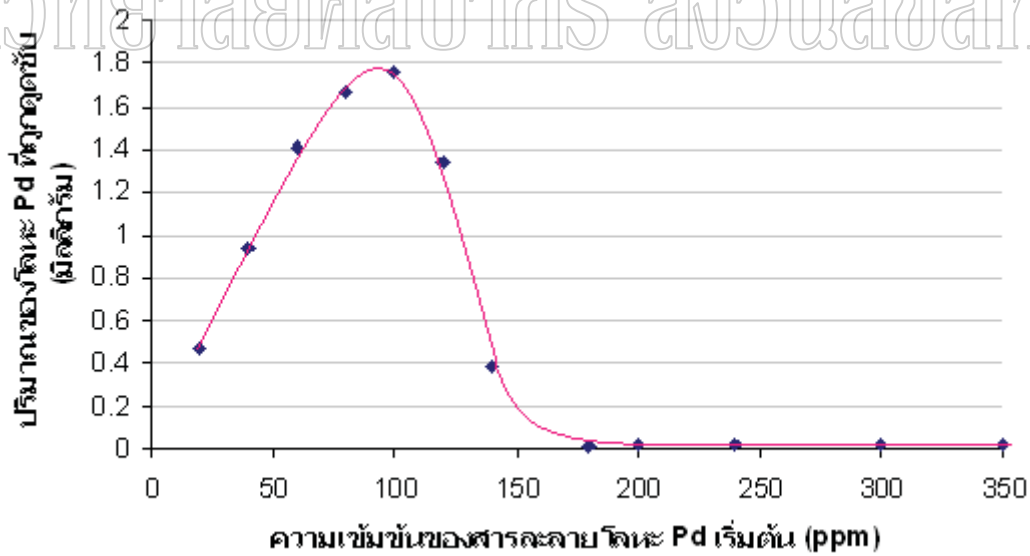
### 2.1.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ

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



ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะแพลทินัม (ppm) กับ ปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

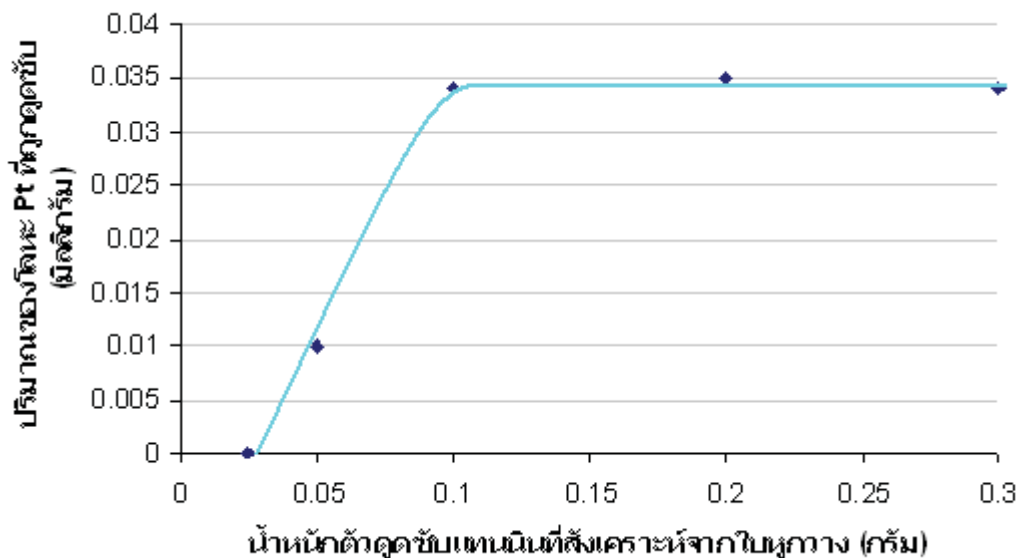


ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะพัลลาเดียม (ppm) กับ ปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

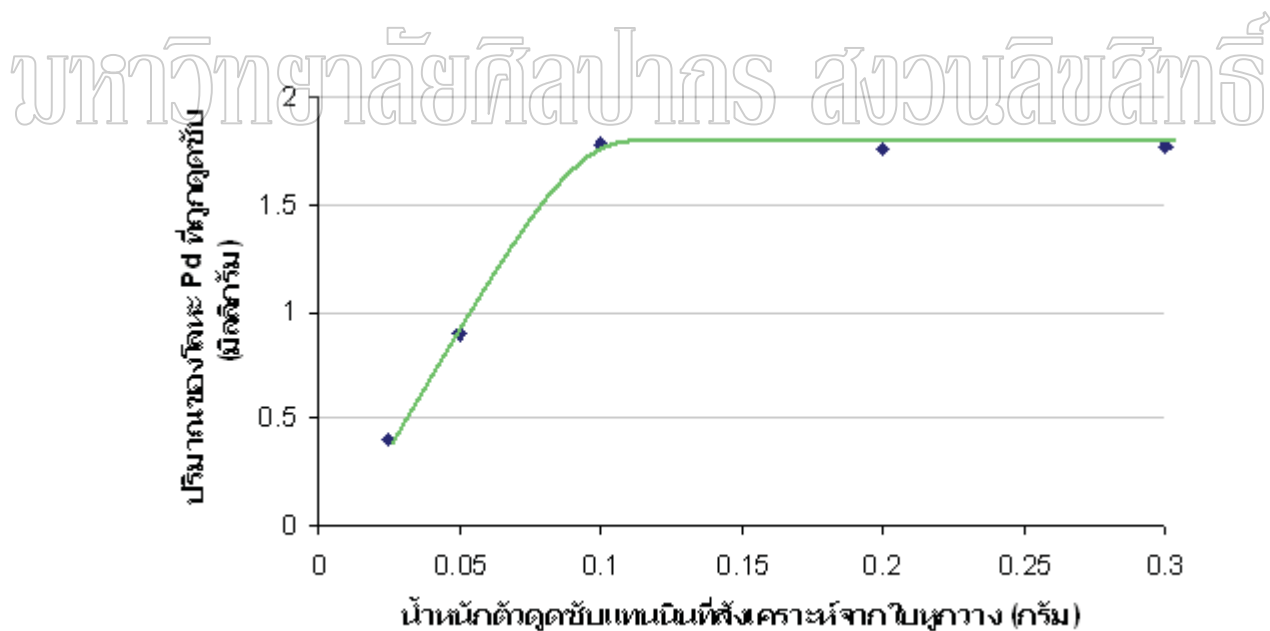
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมเพิ่มขึ้นจนถึงภาวะสมดุล โดยที่ภาวะสมดุลนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับแพลทินัมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม ทำปฏิกิริยากับ ไอออนของแพลทินัมที่ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัม 60 ppm คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมต่อตัวดูดซับ 1 : 600 และจากผลการทดลองการแยกพัลลาเดียม พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพัลลาเดียม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นจะลดลงจนถึงภาวะสมดุล โดยที่จุดสูงสุดนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม ทำปฏิกิริยากับ ไอออนของพัลลาเดียมที่ความเข้มข้นของสารละลายพัลลาเดียม 95 ppm คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายพัลลาเดียมต่อตัวดูดซับ 1 : 950

#### 2.1.4 น้ำหนักตัวดูดซับ

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



ภาพที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง (กรัม) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง (กรัม) กับปริมาณของโลหะพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

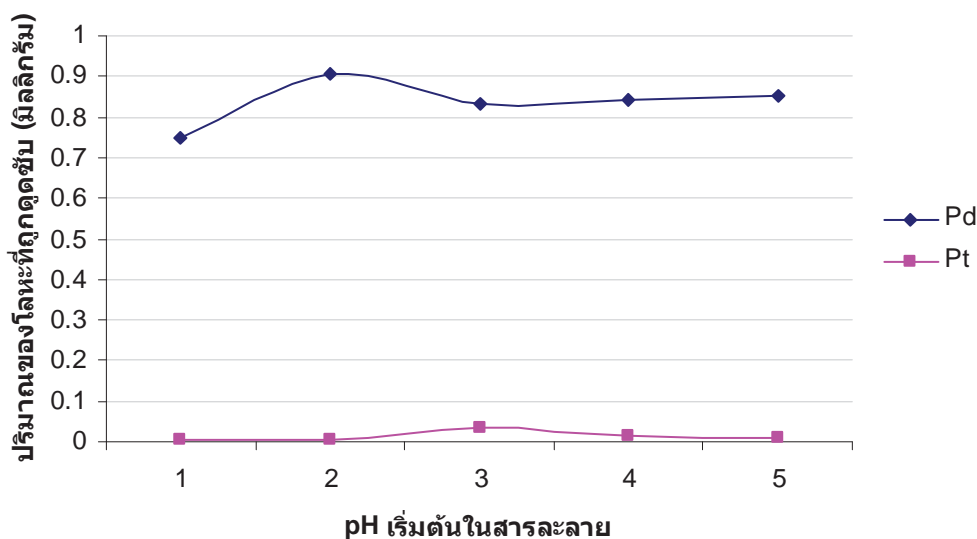
จากผลการทดลองพบว่า น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.025, 0.5 และ 0.1 กรัม มีความสามารถในการแยกโลหะแตกต่างกัน แสดงว่าความสามารถในการดูดซับโลหะจะเพิ่มตามน้ำหนักของตัวดูดซับแทนนิน เนื่องจากความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายมีมากขึ้น เพราะปริมาณตัวดูดซับแทนนินมีมากขึ้นในสารละลายปริมาตรเท่าเดิม ทำให้เกิดการสัมผัสไอออนของโลหะในสารละลายได้มากขึ้น และที่ น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนิน 0.1, 0.2 และ 0.3 กรัม ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะ เนื่องจากเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว โดยที่สภาวะสมดุลของการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายโลหะต่อตัวดูดซับ 1 กรัม : 600 ppm และ 1 กรัม : 950 ppm ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง 2.1.3

## 2.2 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะผสม (แพลทินัมผสมพัลลาเดียม) ด้วยตัวดูดซับแทนนิน

### 2.2.1 pH เริ่มต้นในสารละลาย

โดยศึกษา pH เริ่มต้นในสารละลายเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 50 ppm น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.2 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังในภาพที่ 20 พบว่าตัวดูดซับแทนนินสามารถดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมได้มากที่สุดที่ pH 3 และ pH 2 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลอง 2.1.1 ซึ่งโดยทั่วไป pH 3 และ pH 2 เป็นค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม ตามลำดับ (Nilanjana Das 2010 ; Mark C. et al. 2007)





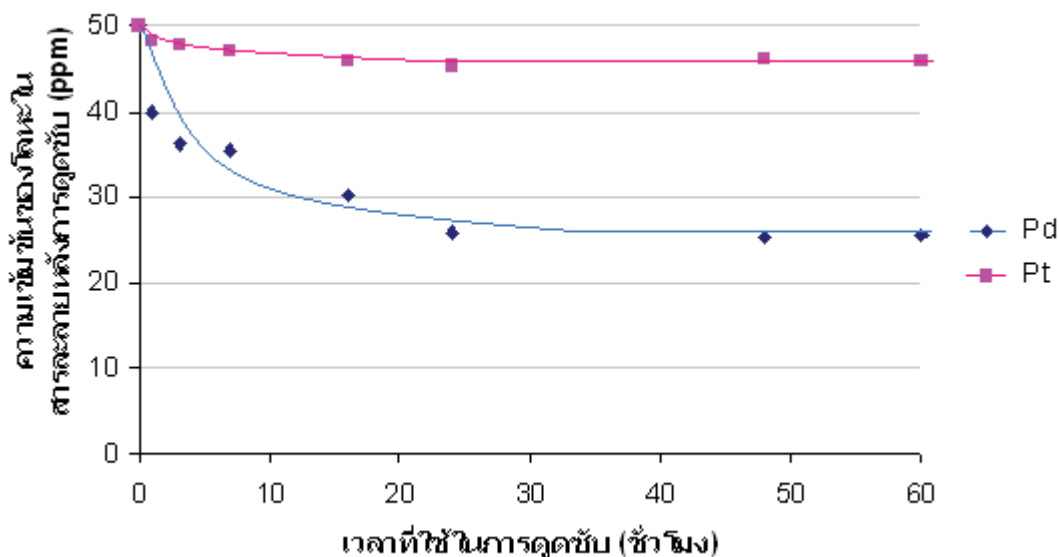
ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH เริ่มต้นในสารละลายกับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มค่า pH จาก 1 ถึง 5 ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกก่อนจะลดลง ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายด้วยกลไกของกระบวนการดูดซับเชิงเคมี โดยทั่วไปแล้วกลุ่ม phenolic hydroxyl ในแทนนินสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะในสารละลาย ซึ่งเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นก็จะทำให้อิออนเกิดการเกิดไอออนไนเซชันของ phenolic hydroxyl เพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ในขณะเดียวกัน ชนิดประจุของโลหะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากประจุบวกเป็นกลางหรือเป็นประจุลบ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะจึงเริ่มลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นถึงขอบเขตนั้น (He-wei Ma et al. 2006) และจากภาพที่ 20 แสดงชัดเจนว่าที่ pH 2 เป็นค่าที่เหมาะสมในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมได้ดีที่สุดด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง ดังนั้นค่า pH เริ่มต้นในสารละลายจึงเลือกใช้ที่ pH 2 ตลอดการทดลอง

### 2.2.2 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

โดยศึกษาในช่วงเวลา 1 - 60 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 50 ppm pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเท่ากับ 2 น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งพบว่า ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางสามารถดูดซับพัลลาเดียมได้ดีกว่าแพลทินัม โดยเริ่มมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 20 และ 30 ชั่วโมง

เป็นต้นไป สำหรับแพลทินัมและพัลลาเดียม ตามลำดับ และมีความสามารถในการแยกพัลลาเดียม 5 มิลลิกรัม ในขณะที่แยกแพลทินัมได้เพียง 1 มิลลิกรัม



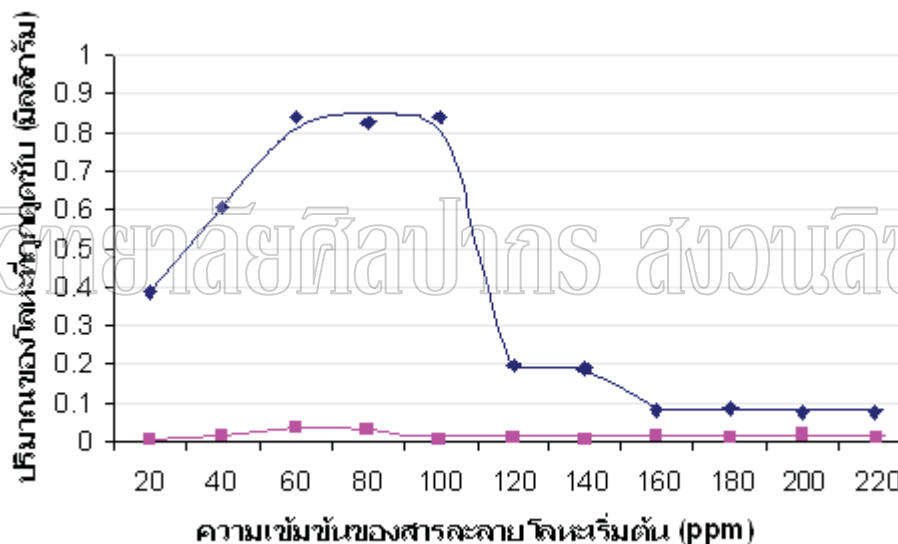
ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกลดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองแสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้เร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการดูดซับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาเฉพาะพื้นผิวของตัวดูดซับด้านนอกเท่านั้น ส่งผลให้ความต้านทานการแพร่ของการถ่ายเทมวลในระหว่างการดูดซับมีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้ จึงส่งผลให้เกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว (Xin Huang et al. 2009) และความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับ จนถึงสภาวะสมดุล เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ก็จะสามารถหาประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีต่อโลหะได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบโहुกวางคือ 30 ชั่วโมง

### 2.2.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม

โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 20 - 220 ppm น้ำตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบโहुกวาง 0.05 กรัม pH เริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเท่ากับ 2 ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 22 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบโहुกวางจะมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะสมดุล โดยที่สภาวะสมดุลนี้ ทำให้ทราบว่า

ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.05 กรัม ทำปฏิกิริยากับ ไอออนของแพลทินัมที่ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 70 ppm และจากผลการทดลองยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางจะมีความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นจะลดลงจนถึงสภาวะสมดุล โดยที่จุดสูงสุดนี้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมที่มากที่สุดเกิดจากตัวดูดซับแทนนิน 0.05 กรัม ทำปฏิกิริยากับ ไอออนของพัลลาเดียมที่ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม 70 ppm โดยความสามารถในการดูดซับโลหะที่มากที่สุดทั้งแพลทินัมและพัลลาเดียม คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายโลหะต่อตัวดูดซับ 1 กรัม : 1400 ppm เท่ากัน



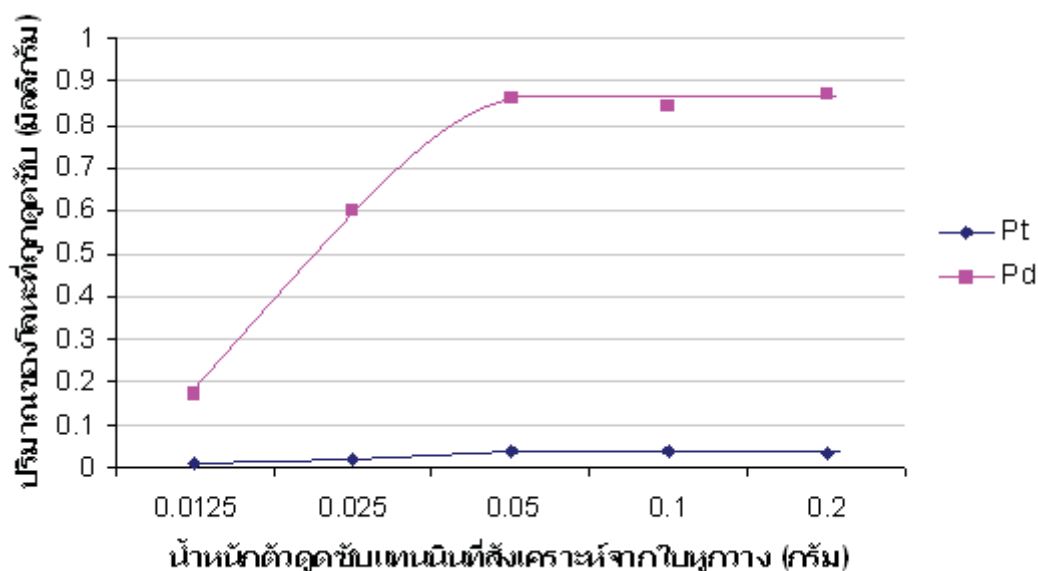
ภาพที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะเริ่มต้น (ppm) กับ ปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นตามในช่วง 20 - 70 ppm สำหรับแพลทินัม และ 20 - 80 ppm สำหรับพัลลาเดียม ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะมีค่าน้อย สัดส่วน โมลของปริมาณโลหะกับบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับที่ทำปฏิกิริยาจะมีค่าน้อยตาม (Nilanjana Das 2010) อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมเพิ่มขึ้นจาก 80 - 220 ppm ทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะแพลทินัมลดลง

เนื่องจากเกิดการจำกัดของพื้นผิวของตัวดูดซับที่ทำปฏิกิริยา (Kensuke Fujiwara et al. 2007) และความสามารถในการดูดซับโลหะพัลลาเดียมลดลงจนอาจกล่าวได้ว่าไม่เกิดการดูดซับพัลลาเดียม เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะพัลลาเดียมมีค่ามากขึ้น ไอออนของพัลลาเดียมอาจเกิด hydration force ไอออนของพัลลาเดียมจึงจับตัวกับน้ำมากกว่าที่จะทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับแทนนิน แสดงว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมที่เหมาะสมในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม คือ 70 ppm โดยตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียม 0.76 และ 17.2 mg/g ตามลำดับ ซึ่งชี้ชัดเห็นว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีความสามารถในการเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม และมีค่าการนำกลับพัลลาเดียม 87.50 % นั่นหมายความว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางมีประสิทธิภาพในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม

#### 2.2.4 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 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง (กรัม) กับปริมาณของโลหะแพลทินัมและพัลลาเดียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวดูดซับจาก 0.0125 ถึง 0.05 กรัม ทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น จึงมีตำแหน่งที่ทำปฏิกิริยาการดูดซับเพิ่มขึ้น (Nilanjana Das 2010) และเมื่อน้ำหนักตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับโลหะจะเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะสมดุล ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับกับปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับจึงมีลักษณะเส้นโค้งแบบ hyperbola (Akira Nakajima and Takashi Sakaguchi 1993) ซึ่งพบว่าที่สภาวะสมดุลของการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด คิดเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายโลหะต่อตัวดูดซับ 1 กรัม : 1400 ppm สอดคล้องกับผลการทดลอง 2.2.3

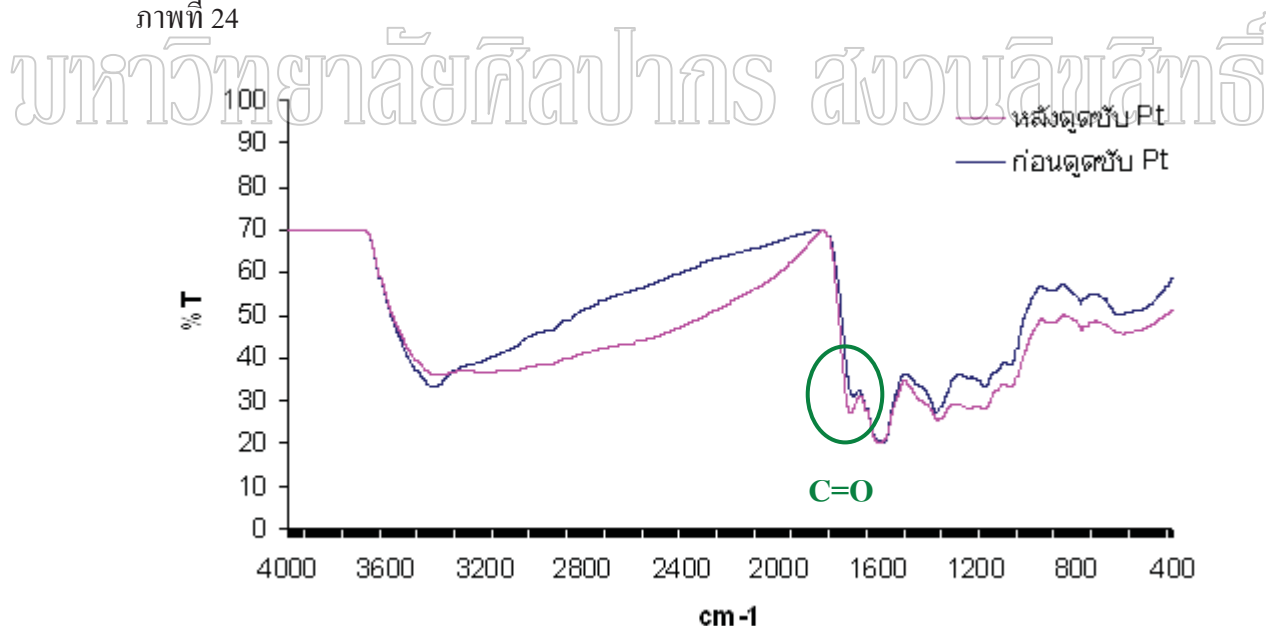
### 3. การศึกษาการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน

#### 3.1 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะชนิดเดียวด้วยตัวดูดซับแทนนิน

##### 3.1.1 การแยกแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมด้วยตัวดูดซับแทนนิน

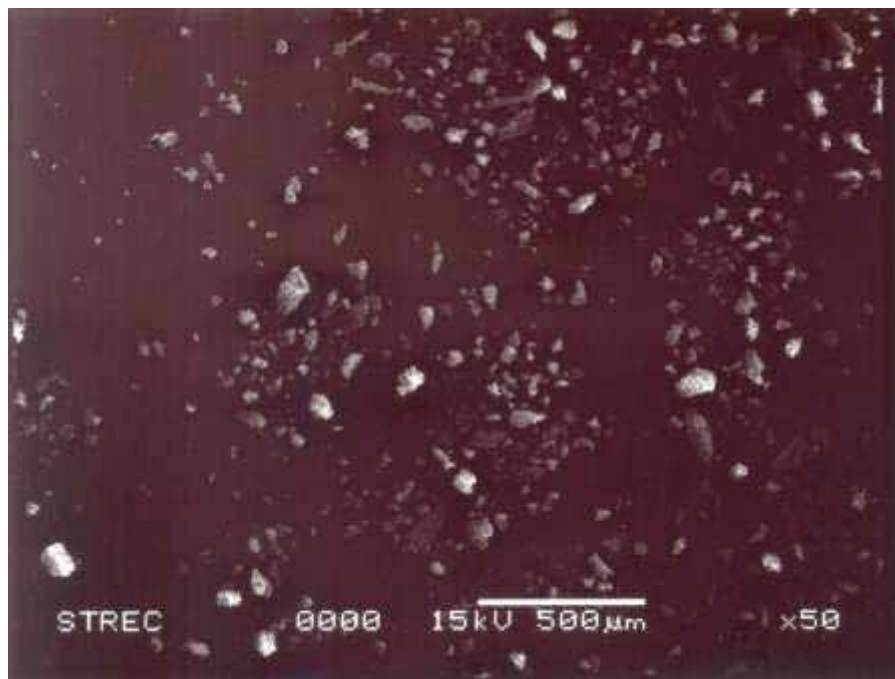
การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง FT – IR ได้ผลดัง

ภาพที่ 24



ภาพที่ 24 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการดูดซับสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง FT-IR

การตรวจสอบพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังภาพที่ 25

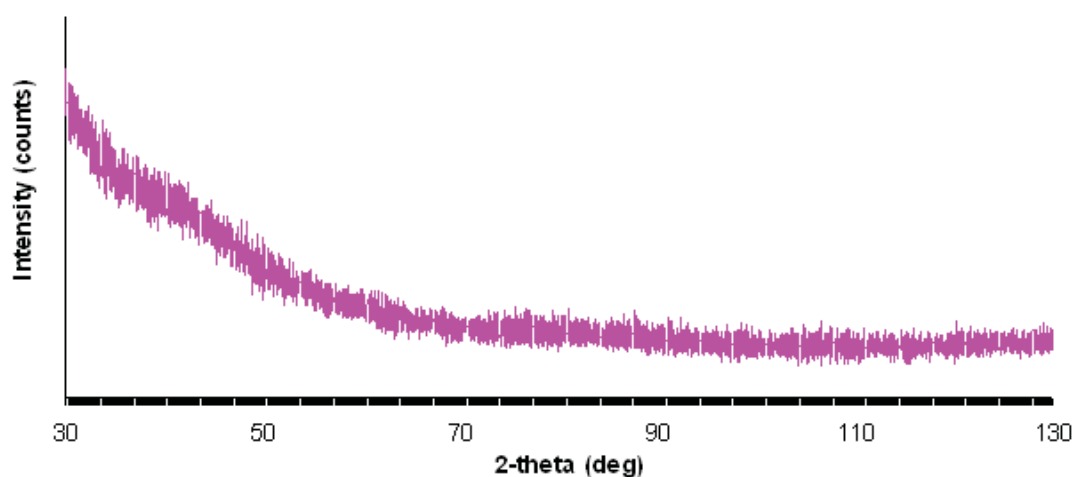


รูปที่ 25 พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ  
แพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง SEM

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี สงขลา

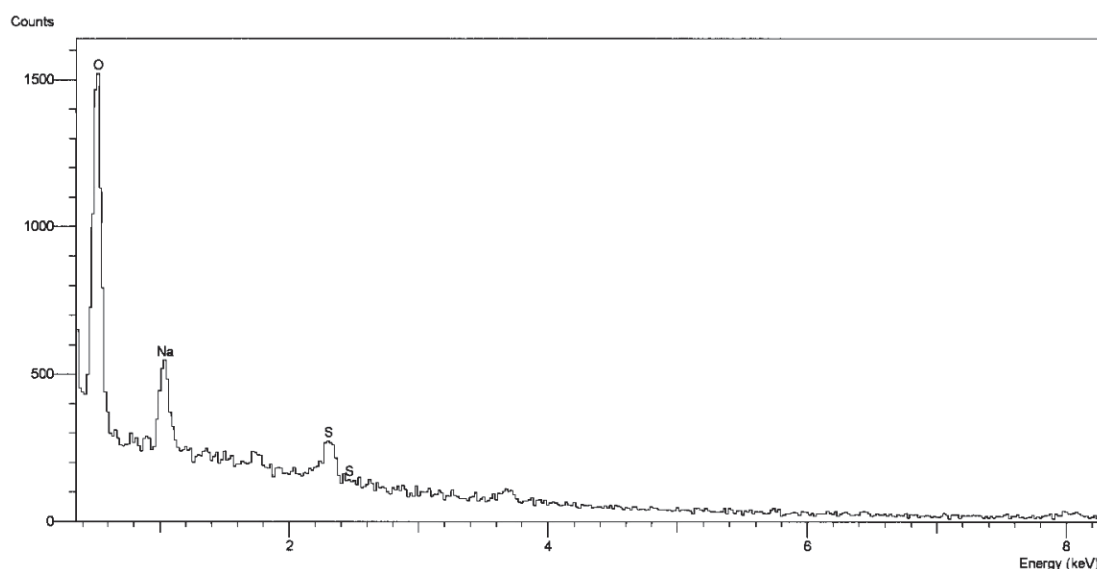
การตรวจสอบ โครงสร้างโลหะของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง  
หลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลดังภาพที่

26



ภาพที่ 26 รูปแบบพีกที่มุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดดูดซับ  
แพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง XRD

การตรวจสอบชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง EDX ได้ผลดังภาพที่ 27

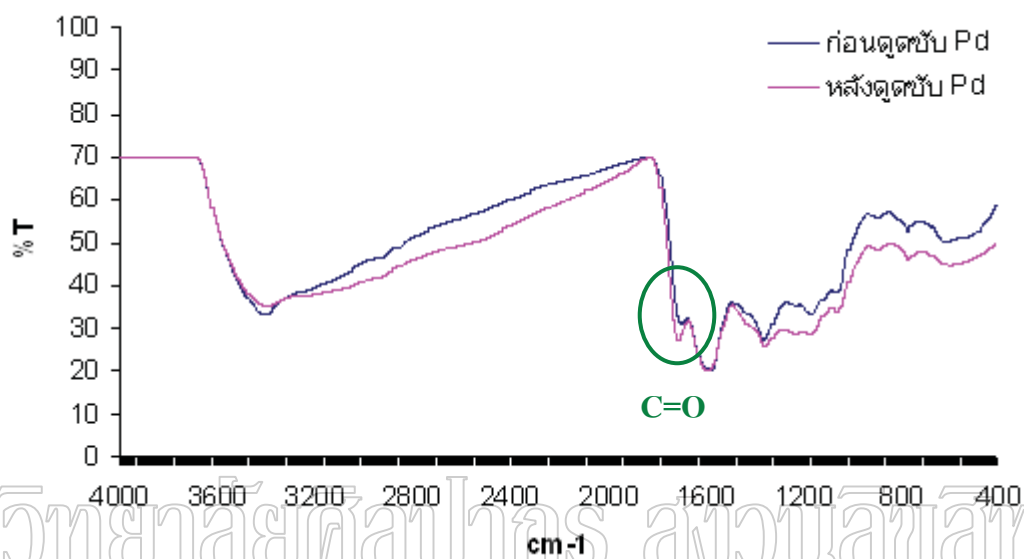


ภาพที่ 27 ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ด้วยเครื่อง EDX

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

### 3.1.2 การแยกพอลิเมอร์ในสารละลายพอลิเมอร์ด้วยตัวดูดซับแทนนิน

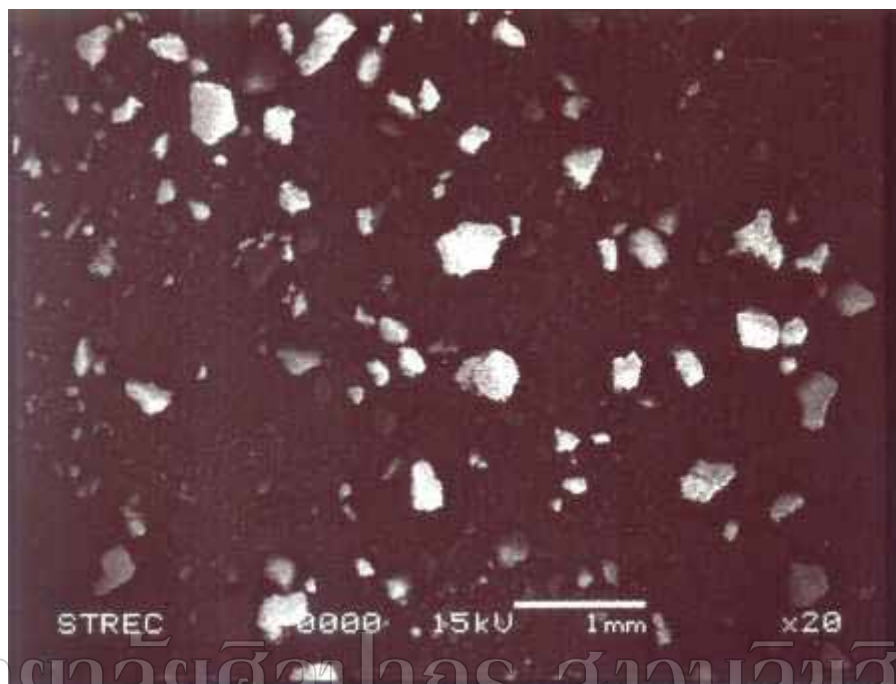
การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพอลิเมอร์ในสารละลายโลหะพอลิเมอร์ ด้วยเครื่อง FT – IR ได้ผลดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการดูดซับสารละลายพอลิเมอร์ ด้วยเครื่อง FT-IR



การตรวจสอบพื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังภาพที่ 29

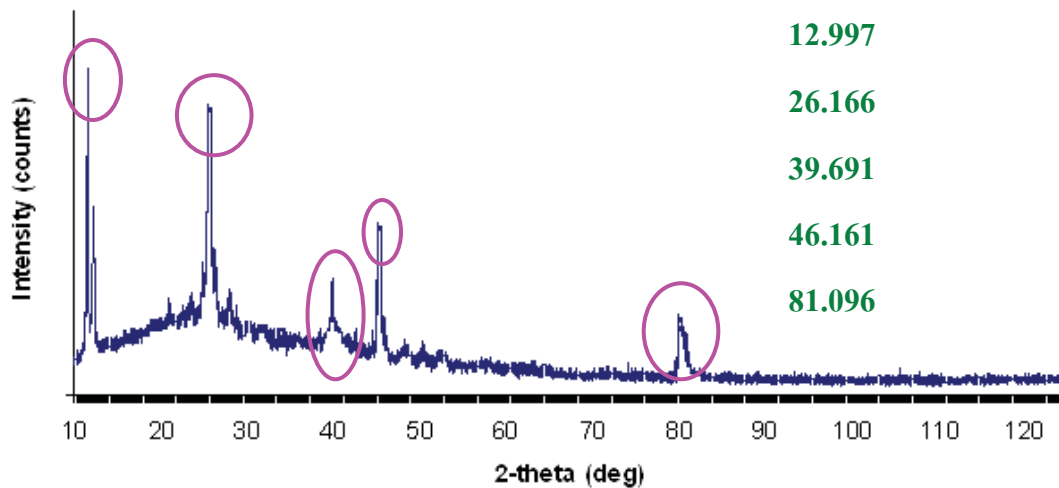


มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาพที่ 29 พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง  
หลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพอลลาเดียมในสารละลายพอลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลดังภาพที่

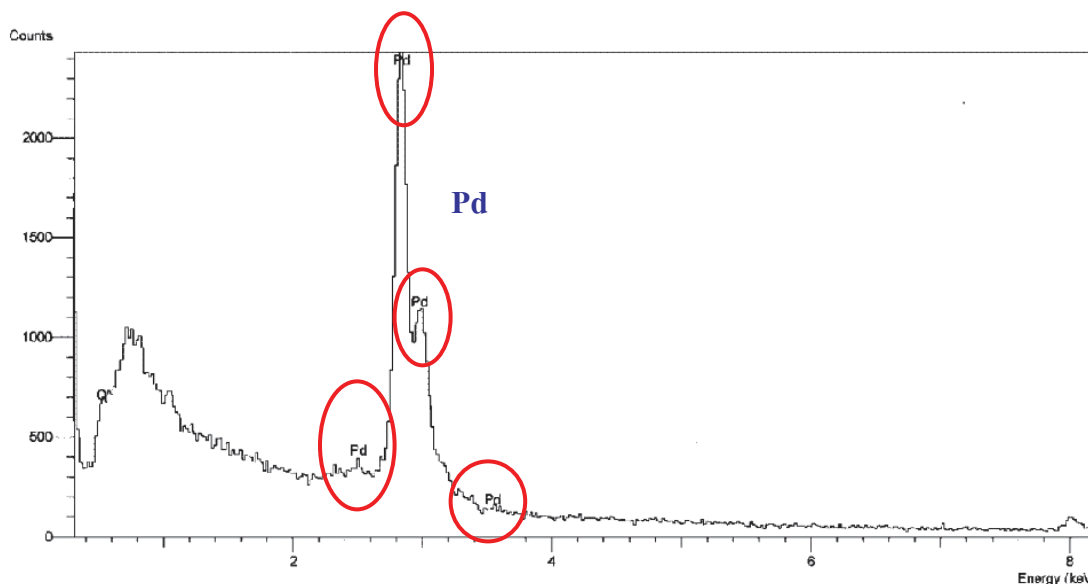
30



ภาพที่ 30 รูปแบบพีคที่มุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดดูดซับ  
พอลลาเดียมในสารละลายพอลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี สงขลา

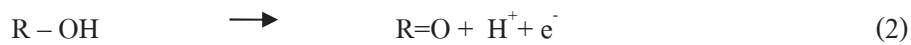
การตรวจสอบชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX ได้ผลดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX

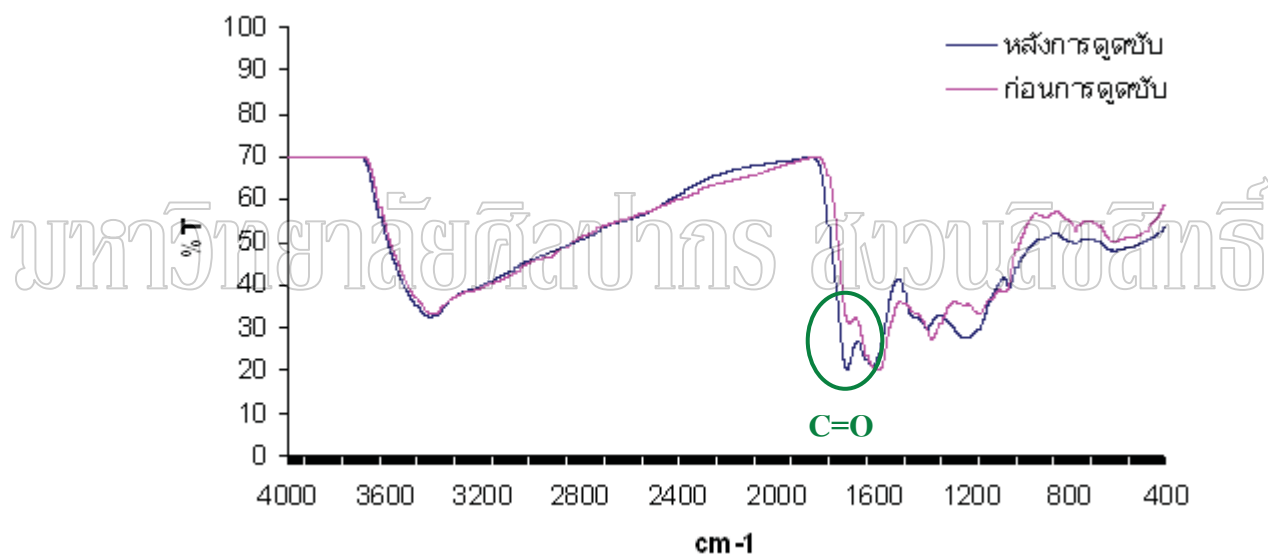
ผลการตรวจสอบตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายพัลลาเดียมด้วย FT-IR พบว่ากลุ่ม C=O ของตัวดูดซับแทนนินหลังเกิดปฏิกิริยากับสารละลายพัลลาเดียมมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเกิดปฏิกิริยา แสดงว่าหมู่ฟังก์ชัน O-H ของแทนนินถูก oxidize ไปเป็นกลุ่ม carbonyl และจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบอนุภาคของโลหะที่ผิวของตัวดูดซับแทนนิน จึงนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) พบว่ามีพัลลาเดียมเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากรูปแบบ 2 $\theta$  คือ 12.997, 26.166, 39.691, 46.161 และ 81.096 องศา ตรงกับรูปแบบของโลหะพัลลาเดียม (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2011) และจากผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (EDX) ก็พบธาตุพัลลาเดียมเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน

โดยกลไกการแยกพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางในสารละลายพัลลาเดียม เกิดจากหมู่ฟังก์ชัน O-H ของตัวดูดซับแทนนินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ C=O จึงให้อิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการ 2 และเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับไอออนของพัลลาเดียมในสารละลาย จึงเปลี่ยนไอออนของพัลลาเดียมเป็นโลหะพัลลาเดียม ดังแสดงในสมการ 3



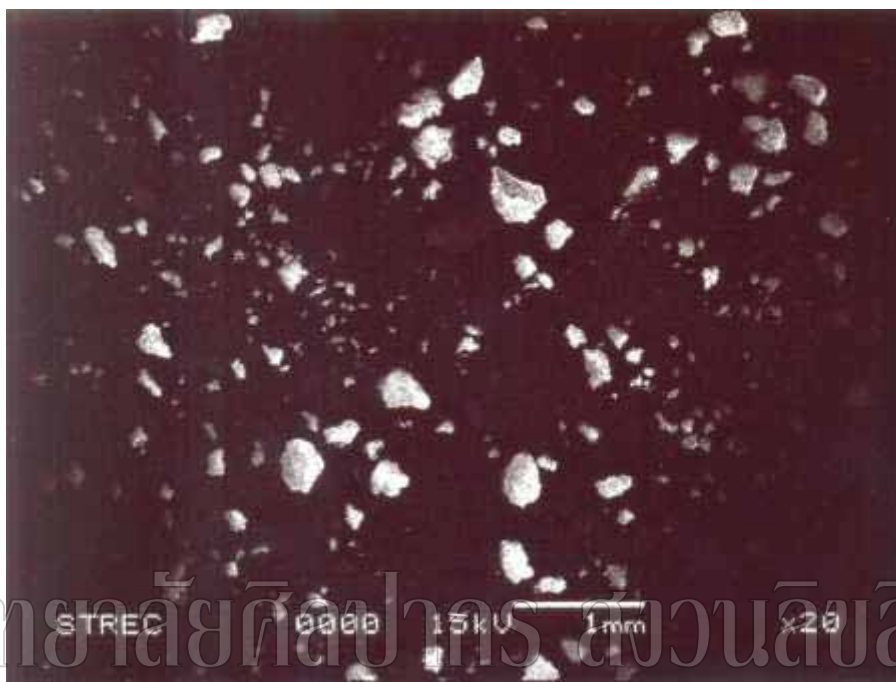
### 3.2 การแยกโลหะมีค่าในสารละลายโลหะผสม (แพลทินัมผสมพัลลาเดียม) ด้วยตัวดูดซับแทนนิน

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT - IR ได้ผลดังภาพที่ 32



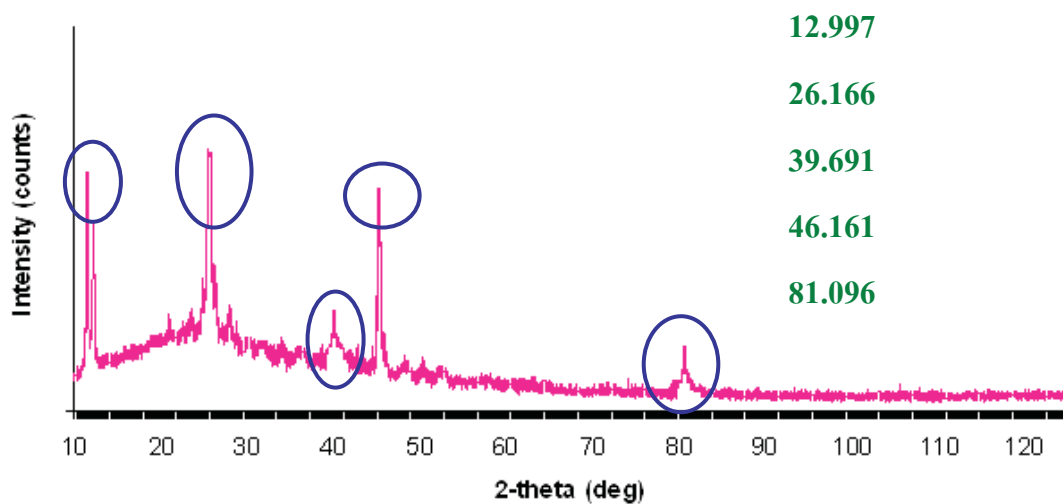
ภาพที่ 32 รูปแบบหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางก่อนและหลังการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง FT-IR

การตรวจสอบพื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแคลทิเนียมผสมพอลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 พื้นผิวของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแคลทิเนียมผสมพอลลาเดียม ด้วยเครื่อง SEM

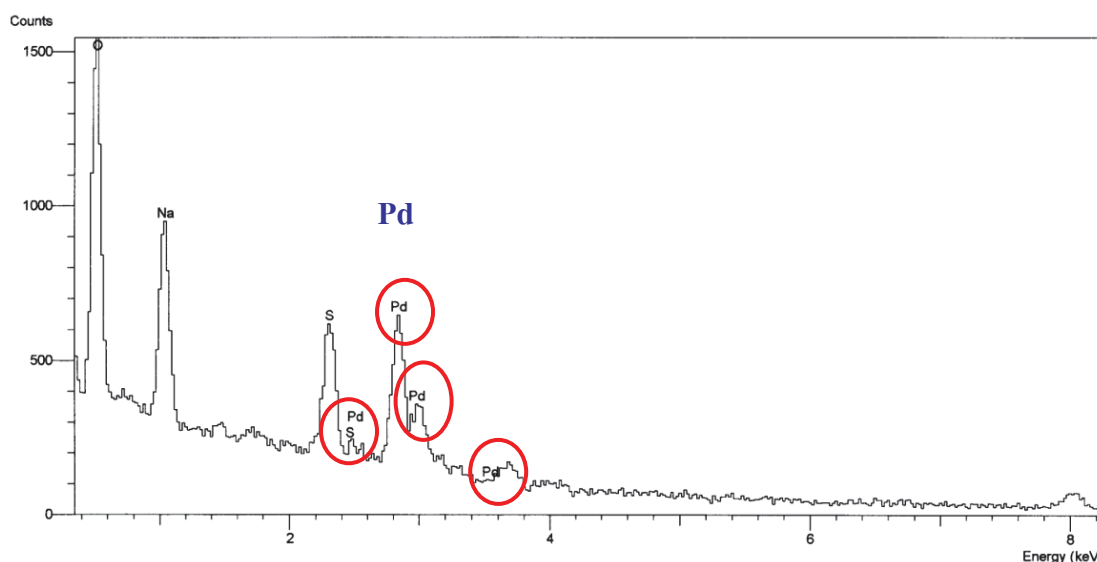
การตรวจสอบโครงสร้างโลหะของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแคลทิเนียมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 รูปแบบพีคที่มุม 2θ ของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังเกิดการดูดซับโลหะในสารละลายแคลทิเนียมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง XRD

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นคร สวงนวลักษณ์

การตรวจสอบชนิดองค์ประกอบธาตุของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX ได้ผลดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ชนิดองค์ประกอบของตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางหลังการดูดซับโลหะในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียม ด้วยเครื่อง EDX

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

จากผลการตรวจสอบด้วย FT-IR, XRD, EDX และ SEM แสดงชัดเจนว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม เนื่องจากปริมาณโลหะที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับได้และกลไกการดูดซับขึ้นกับการ form ตัวเป็นชนิดประจุของโลหะ โดยเมื่อพัลลาเดียมอยู่ในสารละลายคลอไรด์ พัลลาเดียมจะชอบ form ตัวเป็นประจุลบ เช่น  $\text{PdCl}_4^{2-}$  หรือ  $\text{PdCl}_3^-$  มากกว่าจะ form ตัวเป็นประจุบวก เช่น  $\text{PdCl}^+$  หรือไม่มีประจุ เช่น  $\text{PdCl}_2$  (Yeon Ho Kim and Yoshio Nakano 2005) แต่แพลทินัมจะชอบ form ตัวเป็นประจุบวกมากกว่า ส่งผลให้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวางเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม จึงสรุปได้ว่าตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์

จากใบหูกวางสามารถใช้เป็นตัวดูดซับในการแยกฟัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลาย แพลทินัมผสมฟัลลาเดียมได้ โดยสามารถนำกลับฟัลลาเดียมได้ 87.50 % และตัวดูดซับแทนินที่ ตั้งเคราะห์จากใบหูกวางมีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมได้สูงถึง 17.20 mg/g ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียมที่มากกว่าการใช้ตัวดูดซับชนิดอื่นเช่น การใช้ Nanometer-size titanium dioxide มีความสามารถในการดูดซับฟัลลาเดียม 11.82 mg/g การใช้ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles 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 A. et al. 2009)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแยกโลหะมีค่าจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชไทย แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในพืชตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินและการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากพืช การแยกแพลทินัมและพัลลาเดียมจากสารละลายด้วยตัวดูดซับแทนนิน และการศึกษากลไกการแยกโลหะมีค่าด้วยตัวดูดซับแทนนิน ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

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

5. ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากไบฮุกวางเลือกดูดซับเฉพาะพัลลาเดียม ทำให้สามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการแยกพัลลาเดียมออกจากแพลทินัมในสารละลายแพลทินัมผสมพัลลาเดียมได้

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

7. กลไกการแยกพัลลาเดียมด้วยตัวดูดซับแทนนินสังเคราะห์จากไบโหุงวางเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ฟังก์ชันในแทนนินให้อิเล็กตรอน และเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยไอออนของพัลลาเดียมในสารละลายรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นโลหะพัลลาเดียม จึงสามารถตรวจสอบโลหะพัลลาเดียมด้วยเครื่อง XRD และ EDX ได้

## 2. ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการสังเคราะห์ตัวดูดซับแทนนินด้วยวิธีอื่นหรือเปลี่ยนพืชที่นำมาสังเคราะห์ เนื่องจากในพืชแต่ละชนิดมีปริมาณแทนนินไม่เท่ากัน
2. ศึกษาการดูดซับโลหะชนิดอื่นด้วยตัวดูดซับแทนนินหรือศึกษาการดูดซับโลหะในสารละลายที่มีโลหะผสมอยู่หลายตัว เช่น ทองคำ แพลทินัมและพัลลาเดียม
3. ศึกษาความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายที่เป็น waste ของโรงงานด้วยตัวดูดซับแทนนิน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

### บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. สรุปภาวะการนำเข้าและส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับไทย  
ไตรมาสแรกปี 2549 [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 9 มกราคม 2553. เข้าถึงได้จาก  
[www.depthai.go.th/DEP/DOC/51/51008242.doc](http://www.depthai.go.th/DEP/DOC/51/51008242.doc)
- ชนันชัย พิริยโสภณสกุล. “การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในสมุนไพรร.” โครงการพิเศษ  
 ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2545.
- ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. “XRD Pattern ของแพลทินัมและพัลลาเดียม.” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์. “ตำราเภสัชเวทเรื่องพฤษกษแทนนิน.” ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2531.
- สุเมธ บุญเกิด. กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. การใช้อัลตราซาวนด์ในการ  
ช่วยสกัดพืชสมุนไพรร [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2551. เข้าถึงได้จาก  
[www.gpo.or.th/rdi/html/Ultrasound.html](http://www.gpo.or.th/rdi/html/Ultrasound.html)
- หทัยพร ศิรินอมารัตนา. “แทนนินกับเภสัชกรรม.” คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.
- อุทัย ไสยชนะพันธ์. ภาควิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. การเตรียมสารสกัดสมุนไพรร  
[ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2551. เข้าถึงได้จาก  
[www.pharm.su.ac.th/jubkrasae/lecture/2-12%20Sotanaphun\\_U.pdf](http://www.pharm.su.ac.th/jubkrasae/lecture/2-12%20Sotanaphun_U.pdf)
- Akira Nakajima and 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 Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> 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. et al. "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.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## ตัวอย่างการคำนวณ

### ก.1 การหาปริมาณสารแทนนินจากใบหูกวาง ใบยอและใบกระถิน

**ตัวอย่างที่ 1** การหาปริมาณสารแทนนินจากใบหูกวางจำนวน 5 กรัม จากการทดลองโดยวิธีซอห์คเลต ข้อมูลจากตารางที่ ก.1 ที่เวลาการสกัด 3 ชั่วโมง ค่าที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนคลื่นแสง อ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Absorbance) ของสารแทนนินได้ 0.480 โดยทำการเจือจาง 10 เท่า

#### ตัวอย่างการคำนวณ

จากสมการเส้นกราฟมาตรฐานรูปที่ ข.1 ในภาคผนวก ข

$$y = 0.0389 \cdot x + 0.2845$$

$$3.17 = 0.0389 \cdot x + 0.2845$$

$$x = 74.18$$

ดังนั้นจะได้ความเข้มข้นเท่ากับ 5.026 ppm หรือ มิลลิกรัม / ลิตร

$$\text{ปริมาณสารที่สกัดได้} = \frac{74.18 \text{ มก.} \times \text{เจือจาง } 10 \text{ เท่า} \times 25 \text{ มล.}}{1,000 \text{ มล.}}$$

$$\text{ปริมาณสารที่สกัดได้} = 18.55 \text{ มก./ 5 กรัม}$$

$$\text{ปริมาณสารที่สกัดได้จากใบหูกวาง 1 กรัม} = 18.55 \text{ มก.} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{5 \text{ กรัม}}$$

$$= 3.71 \text{ มก./ กรัม}$$



## ก.2 การหาความสามารถในการดูดซับโลหะด้วยตัวดูดซับแทนนิน

**ตัวอย่างที่ 2** การหาความสามารถในการดูดซับโลหะพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม 35 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 2 ด้วยตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.25 กรัม เวลาในการดูดซับ 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

### ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 q &= (C_i - C_f) V \\
 &= (\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นหลังการดูดซับ}) * \text{ปริมาตรสารละลาย} \\
 &= (35 - 0.65) \frac{\text{มิลลิกรัม} * 20 \text{ ลิตร}}{\text{ลิตร} \quad 1000}
 \end{aligned}$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตัวดูดซับ 0.25 กรัม สามารถดูดซับพัลลาเดียมได้ 0.687 มิลลิกรัม

ดังนั้นตัวดูดซับ 1 กรัม จะสามารถดูดซับพัลลาเดียมได้  $0.687 / 0.25 = 2.748$  มิลลิกรัม

แสดงว่าตัวดูดซับแทนนินมีประสิทธิภาพในการดูดซับพัลลาเดียม 2.748 มิลลิกรัม/กรัม

ภาคผนวก ข

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## ข้อมูลผลการทดลอง

ข.1 การสกัดสารแทนนินจากพืชตัวอย่าง และตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชตัวอย่างโดยวิธีชอห์คเลต

ตารางที่ 6 ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้โดยวิธีชอห์คเลต

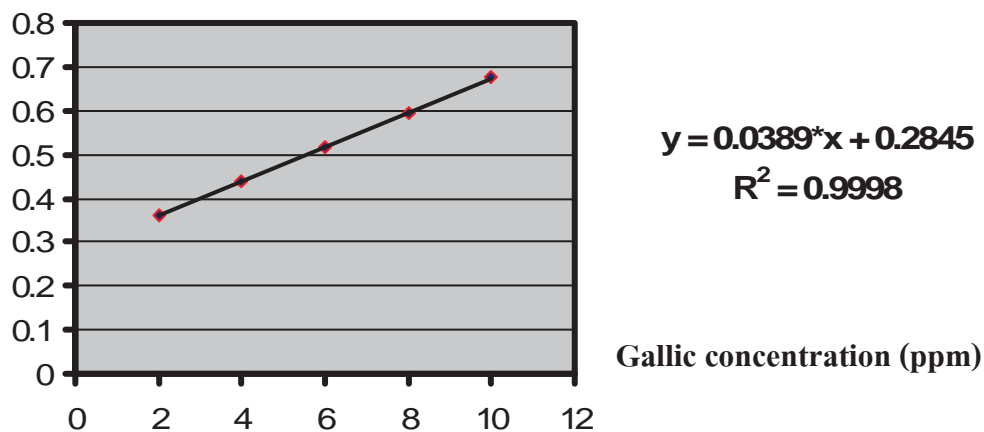
ชนิดสารที่นำมาสกัด	ค่า absorbance			ปริมาณสารแทนนิน (มิลลิกรัม/กรัม)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
ใบหูกวาง	3.193	3.147	3.17	3.71
ใบขยอ	2.601	2.819	2.71	3.12
ใบกระถิน	2.138	2.002	2.07	2.30
ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง	4.981	4.979	4.98	6.04
ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากใบขยอ	4.292	4.468	4.38	5.27
ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากใบกระถิน	3.286	3.294	3.29	3.86

ข.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกจากเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนคลื่นแสง

ตารางที่ 7 ค่า Absorbance ของสารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆจากเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ กรดแกลลิก (ppm)	ค่า Absorbance		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2	0.358	0.367	0.363
4	0.437	0.443	0.440
6	0.517	0.517	0.517
8	0.596	0.589	0.593
10	0.675	0.675	0.675

## Absorbance



ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกจากเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

สมการที่ได้จากรูปที่ ข.1  $y = 0.0389*x + 0.2845$  (ข.1)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ข.3 ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง Inductivity couple plasma spectrometer

ตารางที่ 8 ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม 35 ppm ปริมาตร 20

มิลลิลิตร โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชตัวอย่าง 0.25 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ชนิดของตัวดูดซับ	pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง	1	34.88
	2	34.30
	3	33.70
	5	34.91
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบยอ	1	34.85
	2	34.40
	3	33.92
	5	34.92

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดของตัวดูดซับ	pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบกระถิน	1	34.93
	2	34.64
	3	34.00
	5	35.00

ตารางที่ 9 ความสามารถในการดูดซับฟัลลาเคียมในสารละลายฟัลลาเคียม 35 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากพืชตัวอย่าง 0.25 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ชนิดของตัวดูดซับ	pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง	1	3.30
	2	0.65
	3	1.30
	5	11.20
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบยอ	1	2.70
	2	0.81
	3	0.88
	5	4.10
ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบกระถิน	1	12.80
	2	3.20
	3	5.10
	5	20.00

ตารางที่ 10 เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม 35 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง

เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
1	34.90
3	34.80
7	34.70
16	34.30
24	34.40
48	34.20
60	34.40

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสุโขทัย

ตารางที่ 11 เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของฟัลลาเดียมในสารละลายฟัลลาเดียม 35 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง

เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
1	19.20
3	14.70
7	8.80
16	7.00
24	4.90
48	3.50
60	3.20

**ตารางที่ 12** ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
20	19.30
40	39.00
60	58.60
80	78.70
100	98.60
120	118.60

**ตารางที่ 13** ความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม ปริมาตร 25

มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.1 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
20	0.94
40	2.70
60	3.50
80	13.40
100	29.30
120	66.40
140	124.70
180	179.60
200	199.20
240	239.40
300	299.20
350	349.10

**ตารางที่ 14** ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมในสารละลายแพลทินัม 60 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 3 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
0.025	60.00
0.05	59.60
0.1	58.60
0.2	57.20
0.3	58.60

**ตารางที่ 15** ความสามารถในการดูดซับพัลลาเดียมในสารละลายพัลลาเดียม 95 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จากใบหูกวาง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)
0.025	83.20
0.05	63.40
0.1	23.00
0.2	24.10
0.3	24.10



**ตารางที่ 16** ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายแพลทินัม  
ผสมพัลลาเดียม 50 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์  
จากใบหูกวาง 0.2 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)	
	แพลทินัม	พัลลาเดียม
1	49.80	12.60
2	49.70	4.60
3	48.30	8.30
4	49.50	7.90
5	49.50	7.40

**ตารางที่ 17** เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายแพลทินัม

ผสมพัลลาเดียม 50 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่  
สังเคราะห์จากใบหูกวาง 0.05 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง

เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)	
	แพลทินัม	พัลลาเดียม
1	48.30	39.90
3	47.90	36.10
7	47.00	35.50
16	45.80	30.40
24	45.40	25.90
48	46.00	25.40
60	45.90	25.60

**ตารางที่ 18** ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายแพลทินัม  
ผสมพัลลาเดียม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่สังเคราะห์จาก  
ไบฮุกวาง 0.05 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)	
	แพลทินัม	พัลลาเดียม
20	19.70	2.50
40	39.10	12.70
60	58.20	22.20
80	78.30	42.90
100	99.60	62.10
120	119.40	111.20
140	139.60	131.30
160	159.20	156.30
180	179.50	176.00
200	198.90	196.50
220	219.00	216.30

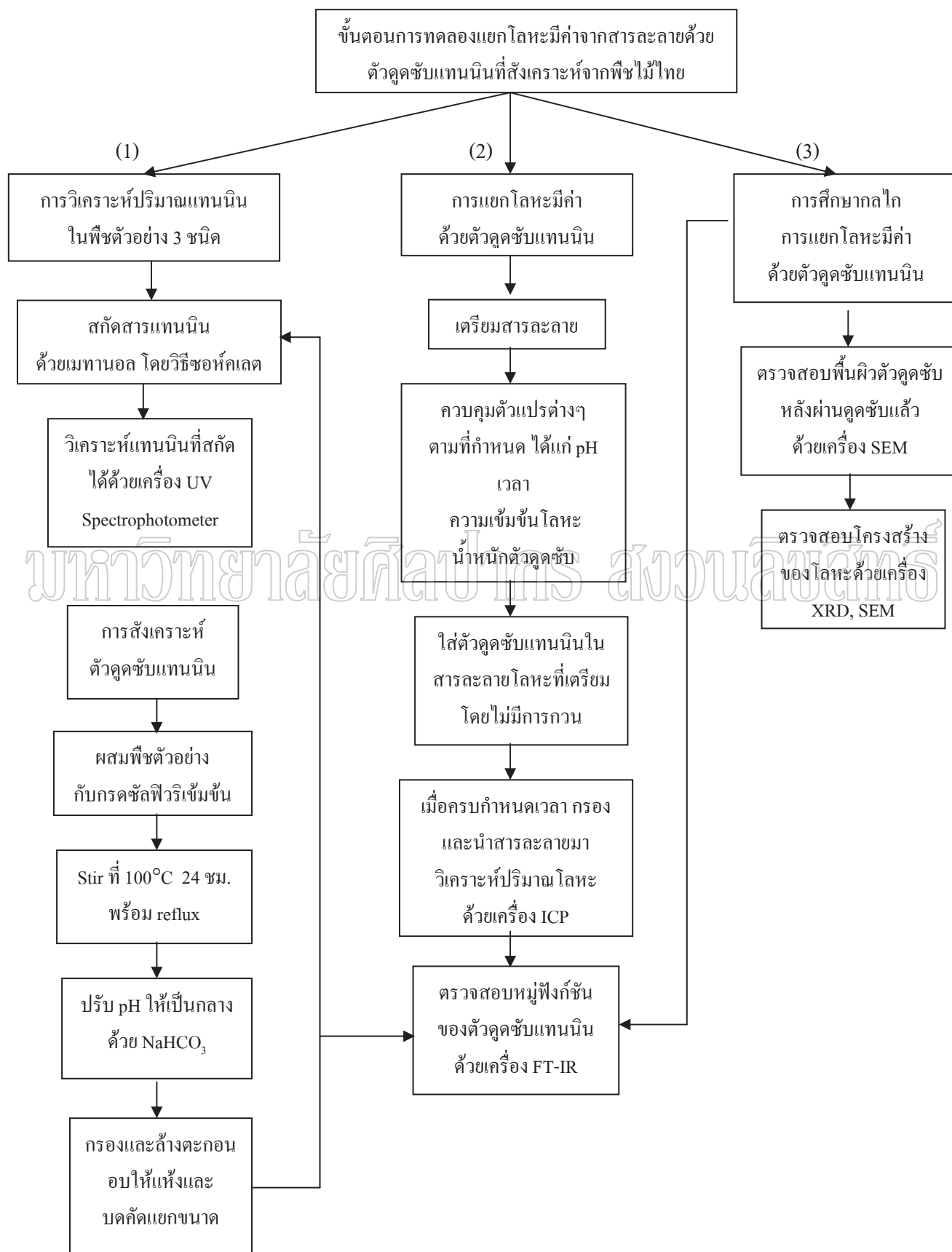
**ตารางที่ 19** ความสามารถในการดูดซับแพลทินัมและพัลลาเดียมในสารละลายแพลทินัม  
ผสมพัลลาเดียม 70 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 2 โดยใช้ตัวดูดซับแทนนินที่  
สังเคราะห์จากไบฮุกวาง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับที่วัดได้ (ppm)	
	แพลทินัม	พัลลาเดียม
0.0125	70	61.00
0.025	69.60	40.00
0.05	68.10	27.00
0.1	68.10	28.00
0.2	68.15	26.50

ภาคผนวก ค

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

### ขั้นตอนการดำเนินงาน



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวญาชนาภา ญาณชวกุล
ที่อยู่	145/619 ม.8 ต.คอนตะโก อ.เมืองฯ จ.ราชบุรี 70000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2548	จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ จ.ราชบุรี
พ.ศ.2552	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ.2552	เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์