

การเก็บกลับคืนโลหะพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับ



นางสาวสิพัตต์ ปราสาททอง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RECOVERY OF PLATINUM METAL FROM JEWELRY INVESTMENT CASTING WASTE



Miss Sirichat Prasattong

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006


Copyright of Chulalongkorn University.


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับ
โดย นางสาวลลิตาฉัตร ปราสาททอง
สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิจารณ์ะเดช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.ชชีพร วงศ์ปรีดี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัญศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิจารณ์ะเดช)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ชชีพร วงศ์ปรีดี)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์)

สิทธิศักดิ์ ปราสาททอง : การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับ (RECOVERY OF PLATINUM METAL FROM JEWELRY INVESTMENT CASTING WASTE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ดาววัลย์ วิวรรณนะเดช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.ชจีพร วงศ์ปรีดี, 73 หน้า.

เศษปูนหล่อที่ได้จากการขึ้นรูปอัดภูมิณีและเครื่องประดับ ย่อมมีโลหะมีค่า เช่น ทองคำ แพลทินัมและ เงินหลงเหลืออยู่ หากเป็นชิ้นส่วนที่มีโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ปริมาณมากพอ ก็จะมีการส่งต่อไปยังอุตสาหกรรมรีไซเคิลเพื่อเก็บกลับคืนโลหะมีค่าต่างๆต่อไป สำหรับชิ้นส่วนที่มีโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ปริมาณน้อย ก็จะถูกเก็บกองไว้ เป็นภาระในการจัดการ หากสามารถนำเทคโนโลยีการแต่งแร่ทั้งทางกายภาพและทางเคมีมาประยุกต์ใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม จะสามารถเก็บกลับคืนโลหะมีค่าจากชิ้นส่วนเศษปูนหล่อที่มีปริมาณโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่ปริมาณน้อยได้อย่างคุ้มค่า

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ทดลองนำเทคโนโลยีการแต่งแร่ทั้งทางกายภาพและทางเคมีมาประยุกต์ใช้เชิงผสมผสานเพื่อนำกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อ โดยเริ่มต้นจากการนำเศษปูนหล่อไปบดแห้ง แล้วบดละเอียดจนวัสดุเกิดการแยกตัวกัน จากนั้นทำการคัดแยกด้วยมือ แล้วตามด้วยการคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน และการคัดแยกด้วยโต๊ะสั่น ตามลำดับ จากนั้นจึงเลือกใช้เฉพาะส่วนหนักและส่วนละเอียด โดยนำทั้งสองส่วนมารวมกัน แล้วนำไปกำจัดมลทินเหล็กด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก แล้วจึงนำส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กไปทำการละลายในสารละลายกรดกัดทองเพื่อแยกสกัดโลหะแพลทินัมออกจากเศษปูนหล่อ แล้วจึงเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายด้วยเทคนิคการแทนที่ด้วยโลหะสังกะสี เปรียบเทียบกับการตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิค ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกสกัดโลหะแพลทินัมด้วยสารละลายกรดกัดทอง คือ ใช้กรดกัดทองเข้มข้น 100% ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีได้ทำการทวน สามารถแยกสกัดโลหะแพลทินัมด้วยประสิทธิภาพ 94.32%, 97.71%, และ 99.25% โดยน้ำหนักเมื่อใช้เศษปูนหล่อเข้มข้น 20%, 10% และ 5% Solid ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพการแยกสกัดลดลงเหลือเพียง 88.74% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเศษปูนหล่อเป็น 33.5% Solid ดังนั้นจึงควรทำการแยกสกัดโลหะแพลทินัมด้วยสารละลายกรดกัดทองที่ความเข้มข้นไม่เกิน 20% Solid สำหรับการทดลองเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายแพลทินัมในกรดกัดทอง ได้ทดลอง 2 เทคนิคเปรียบเทียบกัน ผลการทดลองพบว่า การเก็บกลับคืนด้วยเทคนิคการแทนที่ด้วยโลหะสังกะสี จะได้ผลิตภัณฑ์โลหะแพลทินัมที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่า (95.03% Pt) ด้วยประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนสูงถึง 93.6% จึงควรเลือกเทคนิคนี้สำหรับการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายแพลทินัมในกรดกัดทอง

กล่าวโดยสรุปคือ การนำเทคโนโลยีการแต่งแร่ทั้งทางกายภาพและทางเคมีมาประยุกต์ใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับการเก็บกลับคืนโลหะมีค่าจากวัสดุเหลือทิ้งที่มีองค์ประกอบโลหะมีค่าปริมาณค่อนข้างต่ำได้ เป็นการส่งเสริมให้เกิดการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและลดปริมาณขยะในเวลาเดียวกัน

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต...สิทธิศักดิ์...ปราสาททอง.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4670558021 : MAJOR GEORESOURCE ENGINEERING

KEY WORD: PLATINUM METAL RECOVERY / CEMENTATION / PRECIPITATION

SIRICHAT PRASATTONG : RECOVERY OF PLATINUM METAL FROM JEWELRY INVESTMENT CASTING WASTE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.DAWAN WIWATTANADATE, Ph.D., THESIS CO ADVISER : KAGEEPORN WONGPREEDEE, Ph.D., 73 pp.

Jewelry investment casting waste generally contains precious metals such as gold, platinum and silver. If the waste contains much enough quantity of precious metals, it will be sent to a specific industry to recovery the precious. In case the waste contains rather low quantity of precious metals, it will be kept somewhere without doing anything. It is expected that appropriate integration of mineral processing technologies would bring to a methodology to recovery such low quantity of the precious metals.

In the present study, the integration of both physical and chemical mineral processing technologies was applied for platinum recovery from jewelry investment casting waste. The waste was started with drying at 110 °C and then grinding to obtain a liberation size. The process was followed with hand sorting, size sieving, and then table shaking. The mixture of concentrate and middling was then applied to a magnetic separator to remove iron impurity in the mixture. Then the iron free mixture was dissolved in aqua regia at 60 °C without stirring. Various factors influencing on leaching efficiency were investigated to obtain optimum condition. The result showed the optimum condition for this system is to dissolve the sample in 100% aqua regia at 60 °C with solid concentration not higher than 20% solid for at least 12 hours in case of. Then recovery of platinum metal from the solution was comparative investigated by either cementation or precipitation method. The result showed that the higher purity (95.03% Pt) and higher recovery (93.6%) was obtained when using the cementation method. It is concluded that precious metals can be effectively recovered from the waste containing rather low quantity of precious metals by using appropriate integration of mineral processing technologies.

Department of Mining and Petroleum Engineering	Student's signature.. สิริชัชพร...ปราสาททอง
Field of study Georesource Engineering	Advisor's signature.....
Academic year 2006	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากบุคคล หน่วยงาน และสถาบัน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ดังนี้

รศ.ดร.ดาววัลย์ วิวรรณนะเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือ และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ

อ.ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ

ผศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย

รศ.ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย

อาจารย์อุทิศ ทองกลิ้ง และอาจารย์พงศธร รุ่งเจริญ ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ และขอขอบพระคุณอาจารย์ บุคลากร ในสาขาวิศวกรรมเหมืองแร่ และปิโตรเลียมทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้ สำเร็จได้ตามเป้าหมาย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป เอกวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าศึกษาข้อมูล และเก็บตัวอย่างเศษปูนหล่อโลหะแพลทินัม

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ คุณยาย และทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และทำที่สุด ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาป่าน เพื่อน พี่ และน้องๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในครั้งนี้นี้ ซึ่งมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรีทรรศน์วรรณกรรม.....	5
2.1 คุณสมบัติของแพลทินัมและการนำไปใช้.....	5
2.2 กระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ.....	10
2.2.1 ปูนหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ.....	11
2.2.2 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ.....	16
2.2.3 การหลอมโลหะ.....	17
2.2.4 การหล่อโลหะที่ใช้ในการทำเครื่องประดับ.....	17
2.3 กระบวนการเก็บกลับคืนโลหะมีค่าแพลทินัมจากเศษเหลือทิ้งในขั้นตอนการหล่อโลหะในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ.....	18
2.3.1 การคัดขนาดด้วยตะแกรง (Sieving).....	18
2.3.2 การแยกด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ด้วยโต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table).....	19
2.3.3 การแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Separation).....	19
2.4 การละลายโลหะมีค่าแพลทินัม (Pt).....	20
2.4.1 Cyanide Leaching.....	20

2.4.2	Aqua Regia Leaching.....	20
2.5	การเก็บกลับคืนโลหะมีค่าแพลทินัม(Pt).....	22
2.5.1	Cementation หรือ Metal Displacement.....	22
2.5.2	Solvent Extraction.....	22
2.5.3	Ion Exchange.....	23
2.5.4	การตกตะกอนร่วม (Co-Precipitation).....	24
2.6	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.1	แผนการศึกษาวิจัย.....	27
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	27
3.3	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.4	วัสดุดิบ.....	28
3.5	ขั้นตอนการทดลอง.....	28
3.5.1	การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหลอมโดยวิธีทางกายภาพ...	30
3.5.2	การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหลอมที่ปราศจากมลทิน เหล็กโดยวิธีการละลายทางเคมีด้วยกรดกัดทอง.....	32
3.5.3	การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง.....	33
3.5.4	ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบของเศษปูนหลอมเครื่องประดับ.....	35
4	รายงานผลการทดลอง.....	38
4.1	ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของตัวอย่างเศษปูนหลอม.....	38
4.1.1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะมีค่าและธาตุองค์ประกอบอื่นในเศษปูน หลอมโดยใช้เทคนิค XRF.....	38
4.1.2	ผลการวิเคราะห์สารประกอบในเศษปูนหลอมด้วยเทคนิค XRD.....	40
4.1.3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแพลทินัมในเศษปูนหลอมโดยใช้เทคนิค ICP.....	41
4.2	ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหลอมโดยวิธีทางกายภาพ.....	42
4.2.1	ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมด้วยเทคนิคการแยกด้วยมือ.....	42
4.2.2	ผลการทดลองจากขั้นตอนการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรง.....	42
4.2.3	ผลการแยกเศษปูนหลอมโดยอาศัยความแตกต่างของความ ถ่วงจำเพาะด้วยโต๊ะสั่นแยกแร่.....	45

4.2.4 ผลการกำจัดมลทินเหล็กออกจากเศษปูนหล่อโดยอาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่อง Franz Magnetic.....	46
4.3 ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อโดยวิธีการละลายทางเคมีด้วยกรดกัดทอง.....	47
4.3.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความเข้มข้นของกรดกัดทองที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการละลายโลหะแพลทินัม.....	47
4.3.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการละลายโลหะแพลทินัม.....	49
4.4 ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง.....	51
4.4.1 ผลการตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก.....	51
4.4.2 ผลการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงโลหะสังกะสี.....	53
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของแพลทินัมอัลลอยด์.....	8
ตารางที่ 4.1 แสดงธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเศษปูนหล่อโดยใช้เทคนิค XRF.....	39
ตารางที่ 4.2 แสดงมวลสมมูลของโลหะแพลทินัมจากขั้นตอนการใช้โต๊ะสั่น.....	45
ตารางที่ 4.3 แสดงมวลสมมูลของโลหะแพลทินัมจากขั้นตอนการแยกด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก.....	46
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองจากขั้นตอนการละลายโลหะแพลทินัม.....	49
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง.....	54



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อ.....	3
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของโลหะแพลทินัมที่เกิดในธรรมชาติ.....	5
ภาพที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ความบริสุทธิ์ของโลหะแพลทินัม.....	10
ภาพที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ.....	11
ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการผสมปูนหล่อโลหะแพลทินัม.....	15
ภาพที่ 2.5 แสดงเตาอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ.....	16
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อ เครื่องประดับ.....	29
ภาพที่ 3.2 แสดงการวิเคราะห์โลหะแพลทินัมจากกระบวนการต่างๆ.....	36
ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของเศษปูนหล่อ.....	38
ภาพที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของเศษปูนหล่อด้วยเทคนิค XRF.....	39
ภาพที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์สารประกอบของเศษปูนหล่อด้วยเทคนิค XRD.....	40
ภาพที่ 4.4 แสดงโลหะแพลทินัมที่เก็บกลับคืนได้จากขั้นตอนการคัดแยกด้วยมือ.....	42
ภาพที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของเศษปูนหล่อโดยใช้เครื่อง LIBS (ขนาด -50# + 70#).....	43
ภาพที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของเศษปูนหล่อโดยใช้เครื่อง LIBS (ขนาด -70# + 100#).....	43
ภาพที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของเศษปูนหล่อโดยใช้เครื่อง LIBS (ขนาด -100# + 120#).....	44
ภาพที่ 4.8 แสดงตะกอนที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก.....	51
ภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนโลหะแพลทินัมสีดำด้วยเทคนิค LIBS.....	52
ภาพที่ 4.10 แสดง ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงสังกะสี.....	53
ภาพที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนโลหะแพลทินัมสีส้มด้วยเทคนิค LIBS.....	54
ภาพที่ 5.1 แสดงมวลสมมูลจากขั้นตอนต่างๆ (การตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิก).....	56
ภาพที่ 5.2 แสดงมวลสมมูลจากขั้นตอนต่างๆ (การแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผง สังกะสี).....	57

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 2.1 แสดงปริมาณการใช้งานของโลหะแพลทินัมทั่วโลก ปี2006.....	6
แผนภูมิที่ 2.2 แสดงปริมาณอัลลอยล์ชนิดต่างๆเพื่อเพิ่มความแข็ง.....	9
แผนภูมิที่ 2.3 แสดงปริมาณอัลลอยล์ชนิดต่างๆเพื่อเพิ่มสภาพความต้านทานไฟฟ้า.....	9
แผนภูมิที่ 2.4 แสดงโปรแกรมสำหรับงานหล่อปูนฟอสเฟตบอนด์.....	16
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การละลายโลหะแพลทินัมที่กรดกัดทองความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลาการละลาย 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการกวน	48
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การละลายโลหะแพลทินัมที่เวลาการละลาย 1-24 ชั่วโมง ที่ตัวทำละลายกรดกัดทอง100% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการ กวน	50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับมีการเจริญเติบโตของมูลค่าเพิ่มโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20-40 ต่อปี ในช่วงปี 2531-2534 ซึ่งเป็นระยะที่อุตสาหกรรมเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่มีการชะลอตัวอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเจริญเติบโตที่ติดลบในช่วงปี 2540 และ 2541 ซึ่งเป็นช่วงเวลาของวิกฤติทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมนี้ได้เริ่มปรับตัวเข้าสู่ภาวะเติบโตเช่นเดิมตั้งแต่ปี 2542 เป็นต้นมา โดยมีมูลค่าการส่งออกอยู่ในอันดับ 6 โดยในระหว่างปี พ.ศ. 2542 – 2549 มูลค่าการส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 4 ของการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมทั้งหมด (Total Manufacturing Exports) จากข้อมูลการส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ ปี 2549 ตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายน มีมูลค่าการส่งออกรวมทั้งสิ้นประมาณ 70,378.85 พันล้านบาท (1,793.42 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา) มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตจะมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดเศษเหลือทิ้งและของเสียจากกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น เศษเหลือทิ้งและของเสียจากอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ จะมีอยู่เกือบทุกกระบวนการผลิต หากนำของเสียไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้เศษเหลือทิ้งที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเหล่านี้ยังมีโลหะมีค่า เช่น แพลทินัม (Pt), ทองคำ (Au), เงิน (Ag) และทองแดง (Cu) ปะปนอยู่ น่าจะนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ เพื่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจของประเทศ ทางโรงงานอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับจึงส่งเศษเหลือทิ้งเหล่านี้เพื่อไปแยกสกัดโลหะมีค่านำกลับมาใช้ ซึ่งในปัจจุบันดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือ กรรมวิธีทางเคมีและกรรมวิธีทางไฟฟ้า

สำหรับเศษเหลือทิ้งที่ผู้วิจัยนำมาศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ เศษเหลือทิ้งที่มาจกขั้นตอนการหล่อ ในกระบวนการผลิตการหล่อเครื่องประดับสำหรับงานวิจัย ซึ่งนับว่าเป็นส่วนที่โรงงานอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับทุกแห่งทราบว่าโลหะมีค่าหลงเหลืออยู่แต่มีปริมาณน้อย หากส่งเศษเหลือทิ้งเหล่านี้ไปยังไปโรงงานอุตสาหกรรมการสกัดโลหะมีค่านำกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีการทั่วไปอาจจะได้โลหะมีค่าในปริมาณน้อยมากไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น จึงมีเศษเหลือทิ้งจำพวกปูนหลอมปริมาณมากที่โรงงานอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ

ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาแนวทางและวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการนำเศษเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับแปรสภาพกลับมาใช้ใหม่และกำจัดอย่างเหมาะสมเพื่อรองรับเศษเหลือทิ้งและของเสียที่คาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถบริโภคหรือใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่ามากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมโดยวิธีการละลายทางเคมี
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อสมบัติการละลาย และตกตะกอนโลหะแพลทินัม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นกรด เวลา เป็นต้น
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความบริสุทธิ์โลหะแพลทินัม

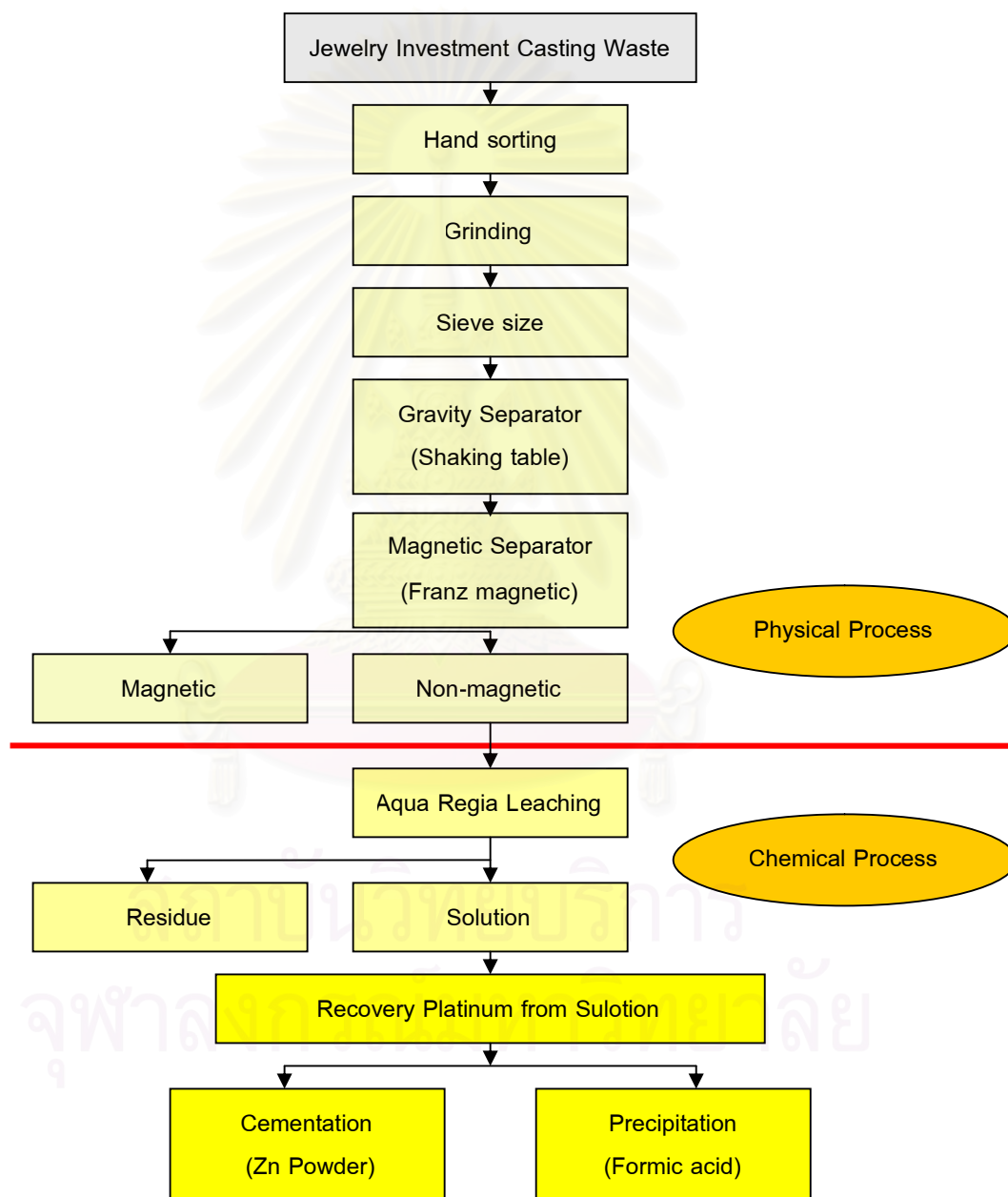
1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์โลหะมีค่าจากเศษปูนหล่อ
 - เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD)
 - เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี (XRF)
 - เทคนิค Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)
 - เทคนิค Laser Induce Breakdown Spectroscopy (LIBS)
- 1.3.3 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อโดยวิธีการทางกายภาพ (Physical Process)
 - การคัดแยกด้วยมือ (Hand sorting)
 - การบด - เครื่องบด Ball mill
 - การคัดขนาด - ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve size)
 - การแยกแร่ด้วยความถ่วงจำเพาะ (Gravity) - โต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table)
 - การกำจัดมลทินเหล็กออกจากเศษปูนหล่อโดยอาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก - เครื่อง Franz Magnetic
- 1.3.4 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อที่ปราศจากมลทินเหล็กโดยวิธีการละลายทางเคมี (Chemical Process) ด้วยกรดกัดทอง (Aqua Regia)
- 1.3.5 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง (Recovery Platinum from Aqua regia solution)

- การตกตะกอน (Precipitation) โลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก (Formic acid)
- การแทนที่โลหะ (Cementation) ด้วยผงสังกะสี (Zn Powder)

1.3.6 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขั้นตอนการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ แสดงสรุปในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบองค์ประกอบโลหะแพลทินัมในเศษปูนหล่อเครื่องประดับ
- 1.4.2 ทราบแนวทาง ขั้นตอน และสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม
- 1.4.3 ทราบแนวทางในการนำผลการทดลองที่ได้มาประยุกต์และนำไปพัฒนาในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่อไป



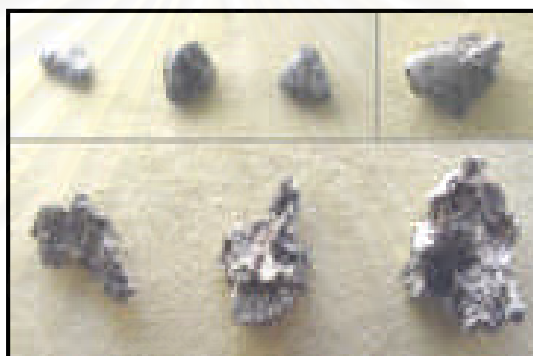
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรม

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการ ที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลเบื้องต้นของกระบวนการผลิตเครื่องประดับ วิธีการและกระบวนการทั้งทางกายภาพและทางเคมี ที่นำมาใช้ในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.1 สมบัติของแพลทินัมและการนำไปใช้ประโยชน์



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของโลหะแพลทินัมที่เกิดในธรรมชาติ

(<http://en.wikipedia.org>)

ปี ค.ศ. 1557 Julius Caesar Scaliger ได้เขียนถึงสารชนิดหนึ่งที่พบในเหมืองในอเมริกา กลางว่า ไม่สามารถหลอมโดยไฟหรือวิธีการอื่น ๆ ที่ทราบในสมัยนั้น สารชนิดนี้ตามหลักฐานที่ปรากฏน่าจะเป็นแพลทินัม

ปี ค.ศ. 1750 William Brownrigg แพทย์ชาวอังกฤษได้ทำการทดลองเกี่ยวกับธาตุนี้และได้รายงานผลกับ Royal Society ของอังกฤษ

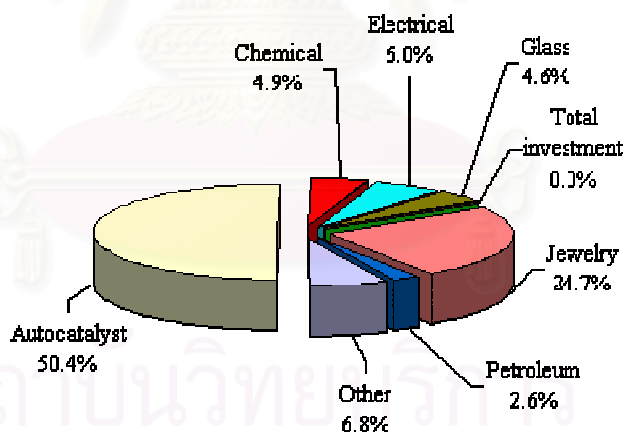
ปี ค.ศ. 1775 de l'Isle สามารถละลายแพลทินัมที่ได้สกัดเอาเหล็กและทราเยออกไปแล้ว โดยใช้ aqua regia ทำให้ตกตะกอนเป็นแอมโมเนียมคลอโรแพลทีเนต (ammonium chloroplatinate) แล้วนำตะกอนที่ได้นี้ไปหลอมได้โลหะแพลทินัม

ปี ค.ศ.1803 W.H. Wollaston ชาวอังกฤษก็สามารถเตรียมแพลทินัมบริสุทธิ์ได้ โดยการศึกษารละลายกรดกัดทอง (Aqua regia) ของแพลทินัมที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งผลจากการศึกษานี้ เขาค้นพบธาตุใหม่อีกสองธาตุคือ แพลเลเดียม (Pd) และโรเดียม (Rh) ด้วย

กลางศตวรรษที่ 18 มีการอ้างอิงถึง "Platina" ว่าเป็นสารปนเปื้อนหรือสารที่ไม่ต้องการของทองคำ ตามเหมืองในประเทศโคลัมเบียในปัจจุบัน

Platinum มาจากภาษาสเปน platina แปลว่า silver (เงิน) เป็นโลหะมีค่าที่มนุษย์รู้จักและได้มีการนำมาใช้ประโยชน์กันมาเป็นเวลา กว่าหลายร้อยปีแล้ว ในธรรมชาติพบอยู่กับ ทอง (Au), นิกเกิล (Ni), ทองแดง (Cu), เงิน (Ag), เหล็ก (Fe) และตะกั่ว (Pb) หรืออาจเกิดขึ้นเองในรูปของแร่ Cooperite (PtS) และ Sperrylite (PtAs₂)

สัญลักษณ์ของแพลทินัม คือ Pt เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน สีเงินเทา จัดเป็นโลหะที่มีเสถียรภาพสูง มีความมันวาว สามารถขึ้นรูปได้ง่ายมีน้ำหนักสามารถยืดและตีเป็นแผ่นได้ แพลทินัมทนต่อการกัดกร่อนมากจึงมีการนำแพลทินัมมาใช้ ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมยานยนต์ และอื่นๆ ดังได้แสดงในแผนภูมิที่ 2.1



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงปริมาณการใช้งานของโลหะแพลทินัมทั่วโลก ปี 2006

(<http://www.unctad.org>)

คุณสมบัติด้านต่างๆของโลหะแพลทินัม (ASM Handbook, 2000)

เลขอะตอม (Atomic number)	: 78
น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)	: 195.09
จุดหลอมเหลว (Melting point)	: 1769 °C
จุดเดือด (Boiling point)	: 3800 °C
ความหนาแน่น (Density) at 20 °C	: 21.45 Kg/m ²
ความแข็ง (Hardness)	
● ขึ้นรูป (As-worked)	: 90-95
● อบอ่อน (Annealed)	: 37-42
● หลังจากหล่อ (As-cast)	: 43
ความเป็นแม่เหล็ก (Magnetic)	: เมื่อผสมโคบอลต์ (Co) จะมีคุณสมบัติเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) 254 °C (19 °K)
สภาพความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistivity)	: 9.85 μ
โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)	: FCC (Face Center Cubic)



การใช้งานของแพลทินัมในวงการอุตสาหกรรมทั่วไปนั้น ส่วนมากมักมีการเติมธาตุอื่นๆ ทำให้โลหะแพลทินัมอยู่ในรูปของแพลทินัมอัลลอยด์ (Platinum Alloy) เพื่อให้มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมนั้นๆต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

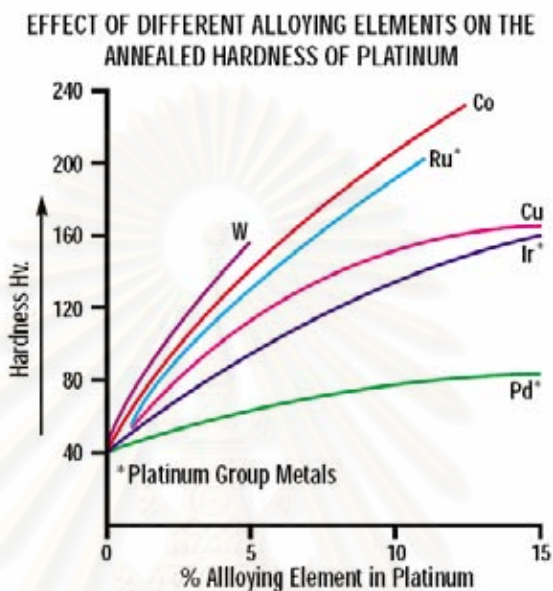
Composition: % of Alloying Elements	Pt/PGMs Fineness	Melt Range		Hardness	Ductility %Elongn	Density g/cm ³	Applications/Notes	Countries of Main Interest
		Solid	Liquid					
	999	1773	1773	50	40	21.4	Stamped "Pt1000"	JAP
	990	1773	1773	50	40	21.4	990 fine,	HK;EUR
5%Copper	950	1725	1745	120	29	20.0	Gen purpose, medium hard can be cast	GER; HK; EUR
5%Cobalt	950	1750	1765	135	20	20.8	Fluid for hard castings	GER; HK; EUR
3%Cobalt/ 7%Palladium	900	1730	1740	125	-	20.4	Hard casting	JAP
5%Cobalt/ 10%Palladium	850	1710	1730	150	-	19.9	Harder casting	JAP
1.5%Indium/ 3%Gallium	950	1550	1650	225	26	19.3	Hard, Springy, can be cast	HK; EUR
5%Iridium	950	1780	1790	80	30	21.4	High work-hardenability for safety	GER; JAP
10%Iridium	900	1780	1800	110	25	21.5	catches, pins, springs	GER;JAP
15%Iridium	850	1800	1820	160	15	21.5	watch backs	USA;JAP
20%Iridium	800	1815	1830	200	10	21.6	fine wire work, chain	GER
5%Palladium	950	1755	1765	60	22	20.6	Casting, delicate settings	HK;JAP;EUR
10%Palladium	900	1740	1755	80	22	19.8	General purpose in Japan	HK;JAP
15%Palladium	850	1730	1750	90	22	19.1	Chain making	HK;JAP
36.5%Palladium/5%Cu	585Pt	1580	1650	160	-	15.4	Typical 14ct Platinum	USA
5%Ruthenium	950	1780	1795	130	32	20.7	Gen purpose, good machining properties	HK;EUR;USA
5%Tungsten	950	1830	1845	135	20	21.3	Hardenable for springiness	EUR;GER

หมายเหตุ : GER คือ ประเทศเยอรมนี , JAP คือ ประเทศญี่ปุ่น , EUR คือ ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป , USA คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา , HK คือ ประเทศฮ่องกง

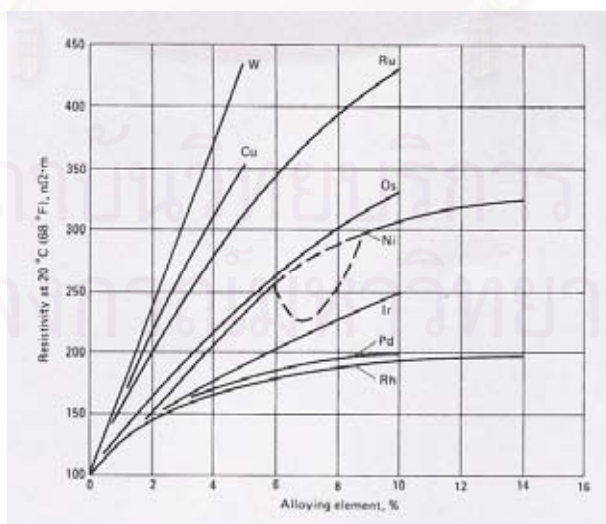
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของแพลทินัมอัลลอยด์

(<http://www.noble.matthey.com>)

การใช้งานโลหะแพลทินัม ในปัจจุบันสามารถทำได้โดยการเติมธาตุต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็ง (Hardness) ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และสามารถเติมธาตุต่างๆ เพื่อเพิ่มสภาพความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



แผนภูมิที่ 2.2 แสดงปริมาณอัลลอยด์ชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็ง
(<http://www.noble.matthey.com>)



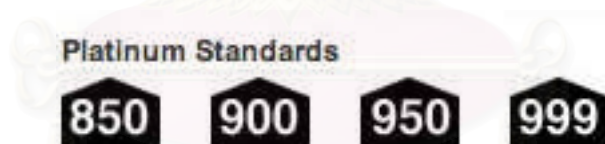
แผนภูมิที่ 2.3 แสดงปริมาณอัลลอยด์ชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มสภาพความต้านทานไฟฟ้า
(ASM Handbook, 2000)

2.2 กระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับไทยมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มสูง รวมทั้งมีการจ้างงานจำนวนมากในอุตสาหกรรมนี้กว่า 1 ล้านคน

อุตสาหกรรมนี้เป็นอุตสาหกรรมในระดับปลายน้ำที่นำเอาเพชรพลอยหรืออัญมณีสังเคราะห์มาประกอบกับตัวเรือนที่ทำจากโลหะมีค่าเช่น แพลทินัม ทองคำ และ เงิน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าทั้งสิ้น แม้ว่าวัตถุดิบโลหะมีค่าเหล่านั้นจะพบอยู่ในหลายจังหวัดของประเทศไทย แต่มีปริมาณไม่คุ้มกับการลงทุนทางด้านการทำเหมือง สำหรับโลหะแพลทินัม มีการนำเข้าจาก ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา เยอรมนี เป็นส่วนใหญ่ การนำเข้าทองคำจากต่างประเทศจึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยไทยมีการนำเข้าทองคำจากออสเตรเลีย สวิตเซอร์แลนด์ และเยอรมนี ในขณะเดียวกัน การนำเข้าทองคำจากแอฟริกาใต้ก็มีปริมาณสูงขึ้นมาก ส่วนโลหะเงินนั้นมีการนำเข้าจากเกาหลีใต้ ออสเตรเลีย ฮังการี อินเดีย และสหราชอาณาจักร

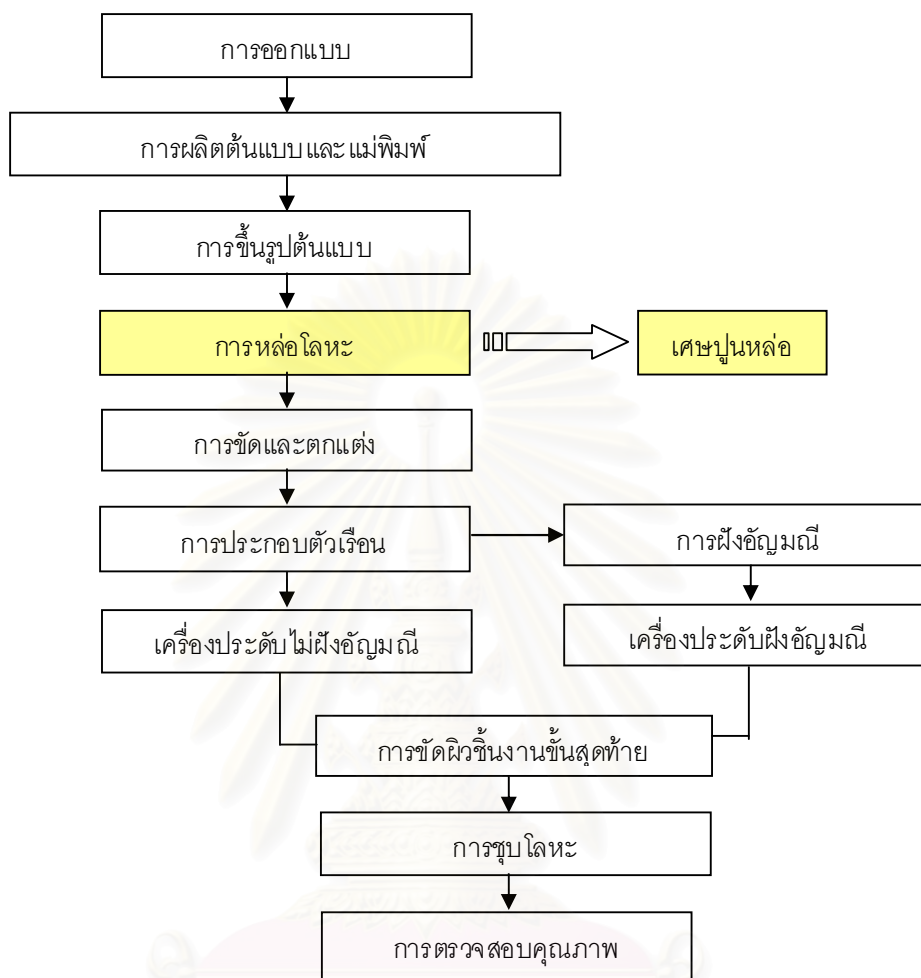
สำหรับแพลทินัมที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ นั้นจะมีองค์ประกอบของโลหะแตกต่างกันไปตามลักษณะการนำไปใช้ ตัวอย่างเช่น การหล่อตัวเรือนเครื่องประดับนั้น โดยทั่วไปจะมีมาตรฐานคือ Platinum 950 หมายถึง แพลทินัมร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก และ Alloy ของโลหะอื่นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยจะมีการพิมพ์สัญลักษณ์แสดงความบริสุทธิ์ของโลหะแพลทินัม ลงบนตัวเรือนเครื่องประดับ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ความบริสุทธิ์ของโลหะแพลทินัม

(<http://www.khulsey.com>)

สำหรับขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ สามารถแสดงสรุปในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ

ในกระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับนั้น ขั้นตอนการหล่อโลหะนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งในขั้นตอนการหล่อโลหะจะมีองค์ประกอบสำคัญ คือ ปูนหล่อ โดยมีรายละเอียดที่กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.2.1 ปูนหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ

การหล่องานเครื่องประดับนิยม ใช้วิธีการหล่อแบบอินเวสเมนต์ (Investment casting) หรือเรียกอีกชื่อว่าการหล่อแบบประณีต งานหล่อประเภทนี้ จะได้ผิวชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานหล่อประเภทอื่น การศึกษาสมบัติของปูนจึงมีความสำคัญกับการหล่อโลหะอย่างยิ่ง กล่าวคือ ปูนควรจะทนทานต่ออุณหภูมิของโลหะใน

ระหว่างการหล่อ เนื้อปูนที่ละเอียดจะทำให้ได้ผิวงานจากการหล่อที่ดี การควบคุมการเติบโตของผลึกในปูน เพื่อให้ได้ผิวเนื้อปูนที่ดีเหมาะสมสำหรับเป็นแม่พิมพ์ปูนที่สวยงาม การควบคุมอุณหภูมิของปูนในระหว่างการหล่อเพื่อให้ น้ำโลหะไหลเข้าแบบอย่างเหมาะสม และการเลือกชนิดของปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะระหว่างการหล่อ เป็นต้น

ปูนหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ (ขจีพร วงศ์ปรีดี, 2549) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ แยกตามประเภทวัสดุของปูน ดังนี้คือ

2.2.1.1 ปูนยิปซัมบอนด์ (Gypsum bonded investment)

ปูนยิปซัมบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะ เงิน ทอง หรือทองเหลือง โดยส่วนใหญ่งานหล่อเครื่องประดับจะนิยมใช้ปูนประเภทนี้ เนื่องจากมีราคาและคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบของปูนยิปซัมบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- 1) วัสดุทนไฟ ซึ่งประกอบไปด้วยซิลิกา คริสโตบาลไลต์ (cristoballite) เป็นหลัก และธาตุอื่น ๆ ที่เติม เช่น แคลไซน์มัลไรต์ (calcined mullite) และ ไพโรไฟไรต์ (pyrophyllite) เป็นต้น
- 2) กลุ่มวัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิปซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrates) และส่วนผสมอื่นๆเพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิต

2.2.1.2 ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded investment)

ปูนฟอสเฟตบอนด์เหมาะสำหรับหล่องานโลหะที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น แพลทินัม, สแตนเลสสตีล ทนทานต่อการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบของปูนฟอสเฟตบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- 1) วัสดุทนไฟ ได้แก่ ซิลิกา (Silica)
- 2) กลุ่มวัสดุที่เป็นสารยึด (Binder) ได้แก่ เกลือฟอสเฟต หรือออกไซด์ของกรดฟอสฟอริก โดยทั่วไปใช้ แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide), โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Monoammoniumphosphate), และส่วนผสมอื่นๆเพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิต

2.2.1.3 ปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม (Alumina-magnesia)

โลหะไททาเนียมไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม ซึ่งเป็นปูนที่ค่อนข้างเสถียรจากพันธะของอะลูมินาและแมกนีเซียม มาใช้หล่อไททาเนียม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปหล่อโลหะประเภทอื่นๆ ได้ เช่น นิกเกิล โคบอลต์ โครเมียม เป็นต้น ถึงแม้ว่าปูนฟอสเฟตบอนด์จะทนต่ออุณหภูมิสูง เช่น งานหล่อไททาเนียม แต่ระหว่างการหล่อด้วยพิมพ์ปูนฟอสเฟตบอนด์อาจมีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้ปูนฟอสเฟตบอนด์ไม่เหมาะสมสำหรับงานหล่อไททาเนียม

ส่วนผสมของปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม ประกอบไปด้วยวัสดุทนไฟจากปูนของอะลูมินาผสมกับแมกนีเซียม ซึ่งมีสารที่เป็นตัวยึดหลากหลายชนิด สารหลักที่ผสมกันได้แก่ แมกนีเซียมอะซิเตต (Magnesium acetate), ปูนเซอร์โคเนีย (Zirconia cement), ปูนแมกนีเซียม (Magnesia cement), ซิลิกาเจลหรืออนุซิลิกา (Colloidal silica) และเอทิลซิลิเกต (Ethyl silicate)

สำหรับงานหล่อโลหะแพลทินัม นั้น จะมีความแตกต่างจากงานหล่อโลหะชนิดอื่น เช่น ทองคำ เงิน และทองเหลือง ดังนั้นองค์ประกอบที่สำคัญของการหล่อคือ ปูนที่ใช้ในการหล่อ การหล่อแพลทินัมนิยมใช้ ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded investment) เนื่องจากเหมาะสำหรับงานหล่อโลหะที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น แพลทินัม สแตนเลสสตีล และทนทานต่อการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส โดยจะแข็งตัวไม่เหมือนกับปูนทั่วไป คือ ปูนฟอสเฟตบอนด์จะมีการแข็งตัวอย่างช้าๆ และเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีพันธะที่แข็งแรงมาก ยากต่อการทำลาย

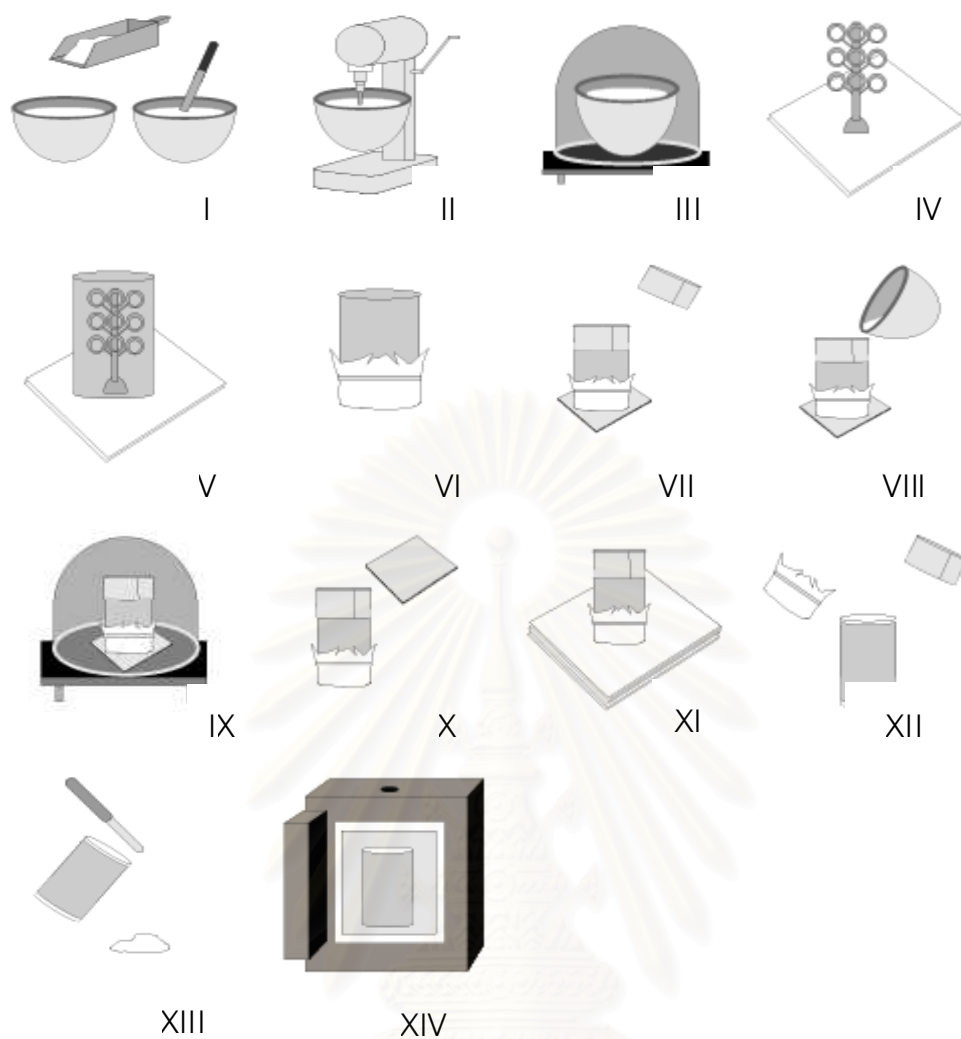
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแพลทินัม

1. เตรียมสารละลายโดยผสมน้ำยาลงในน้ำด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 19 (อัตราส่วนอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสูตรของน้ำยาแต่ละชนิด)
2. เตรียมปูน ด้วยอัตราส่วนปูน 100 กรัม ต่อสารละลาย 30 มิลลิลิตร
3. ผสมปูนในสารละลายก่อน 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วค่อยๆ เทปูนเพิ่มทีละน้อยภายในเวลา 5 นาที จากนั้นตีปูนต่ออีก 15 นาที การตีปูนเริ่มตีปูนด้วยเครื่องผสมปูนที่ความเร็วต่ำ พร้อมกับค่อยๆ ผสมปูนส่วนที่เหลือ ประมาณ 1-2 นาที จนส่วนผสมเข้ากันดี แล้วตีปูนต่อด้วยความเร็วสูงขึ้น 12-20 นาที การตีปูนเป็นเวลานานจะทำให้ได้ส่วนผสมที่ดี
4. ดูดสุญญากาศในปูนจนปูนมีลักษณะคล้ายน้ำเดือด (de-bubblizing) แล้วดูต่ออีก 1 นาที
5. วางต้นเทียนบนกระดาษ 2 ชั้นที่ดูดซับน้ำได้ดี
6. หุ้มกระดาษรอบกระบอกระบายโดยใช้หนังยางรัด ใช้แผ่นกระดาษรองใต้กระบอกระบาย เคลื่อนย้าย และเวลาเทปูนให้เสริมปลายกระบอกระบายด้วยกระดาษเทปให้สูงขึ้นอีก 2-3 เซนติเมตร
7. ค่อยๆ เทปูนลงกระบอกระบาย โดยเทลงบริเวณต้นและเทให้สูงกว่ากระบอกระบาย 2-4 มิลลิเมตร ดูดสุญญากาศพร้อมสั่นกระบอกระบาย 90 วินาที
8. วางกระบอกระบายบนกระดาษที่ดูดซับน้ำได้ดี โดยให้กระดาษซับน้ำมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร
9. ทิ้งให้ปูนแข็งตัว ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย แต่อาจจะทิ้งไว้นานถึง 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขนาดของกระบอกระบาย
10. เมื่อปูนแห้ง แกะกระดาษซับน้ำและกระดาษเทปออก ขูดปูนส่วนที่เกินจาก

กระบอกระบายออก นำปูนเข้าเตาอบ

ขั้นตอนการผสมปูนหล่อโลหะแพลทินัมสามารถแสดงได้ในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการผสมปูนหล่อโลหะแพลทินัม
(ขจีพร วงศ์ปรีดี, 2549)

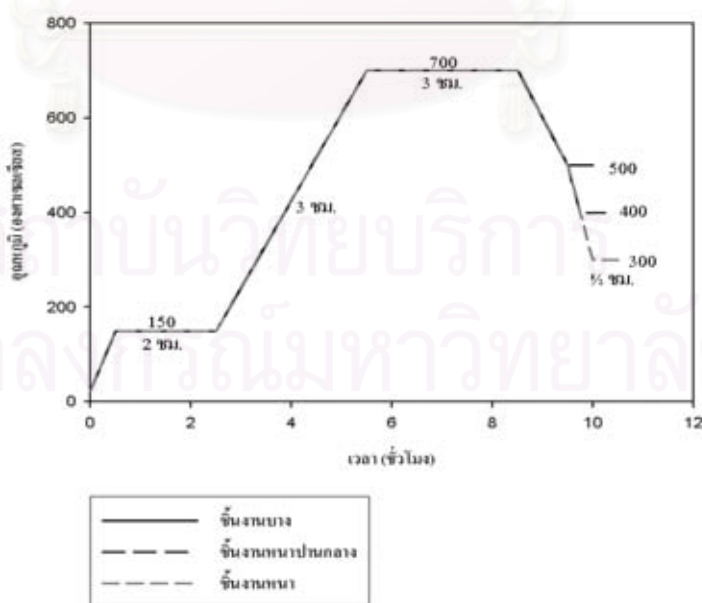
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ



ภาพที่ 2.5 แสดงเตาอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

เมื่อปูนแข็งตัวดีแล้วจึงแกะฐานยางออก จากนั้นนำเข้าสู่ขั้นตอนการอบแม่พิมพ์ (ภาพที่ 2.5) เพื่อเผาไล่ซี้ผึ้งและกำจัดน้ำ ให้เกิดโพรงแบบภายในแม่พิมพ์ปูนหล่อ และปูนหล่อแบบแห้งสนิทยิ่งขึ้น ขั้นตอนนี้ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 100-200 องศาเซลเซียส เพื่อหลอมซี้ผึ้งและปล่อยให้ซี้ผึ้งละลายไหลออกมาจากแบบปูน แต่ระดับความร้อนเท่านี้อาจจะยังไม่สามารถกำจัดซี้ผึ้งออกจากโพรงแบบได้ทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้สามารถเผาไหม้ซี้ผึ้งที่เหลือติดอยู่ในโพรงแบบได้ทั้งหมด ควรใช้อุณหภูมิประมาณ 700-750 องศาเซลเซียส โดยเวลาที่เหมาะสมในการอบปูน คือ 6-8 ชั่วโมง ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.6



แผนภูมิที่ 2.4 โปรแกรมสำหรับงานหล่อปูนฟอสเฟตบอนด์

(ขจีพร วงศ์ปรีดี, 2549)

2.2.3 การหลอมโลหะแพลทินัม

สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

การหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำ

เป็นวิธีการหลอมโลหะที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งจากผู้ผลิตเครื่องประดับคุณภาพสูงในปัจจุบันโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะแพลทินัม การหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยนำโลหะใส่ลงในเบ้าหลอมที่มีขดลวดตัวนำไฟฟ้าล้อมรอบไว้ กระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำทำให้เกิดความร้อนสูงจนสามารถละลายหรือหลอมโลหะได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้เพื่อป้องกันการออกซิเดชันของน้ำโลหะ อาจนำระบบก๊าซเฉื่อยมาใช้ในการหลอมโลหะ ลักษณะนี้เพื่อควบคุมผิวหน้าของโลหะระหว่างการหลอมละลาย โดยในขั้นตอนนี้สามารถผสมอัลลอยด์ เพื่อให้ได้สัดส่วนของโลหะตามต้องการ

2.2.4 การหล่อโลหะแพลทินัมที่ใช้ในการทำเครื่องประดับ

มี 2 วิธี คือ

2.2.4.1 การหล่อโดยใช้สุญญากาศ (Vacuum Casting Process)

เป็นการพัฒนามาจากวิธีการหล่อโลหะแบบดั้งเดิมที่อาศัยแรงดึงดูดของโลก แต่เนื่องจากวิธีการหล่อแบบดั้งเดิมนั้นไม่ให้เกิดผลผลิตที่ดีนักในแบบเครื่องประดับที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดมาก ดังนั้นเพื่อให้การหล่อโลหะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จึงได้มีการคิดค้นหาวิธีที่จะเพิ่มศักยภาพในการหล่อโลหะ และวิธีที่ได้ผลดี คือ การหล่อโลหะโดยใช้สุญญากาศ ซึ่งคล้ายกับการหล่อโลหะแบบดั้งเดิม ต่างกันเพียงแต่ในการหล่อแบบใหม่นี้ จะมีการดูดเอาอากาศออกจากโพรงแบบปูนหล่อให้หมดก่อนที่จะเทน้ำโลหะลงไปแบบ

2.2.4.2 การหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Casting Process)

การหล่อแบบนี้อาศัยหลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเหมาะสมและเป็นวิธีที่นิยมที่สุดในการหล่อโลหะแพลทินัม โดยน้ำโลหะสามารถเข้าสู่โพรงได้อย่างทั่วถึง ในระยะเวลาที่รวดเร็ว กรรมวิธีการหล่อแบบนี้ใช้เวลาเพียง 1-1.5 นาทีเท่านั้น โดยเครื่องหล่อสำหรับการหล่อเหวี่ยงมีลักษณะเป็นคานที่ฝั่งหนึ่งติดตั้งแม่พิมพ์และเบ้าสำหรับใส่โลหะหลอม อีกฝั่งหนึ่งติดตั้งเหล็กถ่วงน้ำหนัก กรรมวิธีเริ่มต้น โดยการหมุนคานโดยอาศัยแรงหมุนจากกลไก ได้แก่ สปริงที่อยู่ใต้แกนของคานนั้น แรงเหวี่ยงจะทำให้น้ำโลหะไหลเข้าไปยังแม่พิมพ์ในรอบแรกของการหมุนและจะคงตัวอยู่เช่นนั้นจนกระทั่งหยุดหมุน

หลังจากหล่อตัวเรือนเสร็จจึงขึ้นลงและนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องหล่อแล้ว ทั้งไว้จนกว่าโลหะจะแข็งและเย็นตัวลง จากนั้นใช้น้ำฉีดเพื่อให้ปูนหล่อแบบแตกออกและทำความสะอาดปูนหล่อที่ติดชิ้นงานอยู่ออกให้หมด เมื่อทำความสะอาดแล้วจึงนำชิ้นงานไปแช่สารละลายประเภทกรดเพื่อทำความสะอาดผิวชิ้นงาน โดยในขั้นตอนนี้ผู้ประกอบการ จะได้เศษปูนหล่อเป็นจำนวนมาก โดยมักจะกักเก็บไว้ในบ่อเพื่อรอจำหน่ายในราคาถูกต่อไป

2.3 กระบวนการเก็บกลับคืนโลหะพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับโดยวิธีทางกายภาพ (Physical Process)

หลักการสำคัญในการเก็บกลับคืนโลหะพลทินัม คือ ต้องก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด จึงควรใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายแยกโดยวิธีทางกายภาพ (Physical Process) ให้ได้มากที่สุด แล้วจึงนำไปเข้าสู่กระบวนการทางเคมีต่อไป ซึ่งพอจะจำแนกได้ดังนี้

2.3.1. การคัดขนาดด้วยตะแกรง (Sieving)

การคัดขนาดเป็นส่วนสำคัญในการแยกวัสดุ เนื่องจากแต่ละชิ้นส่วนมีขนาดเฉพาะตัว และจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกอย่างมาก

การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเส้นลวดนำมาสานกันทำให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยมและมักบอกขนาดเป็นเมช (Mesh) ตะแกรงขนาด 10 เมช หมายถึงระยะความยาว 1 นิ้วจะมีช่องรูตะแกรงจำนวน 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกจากเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด ดังนั้นคำว่าเมช จึงยังไม่ได้บอกขนาดที่แท้จริงของอนุภาคที่ผ่านลอดรูตะแกรง จนกว่าจะทราบขนาดเส้นลวดที่โรงงานต่าง ๆ นำมาใช้สานทำตะแกรง วิธีง่าย ๆ อีกวิธีหนึ่งที่จะทราบขนาดของช่องตะแกรงเป็นเมช คือ เมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดและช่องว่าง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้ว นำตัวเลขทั้งสองมารวมกันหารด้วย 10 ส่วนกลับของค่านั้นจะเป็นเมช เช่น ตะแกรงมีช่องว่าง 0.0015 นิ้ว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดเท่ากับ 0.0025 นิ้ว ส่วนกลับ $(0.0025)^{-1}$ จะมีค่าเท่ากับ 400 คือขนาดของตะแกรงนั้นเป็น 400 เมช

2.3.2 การแยกด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ โดยใช้โต๊ะสั่นสำหรับ แยกแร่ (Shaking Table)

หลักการทำงาน คือ พื้นโต๊ะตั้งอยู่บนโครงเหล็ก ที่จัดให้พื้นโต๊ะเอียง มีความสูงทางด้านรางน้ำลง มอเตอร์ไฟฟ้าจะขับเคลื่อนกลไกทำให้โต๊ะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและกระตุกกลับด้านหลังโดยเร็ว เม็ดแร่หนักจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ไกลกว่าเม็ดแร่เบา หรือกรวดทรายที่เบากว่าแต่มีขนาดเท่ากัน การเอียงของโต๊ะและการพัดพาของน้ำไหล แร่เบาและทรายจะถูกพัดพาออกมาทางด้านหางแร่ ส่วนแร่หนักหรือหัวแร่จะออกตอนปลายอีกด้านหนึ่งของโต๊ะ โดยน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (media) โต๊ะสั่นแยกแร่เป็นอุปกรณ์แต่งแร่อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งแยกแร่แยกได้ด้วย ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Gravity) ขนาดของเม็ดแร่ที่จะแยกได้ดี คือ ขนาดประมาณ 20 เมช ลงไปถึง 400 เมช หรือละเอียดกว่านั้น โต๊ะแยกแร่แบ่งออกตามขนาดเม็ดแร่ที่จะใช้แยกได้ 2 ชนิด คือ โต๊ะแยกแร่ขนาดเม็ดทราย (Sand Table) และโต๊ะแยกแร่ขนาดตะกอน (Slime Table) ซึ่งแยกแร่ตั้งแต่ขนาด 200-300 เมช ลงไป

การแต่งแร่เม็ดละเอียดด้วยโต๊ะแยกแร่ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติการไหลของน้ำบนพื้นเอียงและความหนืด (Viscosity) ของของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางหรือน้ำ ของเหลวที่มีความหนืดสูงย่อมทำให้การไหลบนพื้นเอียงลดลง ลักษณะรูปร่างของเม็ดแร่หรือวัตถุที่ใช้แยกย่อมมีผลต่อการแยกแร่ด้วย เช่น เม็ดแร่รูปกลมย่อมไหลไปได้ไกลกว่าแบนหรือสี่เหลี่ยม

2.3.3 การแยกด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก (Magnetic Separation)

เครื่องแยกแม่เหล็กแบบความเข้มสูง ใช้คุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กเฉพาะตัวของแร่ธาตุ โดยชิ้นส่วนจะถูกป้อนเข้าเครื่องอย่างต่อเนื่อง ความหนาแน่นแม่เหล็กสูงสุดบริเวณลูกลังวัดได้ประมาณ 10,000 G ค่าความเร็วสายพานและตำแหน่งที่เกิดการแยกจะถูกปรับเปลี่ยนในการทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม

2.4 การละลายโลหะแพลทินัม

การละลายโลหะแพลทินัม ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ

2.4.1 การแยกสกัดด้วยเกลือไซยาไนด์ (Cyanide Leaching)

จะใช้สารละลายไซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) เป็นตัวทำละลาย เพื่อละลายเอาโลหะมีค่าแพลทินัมออกมา โดยต้องทำที่อุณหภูมิประมาณ 160°C โดยมีสัดส่วนการละลายของตัวทำละลายต่อของแข็ง คือ 5:1 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง และไม่ต้องมีการพดกวน สามารถละลายโลหะมีค่าแพลทินัมได้ประมาณ 85% (D.P. Desmond, 1995)

2.4.2 การแยกสกัดด้วยกรดกัดทอง (Aqua Regia Leaching)

จะใช้กรดกัดทองเป็นตัวทำละลาย เพื่อละลายเอาโลหะมีค่าแพลทินัมออกมา โดยกรดกัดทองเป็นสารละลายที่ได้จาก การผสมกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก ในอัตราส่วน 1:3 และสามารถทำการละลายได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส (C.W. Ammen, 1997) ได้สารละลายสีเหลืองส้ม ของกรดคลอโรแพลทินิก $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ ซึ่งสามารถแสดงดังสมการ



หมายเหตุ : กรดคลอโรแพลทินิก และเกลือของกรดคลอโรแพลทินิก เป็นสารประกอบที่สำคัญที่สุดของแพลทินัม สามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลากหลายวิธี (สุรวงศ์ อนุกุล, 2538) ดังนี้

1. ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้ตะกอนสีดำหรือน้ำตาลของไดซัลไฟด์, PtS_2 (อาจมีแพลทินัมอิสระปะปนเล็กน้อย) เกิดขึ้นอย่างช้าๆจากสารละลายที่เย็น แต่ถ้าอุ่นให้ร้อนจะเกิดตะกอนเร็ว



หมายเหตุ : ตะกอนนี้ไม่ละลายในกรดเข้มข้นใดๆ แต่ละลายใน Aqua Regia หรือละลายในสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์สีเหลือง แล้วได้สารละลายของเกลือไทโอ ซึ่งทำให้กลับตกตะกอนออกมาได้อีกโดยการเติมกรดเจือจาง

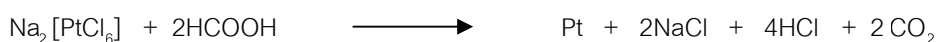
2. ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมคลอไรด์ ได้ตะกอนสีเหลืองของโพแทสเซียมคลอโรแพลทีเนต $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$ จากสารละลายที่เข้มข้น ซึ่งต่างกับทองคำ

หมายเหตุ : สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

3. ทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลิก ไม่ได้ตะกอนของแพลทินัม (ซึ่งแตกต่างกับทองคำ)

หมายเหตุ : ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ก็ไม่ทำให้โลหะแพลทินัมตกตะกอนเช่นกัน

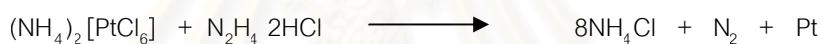
4. ทำปฏิกิริยากับกรดฟอร์มิก (HCOOH) ได้ผงสีดำของโลหะแพลทินัม จากสารละลายที่เป็นกลางและร้อนเดือด ดังสมการ



5. สังกะสี แคดเมียม แมกนีเซียม หรืออะลูมิเนียม โลหะเหล่านี้จะทำให้แพลทินัมตกตะกอนเป็นผงละเอียด



6. เกลือแอมโมเนียมของกรดแพลทินิกเมื่อทำปฏิกิริยากับไฮดราซีนไฮโดรคลอไรด์ จะเกิดรีดักชันอย่างรวดเร็วในสารละลายซึ่งเป็นเบส ได้โลหะแพลทินัม บางส่วนอาจจับข้างหลอดเป็นคราบเงามัน



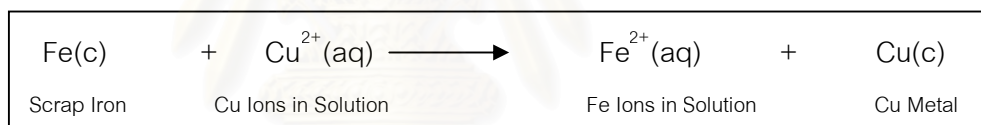
7. ปฏิกิริยากับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ได้ตะกอนสีเหลืองของซิลเวอร์คลอโรแพลทินेट ($\text{Ag}_2[\text{PtCl}_6]$) ซึ่งละลายได้น้อยในสารละลายแอมโมเนีย แต่ละลายได้ในสารละลายของแอลคาไลไฮยาไนต์ และแอลคาไลไฮโอซัลเฟต
8. ปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ได้สีน้ำตาลหรือสีแดงของไอออน $[\text{PtI}_6]^{2-}$ เมื่อมีรีเอเจนต์มากพอจะได้ตะกอนสีน้ำตาลของ $\text{K}_2[\text{PtI}_6]$ ซึ่งไม่เสถียรถ้าอุ่นให้ร้อนจะได้ตะกอนสีดำของ PtI_4
9. ปฏิกิริยากับสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ ได้สีแดงหรือเหลือง เนื่องจากเกิดคอลลอยด์ของแพลทินัม ซึ่งละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์หรืออีเทอร์
10. ปฏิกิริยากับกรดรูบีนิก หรือไดโทไอออกซามิด รีเอเจนต์สารละลายของกรดรูบีนิก 0.02% ในกรดเกลือแอซิดิก ได้ตะกอนสีม่วงแดงของคอมเพล็กซ์ แพลเลเดียมและปริมาณมากๆของทองจะรบกวนการทดสอบ

2.5 การเก็บกลับคืนโลหะมีค่าพลทินัม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้วิธีต่างๆ ที่สามารถเก็บกลับคืนโลหะมีค่าพลทินัมที่ละลายอยู่ในสารละลาย โดยได้ประยุกต์ใช้การคัดแยกทางเคมีหลายวิธี เช่น การแทนที่โลหะ (Cementation), การแยกสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction), การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และ การตกตะกอนร่วม (Co-Precipitation)

2.5.1 การแทนที่โลหะ (Cementation)

มีหลักการ คือ ไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลาย สามารถตกตะกอนให้อยู่ในรูปของโลหะได้ โดยการเติมโลหะที่มีค่า Reduction Potential น้อยกว่า ลงไปในสารละลายนั้น และท้ายที่สุดของปฏิกิริยาจะได้โลหะที่ต้องการ และโลหะที่เติมลงไปอยู่ในรูปไอออนของสารละลาย เช่น การเก็บกลับคืนโลหะทองแดงในอุตสาหกรรมรีไซเคิล ทองแดงจะอยู่ในรูปของไอออนในสารละลาย ดังนั้นจึงเติมเศษเหล็กลงไปในสารละลาย จากนั้นเหล็กซึ่งมีค่าศักย์รีดักชัน น้อยกว่าจะทำให้ทองแดงที่อยู่ในรูปของไอออนตกตะกอนมาเป็นโลหะทองแดง ส่วนเหล็กที่เป็นโลหะจะกลายเป็นไอออนในสารละลาย ดังสมการ

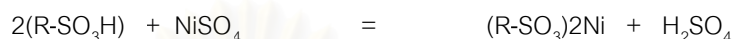


2.5.2 การแยกสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

เป็นกระบวนการคัดแยกทางเคมีที่เลือกละลายหรือสกัดสารอย่างหนึ่งออกจากสารละลายทั้งหมด โดยอาจเติมตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) บางชนิดที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวทำละลายเดิม (Immiscible solvent) และละลายสารที่เราต้องการลงไป หรือกระทำภายใต้อุณหภูมิหรือความดันค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การเก็บกลับคืนสังกะสี, เหล็ก และ ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Trisodium Phosphate) จากกากของเสียพวกฟอสเฟต (Phosphate) ในขั้นแรกจะนำกากของเสียไปละลายในกรดไฮโดรคลอริก และเหล็กถูกแยกสกัดเป็นเหล็กคลอไรด์ ในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl Ether) ส่วนสังกะสี จะถูกแยกสกัดโดยกรดไดเอทิลเฮกซิลฟอสฟอริก di-2-ethylhexylphosphoric acid ในน้ำมันก๊าด (Kerosene) และจะเก็บกลับคืนไตรโซเดียมฟอสเฟต (Trisodium Phosphate) โดยการตกผลึก

2.5.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

เป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนในสารละลายกับไอออนในเรซิน ซึ่งเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ วิธีการคัดแยกทางเคมีแบบนี้ เหมาะสมกับสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย นอกจากนี้ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนที่เกิดขึ้น ยังเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ผันกลับได้ (Reversible Chemical Reaction) และเป็นปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometric) เช่น



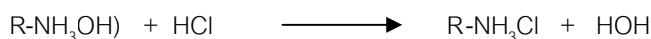
เมื่อ R คือ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ของเรซิน ส่วน SO_3H คือ ไอออนที่ไม่เคลื่อนที่ และเนื่องจาก Ni มีประจุ คือ +2 ดังนั้นจึงต้องใช้เรซินในการแลกเปลี่ยนไอออน 2 ตัว เรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนมีทั้งหมด 4 ประเภท คือ

1. Strong Acid Cation Resins เป็นเรซินที่มีลักษณะทางเคมีเหมือนกรดแก่ (Strong Acid) ตัวอย่างของเรซินประเภทนี้ ได้แก่ $(\text{R-SO}_3\text{H})$ และ $(\text{R-SO}_3\text{Na})$ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเกลือของโลหะให้เป็นกรดได้ ดังสมการ



นอกจากนี้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของ Strong Acid Cation Resins ไม่ขึ้นอยู่กับค่า pH นั่นคือ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ตลอดช่วงค่า pH

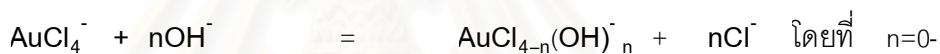
2. Weak Acid Cation Resins เป็นเรซินที่มีลักษณะทางเคมีเหมือนกรดอ่อน (Weak Acid) ตัวอย่างของกลุ่มไอออนในเรซินประเภทนี้ เช่น (COOH) และ (SO_3H) เรซินประเภทนี้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจำกัดที่ pH ต่ำกว่า 6 ดังนั้นจึงไม่เหมาะในการใช้งานกับกรดแก่
3. Strong Base Anion Resins คล้ายกับ Strong Acid Cation Resins ตรงที่ว่าสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ตลอดช่วงค่า pH แต่เรซินประกอบด้วยไฮดรอกไซด์ดังสมการ



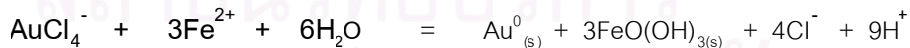
4. Weak Base Anion Resins คล้ายกับ Weak Acid Cation Resins นั้นคือ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนขึ้นอยู่กับค่า pH แต่ช่วง pH ที่ความสามารถจำกัด คือ สูงกว่า 7 ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้งานกับกรดแก่

2.5.4 การตกตะกอนร่วม (Co-Precipitation)

เป็นวิธีการเก็บกลับคืนโลหะที่ได้มีการศึกษาในกรณีของการเก็บกลับคืนโลหะทองคำจากตะกอนทุติยภูมิ มีหลักการดังนี้ ไอออนของทองคำจะตกตะกอนร่วมกับเหล็กไฮดรอกไซด์ และจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นโลหะทองคำทันที โดยไม่ต้องอาศัยตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) ในสารละลายที่ได้จากการทำละลายตะกอนทุติยภูมินั้น ปกติแล้วประกอบด้วยไอออนต่างๆ เช่น ทองคำ เงิน เหล็ก และทองแดง โดยไอออนของทองคำอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของ AuCl_4^- และเมื่อเพิ่มค่า pH โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของทองคำ ดังสมการ



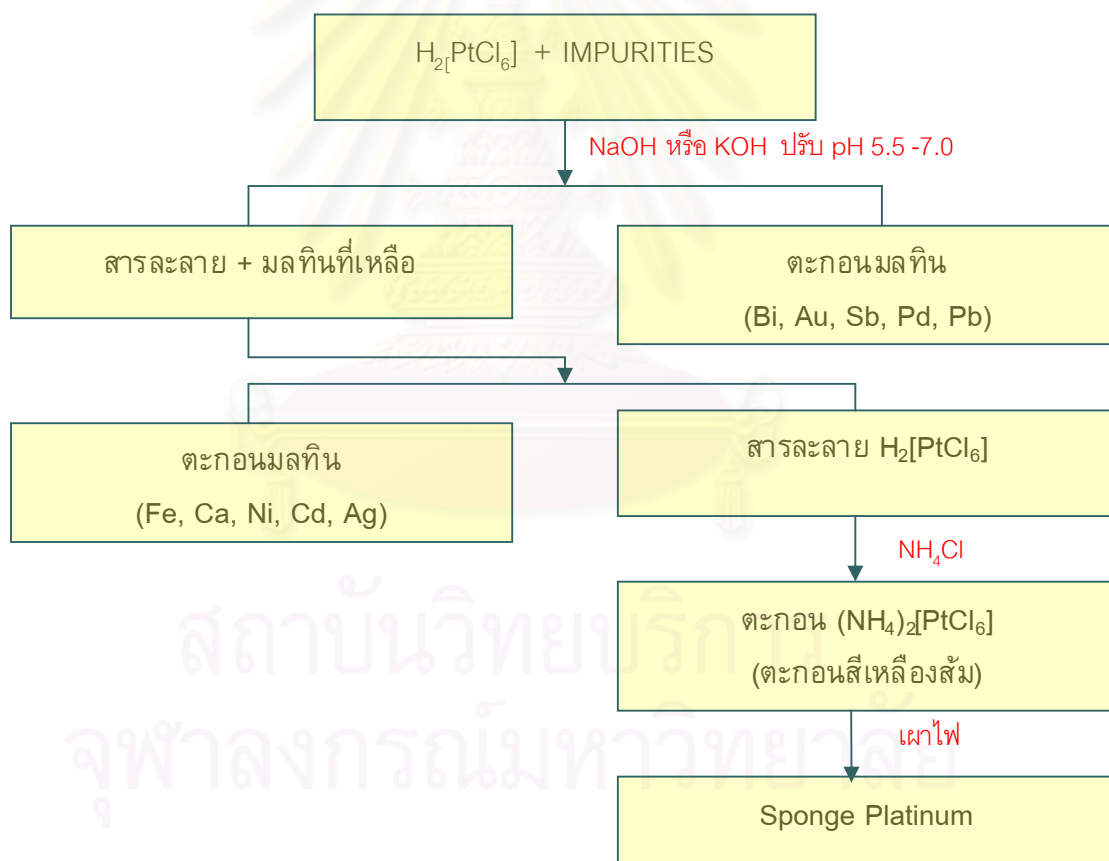
ในกลไกของการตกตะกอนร่วมนั้น ไอออนของเหล็กและทองคำ ต้องสร้างพันธะทางไฟฟ้าสถิตจับกันเป็น Fe-O-Au โดยไอออนของเหล็กต้องมีประจุบวก ออกซิเจนเป็นประจุลบ และทองคำเป็นประจุบวก นอกจากนั้นการจับกันยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $\text{AuCl}_{4-n}(\text{OH})_n^-$ และพบว่าค่า Zeta Potential ไอออนของเหล็กจะเป็นบวกก็ต่อเมื่อ pH น้อยกว่า 8 ดังนั้นปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ pH น้อยกว่า 8 ต่อจากนั้นจะเติมน้ำลงไป น้ำจะไปรีดิวซ์ทำให้เกิดโลหะทองคำ ดังสมการ



จากสมการจะได้โลหะทองคำ ซึ่งต้องไปทำให้บริสุทธิ์ต่อ โดยอาจนำไปละลายในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO_3) ต่อไป. (ร่มฉัตร ไชยรักษา, 2548)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

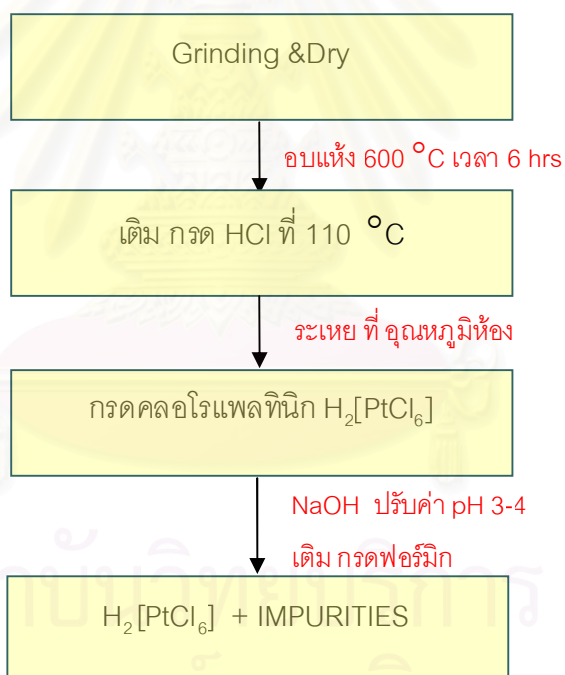
Katsutoshi Narita and Ibaraki Ken (1997) ได้ทำการศึกษาการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม จากสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลทินิก (Chloroplatinic) ปะปนอยู่กับมลทินของโลหะต่างๆ โดยการนำสารละลาย มาปรับค่า pH ที่ 5.5-7.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เพื่อแยกมลทินจำพวก Bi, Au, Sb, Pd และ Pb จากนั้นนำมาปรับค่า pH อีกครั้งหนึ่งที่ 9.5-10.5 ด้วย NaOH หรือ KOH เพื่อแยกมลทินจำพวก Fe, Ca, Ni, Cd และ Ag แล้วกรองสารละลาย นำตะกอนที่ได้มาล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จากนั้นตกตะกอนแยกโลหะแพลทินัมออกจากสารละลาย ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ได้ตะกอนสีเหลืองส้ม ของ แอมโมเนียมเฮกซะคลอโรแพลทินेट ($(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$) กรองเอาตะกอนที่ได้ไปเผาไฟ ได้ Sponge Platinum ดังแสดงในแผนภาพ



Jishi Zhao and others (2005) ได้ศึกษาการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจาก Proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) โดยการนำตัวอย่างมาบดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วอบต่อที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ให้ความร้อนที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิห้อง จะได้ตะกอนของกรดคลอโรแพลทินิก ($\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$) จากนั้นนำตะกอน มาละลายในน้ำบริสุทธิ์แล้วปรับค่า pH ที่ 3-4 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 โมล/ลิตร แล้วค่อยๆ เติมสารละลายกรดฟอร์มิก (HCOOH) เพื่อรีดิวซ์แพลทินัมออกอนให้เป็นโลหะแพลทินัมต่อไป



หลังจากนั้นนำสารละลายมารองระบบสุญญากาศและอบแห้งจะได้ตะกอนสีดำของแพลทินัม ดังแสดงในแผนภาพ



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆต่อการละลายโลหะแพลทินัม และเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในระดับอุตสาหกรรม โดยงานทดลองทั้งหมดกระทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป เอกวิสดูศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) โดยกำหนดลำดับของการทดลองไว้ดังนี้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve size)
2. เครื่องบด (Ball mill)
3. โต๊ะสั่น (Shaking table)
4. เครื่องแยกด้วยแม่เหล็ก Franz magnetic
5. เครื่อง Induced Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)
6. เครื่องวัดเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)
7. เครื่องวัดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปคโตรสโคปี (XRF)
8. เครื่อง Laser-Induce Breakdown Spectrometer (LIBS)
9. เตาอบ (Oven)
10. เครื่องชั่งละเอียด
11. โถอบไล่ความชื้น (Dessicator)
12. บีกเกอร์ (Beaker)
13. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
14. หลอดหยด (Dropper)
15. ลูกยาง (Rubber bulb)
16. กรวยแยก (Funnel)
17. กระดาษกรอง

18. ขวดเก็บตัวอย่าง (Sample bottle)
19. นาฬิกาจับเวลา
20. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
21. กระจกนาฬิกาและชั้นนํ้าสาร
22. ถังมือยาง
23. หน้ากากกันสาร
24. แว่นตากันสาร
25. แขนงัดแก้วคนสาร
26. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH Meter)

3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. กรดไฮโดรคลอริก (36.5% HCl, ผู้ผลิต J.T. Baker)
2. กรดไนตริก (65% HNO₃, ผู้ผลิต Carlo Erba)
3. กรดฟอร์มิก (98% HCOOH, ผู้ผลิต Merc)
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. ผงสังกะสี (Zinc powder)

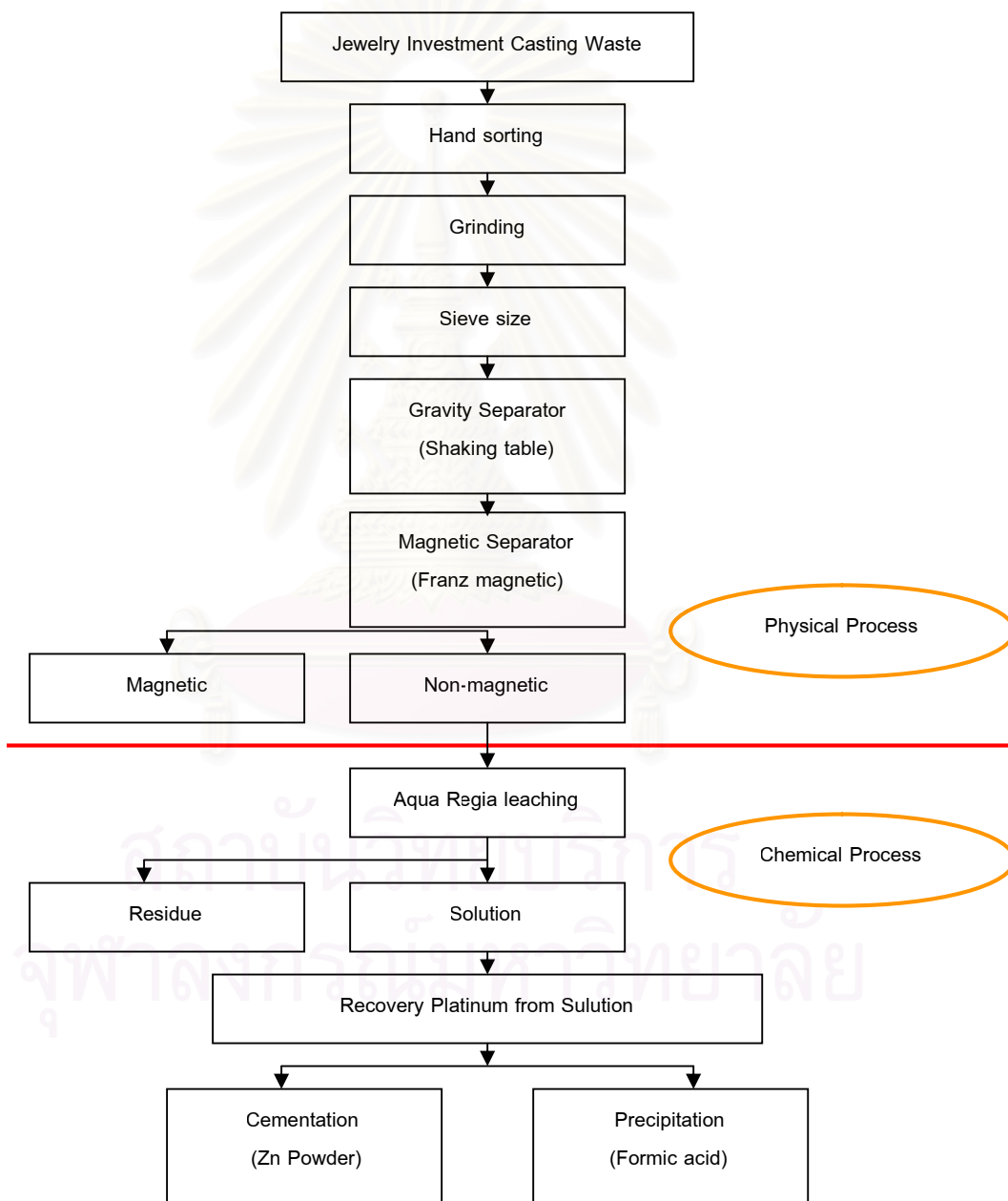
3.4 วัตถุประสงค์

ศึกษาและวิเคราะห์ผลึกของโลหะผสมทินัม จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป เอกวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองประกอบไปด้วยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น โดยการทบทวนข้อมูล องค์ความรู้พื้นฐาน สอบถามข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหล่อ ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ และเก็บตัวอย่างเศษปูนหล่อเครื่องประดับ จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป สาขาวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติของเศษปูนหล่อเครื่องประดับ โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction (XRD), เทคนิค Induced Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS) และเทคนิค X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) จากนั้นนำตัวอย่างเศษปูนหล่อเครื่องประดับมาผ่านกระบวนการทางกายภาพ (Physical Process) ได้แก่วิธีแยกแยะโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ และวิธีแยกแยะโดยอาศัย

ความเป็นแม่เหล็ก สำหรับกระบวนการทางเคมี (Chemical Process) ได้ศึกษาการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมโดยวิธีการละลายทางเคมีด้วยกรดกัดทอง (Aqua Regia) และศึกษาการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากกรดกัดทองด้วยวิธีการแทนที่โลหะ (Cementation) ด้วยผงโลหะสังกะสี (Zn Powder) และวิธีการตกตะกอน (Precipitation) ด้วยกรดฟอร์มิก (Formic acid) พร้อมทั้งศึกษาทบทวนข้อมูลจากรายงานการวิจัย และเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยมุ่งเน้นที่จะเสนอแนวทางการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับ

3.5.1 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหลอมโดยวิธีการทางกายภาพ (Physical Process)

3.5.1.1 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมด้วยเทคนิคการแยกด้วยมือ (Hand Sorting)

- **เครื่องมือและอุปกรณ์**
 1. ตู้อบความร้อน 110 องศาเซลเซียส ชนิดควบคุมด้วยไฟฟ้า
 2. เครื่องบด Ball mill
- **วิธีการทดลอง**
 1. นำน้ำออกจากตัวอย่างเศษปูนหลอมด้วยวิธีการกลั่นน้ำ
 2. นำตัวอย่างเศษปูนหลอมมาอบ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
 3. นำเศษปูนหลอมที่อบแห้งแล้ว เข้าเครื่องบด Ball mill โดยใช้ เวลา 15 นาที ต่อตัวอย่าง 5 กิโลกรัม
 4. แยกโลหะแพลทินัมออกจากเศษปูนหลอมด้วยเทคนิคการแยกด้วยมือ

3.5.1.2 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมโดยการคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve size)

เนื่องจากตัวอย่างเศษปูนหลอมที่ได้หลังจากการเตรียมตัวอย่าง โดยการบดนั้นยังมีขนาดไม่เท่ากันจึงต้องนำมาคัดขนาดก่อนนำไปเศษปูนหลอมไปเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

- **เครื่องมือและอุปกรณ์**
 1. ตะแกรงมาตรฐาน (sieve size) 50 เมช, 70 เมช, 100 เมช และ 120 เมช
- **วิธีการทดลอง**
 1. นำตัวอย่างเศษปูนหลอมมาชั่งน้ำหนักแห้ง พร้อมบันทึกผล
 2. นำตัวอย่างเศษปูนหลอมมาคัดด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช, 70 เมช, 100 เมช และ 120 เมช
 3. นำตัวอย่างเศษปูนหลอม ที่คัดขนาดแล้วไปชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกผล

3.5.1.3 การแยกเศษปูนหลอมโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วง จำเพาะด้วยโต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table)

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table)

- วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างเศษปูนหลอมมาส่งกล้องจุลทรรศน์ เพื่อพิจารณาสมบัติ Liberation Size โดยเลือกตัวอย่างเศษปูนหลอม -70 เมช เพื่อนำมาผ่านชั้นตอ
2. ทดลองแยกแร่โดยป้อนตัวอย่างเศษปูนหลอมแล้วปรับระดับความลาดเอียงของพื้นโต๊ะ (Slope) วัดอัตราการไหลของปริมาณน้ำ (Flow Rate), ความเร็วของจังหวะชัก (Speed), และความยาวช่วงชัก (Stroke) จนได้ผลการทดลองตามที่ต้องการแล้วจึงเริ่มดำเนินการต่อ
3. ป้อนแร่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ จับเวลาในการป้อนแร่ และเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการแยกแร่
4. เก็บตัวอย่าง หัวแร่ (Concentrate), แร่คละ (Middling) และหางแร่ (Tailing) ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้
5. นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ไปอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.5.1.4 การกำจัดมลทินเหล็กออกจากเศษปูนหลอมโดยอาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่อง Franz Magnetic

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Franz Magnetic Separator

- วิธีการทดลอง

1. ชักตัวอย่าง เพื่อนำมาทดลองปรับความเข้มข้นแม่เหล็กที่เหมาะสม
2. ป้อนตัวอย่างเศษปูนหลอมในอัตราคงที่
3. ใช้ถาดรองรับส่วนที่ติดแม่เหล็ก (Magnetic) ไม่ติดแม่เหล็ก (Non-Magnetic) และแร่คละ
4. นำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.5.2 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อที่ปราศจากมลทินเหล็ก โดยวิธีการละลายทางเคมีด้วยกรดกัดทอง (Aqua regia)

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างเศษปูนหล่อ
2. แผ่นทำความร้อน (Hotplate)
3. ปีกเกอร์
4. แท่งแก้วคนสาร
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด
8. น้ำกลั่น
9. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
10. กรดไนตริก (HNO_3)
11. กระจกทรง

- วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวทำละลาย Aqua Regia 3 ความเข้มข้น คือ 100%, 75% และ 50% ตามลำดับ
2. เตรียมตัวอย่างเศษปูนหล่อ โดยมีอัตราส่วนเศษปูนหล่อ(กรัม) ต่อตัวทำละลาย Aqua regia 100% 4 ตัวอย่าง คือ 5%Solid, 10%Solid, 20%Solid และ 33.5%Solid
3. เทตัวทำละลาย 100% Aqua regia 100 มิลลิลิตร ลงในปีกเกอร์ที่มีตัวอย่างเศษปูนหล่อเตรียมไว้ 4 ปีกเกอร์
4. ปรับแผ่นความร้อนจนได้ความร้อนประมาณ 60 องศาเซลเซียส ตั้งปีกเกอร์ลงบนแผ่นความร้อนแล้วเก็บตัวอย่างที่เวลา 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นกรองสารละลาย
5. ทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้ตัวทำละลาย Aqua regia 75% และ 50% ตามลำดับ

3.5.3 การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง (Recovery Platinum from Aqua regia solution)

เนื่องจากตัวอย่างเศษชุบหล่อ มีปริมาณโลหะแพลทินัมอยู่น้อยมาก ทำให้โลหะแพลทินัมไม่เพียงพอสำหรับการเก็บกลับคืน จึงได้ทำการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม โดยเตรียมสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลทินิก ด้วยการละลายโลหะแพลทินัม 500 มิลลิกรัม ด้วยตัวทำละลายกรดกัดทอง เพื่อที่จะทราบปริมาณกรดคลอโรแพลทินิกที่แน่นอนและเพียงพอต่อการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม

- **เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. สารละลายที่ได้จากการละลายโลหะแพลทินัมด้วยตัวทำละลายกรดกัดทอง (Aqua regia)
2. บีกเกอร์
3. แท่งแก้วคนสาร
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ผงสังกะสี (Zinc Powder)
6. กรดฟอร์มิก (Formic acid)
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
8. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH Meter)
9. น้ำกลั่น
10. เครื่องกรองสุญญากาศ

- **วิธีการทดลอง**

เนื่องจากตัวอย่างเศษชุบหล่อมีปริมาณโลหะแพลทินัมอยู่น้อยมาก ทำให้ไม่สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมออกมาได้ จึงได้ทำการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมโดยการนำโลหะแพลทินัม น้ำหนัก 500 มิลลิกรัม ละลายในกรดกัดทอง (Aqua regia) 500 มิลลิลิตร ได้ความเข้มข้นสารละลาย 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

นำสารละลายที่ได้มาแบ่งเป็น 2 ส่วน เพื่อทำการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากกรดกัดทอง (Aqua regia) สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

3.5.3.1 การแทนที่โลหะด้วยผงสังกะสี (Cementation with Zn Powder)

- **วิธีการทดลอง**

1. เตรียมสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลตินิกเข้มข้น
2. เตรียมผงสังกะสี (Zn Powder)
3. แบ่งสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลตินิกเข้มข้นลงในปิกรเกอร์ในปริมาณ 250 มิลลิลิตร
4. ชั่งน้ำหนักผงสังกะสีก่อนที่จะใส่ลงในสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลตินิกเข้มข้น
5. จับเวลาในการตกตะกอน จากนั้นนำสารละลายมากรองตะกอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
6. นำตะกอนที่กรองได้ใส่ไว้ใน โถอบไล่ความชื้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกผล
7. นำตะกอนมาตรวจสอบการเป็นโลหะแพลทินัม ด้วยเทคนิค LIBS และตรวจสอบความบริสุทธิ์ของตะกอนด้วยเทคนิค ICP

3.5.3.2 การตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก (Precipitation with Formic acid)

- **วิธีการทดลอง**

1. เตรียมสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลตินิกเข้มข้น
2. เตรียมกรดฟอร์มิก
3. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมล/ลิตร
4. แบ่งสารละลายที่มีกรดคลอโรแพลตินิกเข้มข้นลงในปิกรเกอร์ในปริมาณ 250 มิลลิลิตร
5. ปรับค่า pH 9-10 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมล/ลิตร
6. ค่อยๆเติมกรดฟอร์มิกลงในสารละลาย
7. จับเวลาในการตกตะกอน จากนั้นนำสารละลายมากรองตะกอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
8. นำตะกอนที่กรองได้ใส่ไว้ใน โถอบไล่ความชื้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกผล

9. นำตะกอนมาตรวจสอบการเป็นโลหะแพลทินัม ด้วยเทคนิค LIBS และตรวจสอบความบริสุทธิ์ของตะกอนด้วยเทคนิค ICP

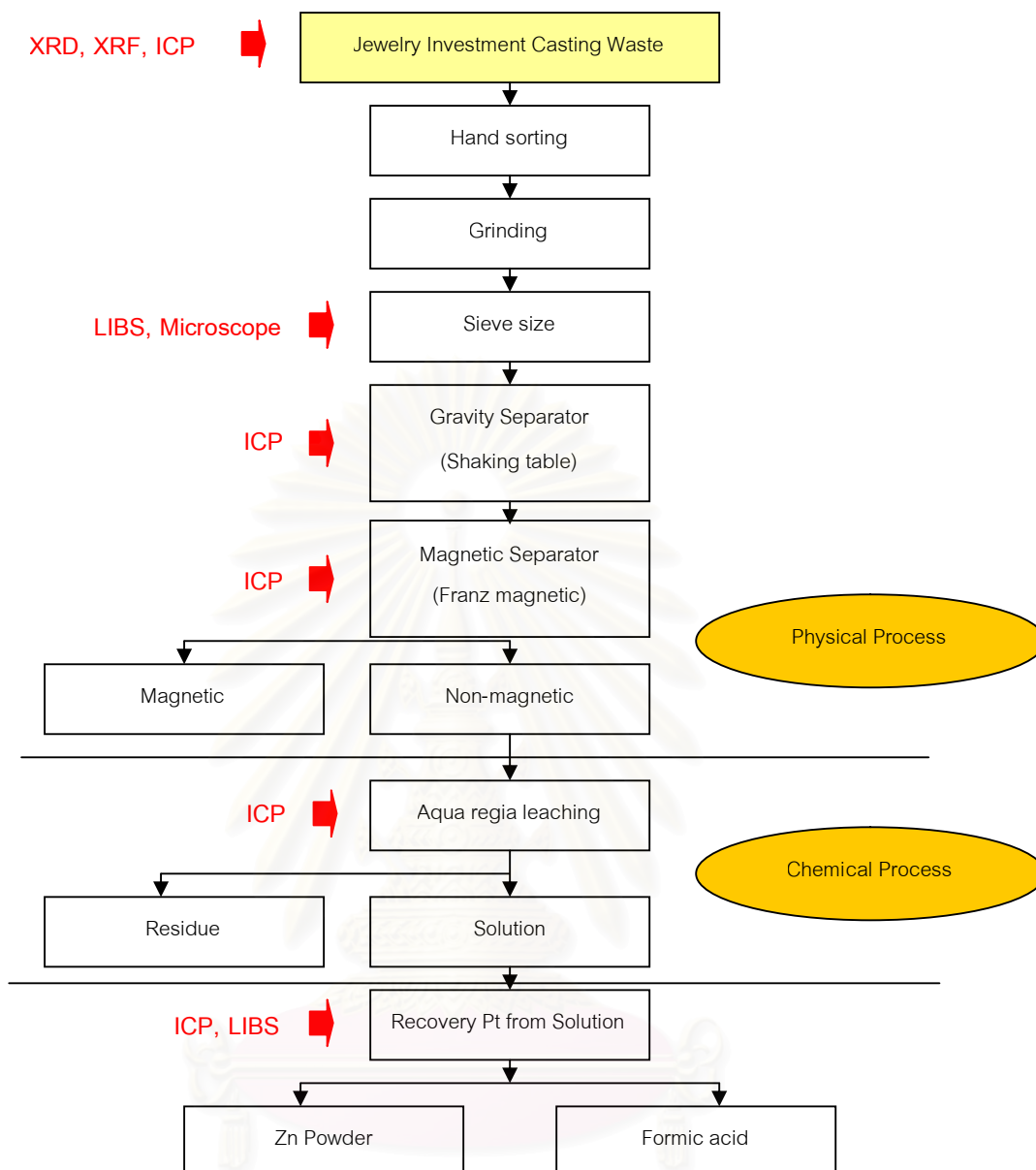
3.5.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบของเศษปูนหล่อเครื่องประดับ

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffraction, XRD)
2. เครื่องวัดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปคโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)
3. เครื่อง Induced Coupled Plasma Spectrometer (ICPS)
4. เครื่อง Laser Induce Breakdown Spectrometer (LIBS)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.2 แสดงการวิเคราะห์โลหะแพลทินัมจากกระบวนการต่างๆ

3.5.4.1 การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

ซีกตัวอย่างด้วยวิธีการทำ Coning and Quartering จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดจนตัวอย่างมีความละเอียดประมาณ 200 เมช แล้วไปวัดใส่ถ้วยอะลูมิเนียม ด้วยเครื่องอัดขนาด 20–30 ตัน เวลาประมาณ 20 วินาที จนได้ตัวอย่างที่เป็นแผ่น แล้วนำไปเข้าเครื่อง XRD ประเมินผล วิเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบต่อไป

3.5.4.2 การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ซีกตัวอย่างด้วยวิธีการทำ Coning and Quartering จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดจนตัวอย่างมีความละเอียดประมาณ 200 เมตร แล้วนำอัดลงในถ้วยอะลูมิเนียมด้วยเครื่องอัดขนาด 20-30 ตัน เวลาประมาณ 20 วินาที จนได้ตัวอย่างที่เป็นแผ่น แล้วนำไปเข้าเครื่อง XRF ประเมินผล วิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบต่อไป

3.5.4.3 การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICPS

ซีกตัวอย่างสารละลาย. จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง เพื่อให้ได้สารละลายที่ใส ไม่มีตะกอน แล้วนำมาปรับปริมาตรด้วยขวดแก้วปรับปริมาตร นำไปเข้าเครื่องวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบต่อไป

จากนั้นดำเนินการทบทวนข้อมูลที่ได้จากการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลและทราบปัญหาพร้อมทั้งข้อจำกัดของการทดลอง เพื่อเสนอแนวทางที่เหมาะสม ในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับ

บทที่ 4

รายงานผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของตัวอย่างเศษปูนหล่อ

ตัวอย่างเศษปูนหล่อที่ได้นำมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ เศษปูนหล่อที่ได้จากการหล่อเครื่องประดับโลหะแพลทินัมมีลักษณะทางกายภาพ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของเศษปูนหล่อ

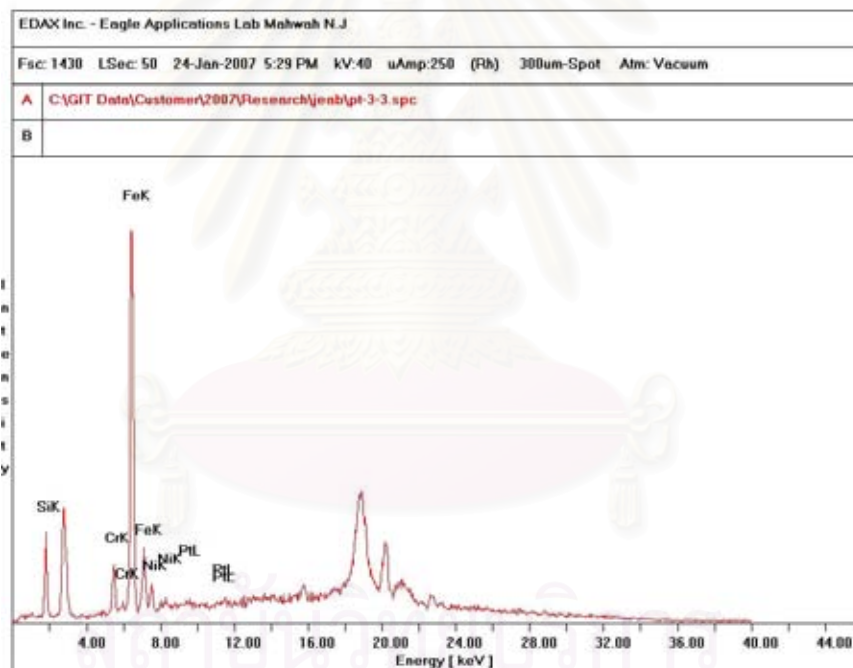
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหล่อโดยใช้เทคนิค XRF

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray fluorescent spectroscopy (XRF) จะบ่งบอกถึงองค์ประกอบหลักของเศษปูนหล่อว่ามีธาตุใดเป็นองค์ประกอบและมีปริมาณเท่าไร

ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหล่อพบว่า มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ดังนี้ SiO_2 68.24% (เนื่องมาจากปูนที่ใช้ในการหล่อโลหะแพลทินัม มีองค์ประกอบหลักคือวัสดุทนไฟ ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา) รองลงมาได้แก่ Fe_2O_3 25.71% และ Cr_2O_3 3.10% ซึ่งมาจากในขั้นตอนการหล่อโลหะแพลทินัม จะต้องมีการเทปูนลงในเบ้าหล่อ ซึ่งเบ้าหล่อที่ใช้ทำมาจากสแตนเลสสตีลมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ชนิดคือ เหล็ก (Fe) และโครเมียม (Cr) เนื่องจากในขั้นตอนการหล่อมีเหล็กออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหล่อแตกและติดออกมาพร้อมเศษปูนหล่อ ส่วนองค์ประกอบโลหะแพลทินัมในนี้มีปริมาณน้อยมาก ไม่เหมาะสมที่จะใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ตารางที่ 4.1 แสดงธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเศษปูนหล่อโดยใช้เทคนิค XRF

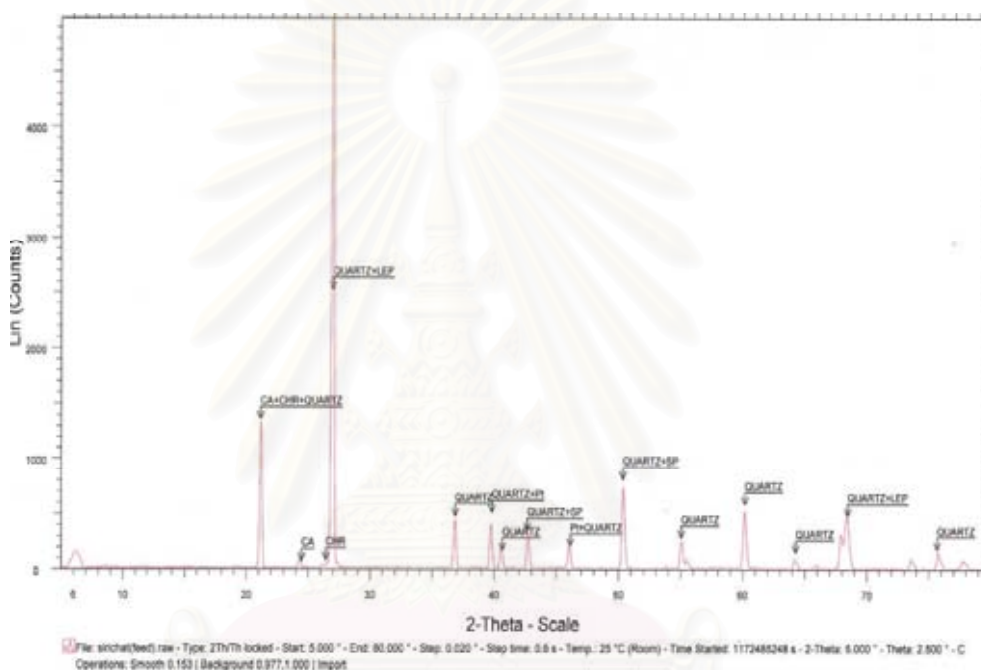
ธาตุ	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
SiO ₂	68.24
Fe ₂ O ₃	25.71
Cr ₂ O ₃	3.10
Ni ₂ O ₃	2.34
PtO	Trace



ภาพที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหล่อด้วยเทคนิค XRF

4.1.2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในเศษปูนหลอมด้วยเทคนิค XRD

ในการวิเคราะห์สารประกอบในเศษปูนหลอม ด้วยเทคนิค XRD ทำให้ทราบข้อมูลที่ต่อเนื่อง จากการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหลอม ด้วยเครื่อง XRF ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะบ่งบอกถึงโครงสร้างสารประกอบของธาตุที่เป็นองค์ประกอบเศษปูนหลอม ทำให้ทราบว่าธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเศษปูนหลอม อยู่ในรูปของสารประกอบอะไร นับว่าเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญในการพิจารณาเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์สารประกอบในเศษปูนหลอมด้วยเทคนิค XRD

หมายเหตุ : Pt : Platinum Metal (S)

Quartz : Silicon Oxide (SiO_2)

LEP : Iron Oxide Hydrate Lepidocrocite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

CHR : Chromium Oxide (Cr_2O_3)

CA : Calcium Carbonate

จากการวิเคราะห์สารประกอบในเศษปูนหล่อ โดยใช้เทคนิค XRD พบว่าในเศษปูนหล่อ มีองค์ประกอบหลัก เป็นสารประกอบจำพวก Silicon Oxide (Quartz SiO_2), Iron Oxide Hydrate Lepidocrocite (LEP: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และองค์ประกอบรองเป็นสารประกอบจำพวก Chromium Oxide (Cr_2O_3), Calcium carbonate (CaCO_3) และ Platinum (s) ซึ่งสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของเศษปูนหล่อนั้น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF โดยพบสารประกอบ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เนื่องจาก เป็นองค์ประกอบของเบ้าหล่อที่ผลิตจากสแตนเลสสตีล พบสารประกอบ Silicon Oxide เนื่องจากซิลิกา (Silica) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของปูนหล่อ และพบโลหะแพลทินัมจากการที่มีโลหะแพลทินัม หลุดติดมากับเศษปูนหล่อในขั้นตอนการหล่อโลหะแพลทินัม

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแพลทินัมในเศษปูนหล่อโดยใช้เทคนิค ICP

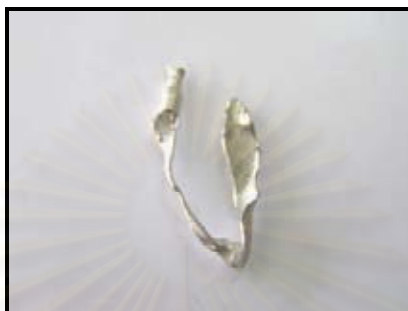
เนื่องจากในตัวอย่างเศษปูนหล่อนั้นมีโลหะแพลทินัมอยู่ในปริมาณน้อยมาก ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF อาจทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อนมาก จึงนำเศษปูนหล่อมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP เพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่แน่นอนของโลหะแพลทินัม การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ นับว่าเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญในการพิจารณาเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแพลทินัมในเศษปูนหล่อโดยใช้เทคนิค ICP พบว่ามีปริมาณของโลหะแพลทินัม 0.017% โดยน้ำหนัก

4.2 ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อโดยวิธีการทางกายภาพ (Physical Process)

4.2.1 ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมด้วยเทคนิคการแยกด้วยมือ (Hand Sorting)

สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ น้ำหนัก 0.982 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.4

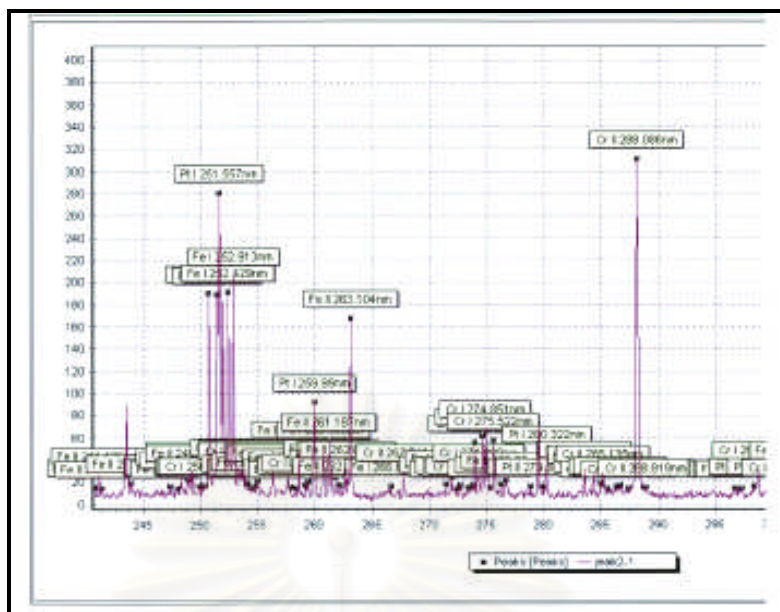


ภาพที่ 4.4 แสดงโลหะแพลทินัมที่เก็บกลับคืนได้จากขั้นตอนการคัดแยกด้วยมือ

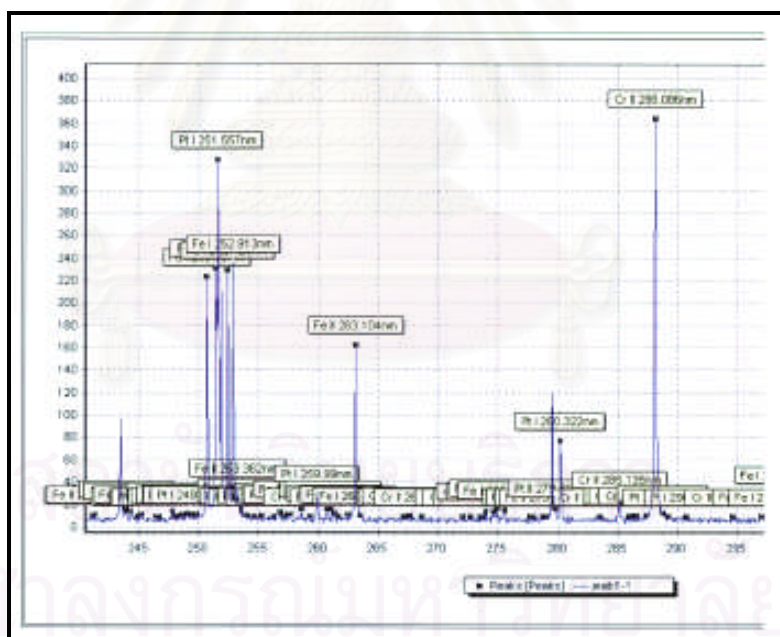
4.2.2 ผลการทดลองจากขั้นตอนการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรง

การคัดแยกวัสดุหรือแร่ด้วยกระบวนการแต่งแร่ทางกายภาพ จะมีประสิทธิภาพที่ดี ยิ่งขึ้น หากทำการคัดขนาดวัสดุป้อนเข้า ให้มีความแตกต่างของขนาดน้อยที่สุด

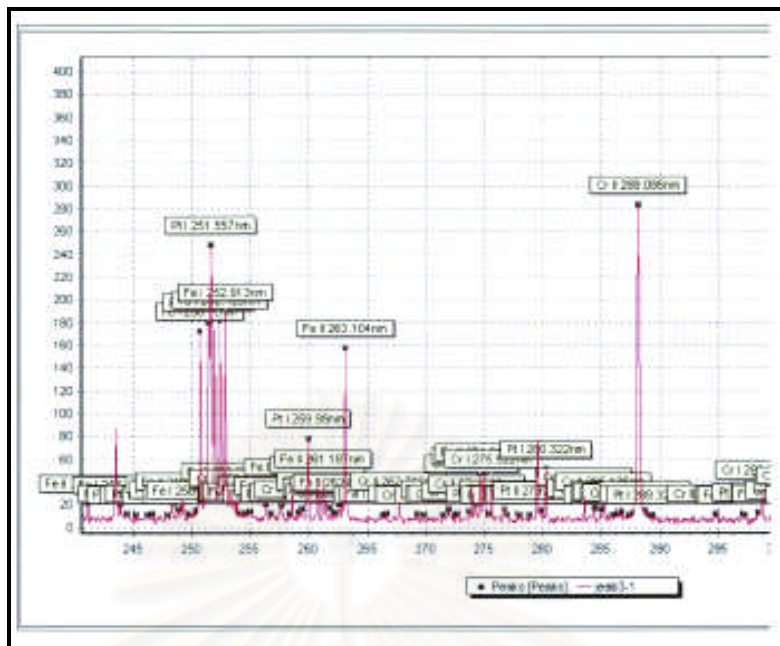
การศึกษานี้ จึงทำการคัดขนาดตัวอย่างปูนหล่อ โดยใช้ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน ขนาด 50 เมช, 70 เมช, 100 เมช และ 120 เมชตามลำดับ โดยแบ่งช่วงขนาดเศษปูนหล่อดังนี้ คือ -50# + 70#, -70# + 100# และ -100# + 120# จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาโลหะแพลทินัมด้วยเทคนิค LIBS ซึ่งจะใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเลเซอร์ (Source laser) ยิ่งไปที่เนื้อของตัวอย่างเศษปูนหล่อทำให้เกิดการคายพลังงาน (Emission) ของธาตุออกมา (ต่างจากเทคนิค XRF ซึ่งจะยิงรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ไปที่ผิวของตัวอย่างเศษปูนหล่อเท่านั้น) ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของเศษปูนหล่อนั้นมีโลหะแพลทินัมอยู่ในเศษปูนหล่อทุกขนาด ดังแสดงในภาพที่ 4.5, 4.6 และ 4.7



ภาพที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหล่อโดยใช้เครื่อง LIBS
(ขนาด -50# + 70#)



ภาพที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหล่อโดยใช้เครื่อง LIBS
(ขนาด -70# + 100#)



ภาพที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเศษปูนหล่อโดยใช้เครื่อง LIBS (ขนาด -100# + 120#)

จากนั้นนำมาตรวจดูการแยกตัวโดยอิสระของเศษปูนหล่อด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า

- | | |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ขนาด -50# + 70# | โลหะแพลทินัมบางส่วนยังไม่แยกตัวจากเศษปูนหล่อและเศษปูนหล่อยังไม่แยกตัวจากเศษโลหะเหล็ก |
| ขนาด -70# + 100# | โลหะแพลทินัมแยกตัวอย่าง เป็นอิสระจากเศษโลหะเหล็ก และเศษปูนหล่อ |
| ขนาด -100# + 120# | โลหะแพลทินัมแยกตัวอย่าง เป็นอิสระจากเศษโลหะเหล็ก และเศษปูนหล่อ |

จากขั้นตอนการคิดขนาดสรุปได้ว่าโลหะแพลทินัมแยกตัวอย่าง เป็นอิสระจากเศษโลหะเหล็ก และเศษปูนหล่อ ตั้งแต่ขนาด 70# ดังนั้นจึงเลือกเศษปูนหล่อตั้งแต่ขนาดอนุภาค 70# เพื่อเข้าสู่กระบวนการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุดในขั้นตอนต่อไป

4.2.3 ผลการแยกเศษปูล่องโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะด้วยโต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table)

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF, XRD และ ICP ทำให้ทราบว่าในตัวอย่างเศษปูล่องนั้น มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโลหะแพลทินัม (Pt), ส่วนที่เป็นโลหะกลุ่มเหล็ก ได้แก่ เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3), โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) และส่วนที่เป็นปูล่อง ได้แก่ ซิลิกา (Silica) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมาก โดยโลหะแพลทินัม มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 21.45, เหล็ก มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 7.874 และ ซิลิกา มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.53 – 2.64 จึงสามารถแยกโลหะแพลทินัมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแสดงมวลสมดุลของโลหะแพลทินัมในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงมวลสมดุลของโลหะแพลทินัมจากขั้นตอนการใช้โต๊ะสั่น

	Weight (kg)	Weight (%)	Assay (%pt)	Weight of pt	%Distribution
เศษปูล่อง (Feed)	10	100	0.0170	1.700	100
ส่วนหนัก (Concentrate)	0.764	7.64	0.0176	1.345	79.12
ส่วนคละ (Midding)	1.655	16.55	0.0110	0.183	10.76
ส่วนเบา (Tailing)	7.584	75.81	0.0023	0.172	10.12

ในขั้นตอนการแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ ได้กำหนดให้การทำงานของโต๊ะสั่นมีรายละเอียดดังนี้

ความลาดเอียงของโต๊ะสั่น (Slope) 2-3 องศา

อัตราการไหลของปริมาณน้ำ (Flow rate) 20 ลิตร/นาที

ความเร็วของจังหวะชัก (Speed) 180-270 ครั้ง/นาที

ความยาวช่วงชัก (Stroke) 1 นิ้ว

จากผลการทดลองแยกแร่ด้วยค่าความต่างของความถ่วงจำเพาะโดยใช้โต๊ะสั่นนั้น จะแบ่งแร่ที่ได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนหนัก ส่วนคละ และส่วนเบา หลังจากนั้นนำทั้ง 3 ส่วนมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP พบว่ามีปริมาณโลหะแพลทินัมอยู่ในส่วนของหัวแร่ 0.1760% ส่วนของแร่คละ 0.0110% และส่วนเบา 0.0023% ตามลำดับ เนื่องจากแพลทินัมมีความถ่วงจำเพาะสูงสุดในบรรดาองค์ประกอบทั้งหลาย ในเศษปูล่องจึงพบโลหะแพลทินัมใน

ส่วนหนัก หรือหัวแร่ (Concentrate) มากที่สุด และบางส่วนอยู่ในส่วนของแร่คละ (Middling) จึงนำแร่ทั้งสองส่วนนี้มาผ่านขั้นตอนการแยกด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เพื่อกำจัดมลทินจำพวกโลหะกลุ่มเหล็กต่อไป ทำให้สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับในส่วนของแร่เบา มีปริมาณโลหะแพลทินัมในปริมาณน้อยมาก จึงไม่นำแร่ส่วนนี้มาผ่านขั้นตอนการแยกด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

4.2.4 ผลการกำจัดมลทินเหล็กออกจากเศษปูนหล่อโดยอาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่อง Franz Magnetic

จากขั้นตอนการแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ สามารถนำหัวแร่และแร่คละมาแยกมลทินที่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็กออกได้ ด้วยขั้นตอนการแยกด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เพื่อให้สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้อย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

ตารางที่ 4.3 แสดงมวลสมดุลของโลหะแพลทินัมจากขั้นตอนการแยกด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

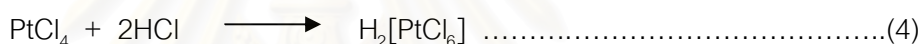
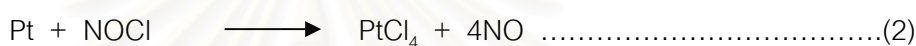
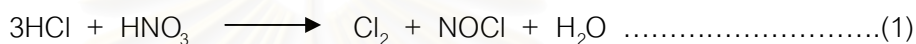
	Weight (kg)	Weight (%)	Assay (%pt)	Weight of pt (g)	%Distribution
เศษปูนหล่อ (Feed)	2.419	100	0.0632 (คำนวณ)	1.528	100
ส่วนที่ติดแม่เหล็ก (Magnetic)	1.793	74.12	0.00531	0.0952	6.23
ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก (Non-Magnetic)	0.626	25.88	0.22888	1.339	93.77

จากผลการทดลองขั้นตอนการแยกเศษปูนหล่อด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็กนั้น จะสามารถเก็บตัวอย่างได้ 2 ส่วนคือ ส่วนที่ติดแม่เหล็ก และส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก หลังจากนั้นนำทั้ง 2 ส่วนมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP พบว่ามีปริมาณโลหะแพลทินัมอยู่ในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก 0.22888% และส่วนที่ติดแม่เหล็ก 0.00531% จึงสามารถกำจัดมลทินเหล็ก

ออกไปได้ จากนั้นนำส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก (Non-Magnetic) ไปเข้าสู่กระบวนการละลายโลหะแพลทินัมด้วยกรดกัดทอง (Aqua regia) ต่อไป

4.3 ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหลอมโดยวิธีการละลายทางเคมี (Chemical Process) ด้วยกรดกัดทอง (Aqua regia)

เนื่องจากโลหะแพลทินัมนั้นเป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดมาก ดังนั้นในการละลายโลหะแพลทินัม จึงต้องใช้กรดกัดทอง (Aqua regia) ซึ่งประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 3 ส่วน ต่อกรดไนตริก (HNO₃) 1 ส่วน โดยในสารละลายที่เกิดจากกรดกัดทอง (Aqua regia) ละลายโลหะแพลทินัมนั้น ทำให้เกิดโมเลกุลของโลหะแพลทินัมในสารละลาย เรียกว่า กรดคลอโรแพลทินิก H₂[PtCl₆] ดังสมการที่ (1) – (4)

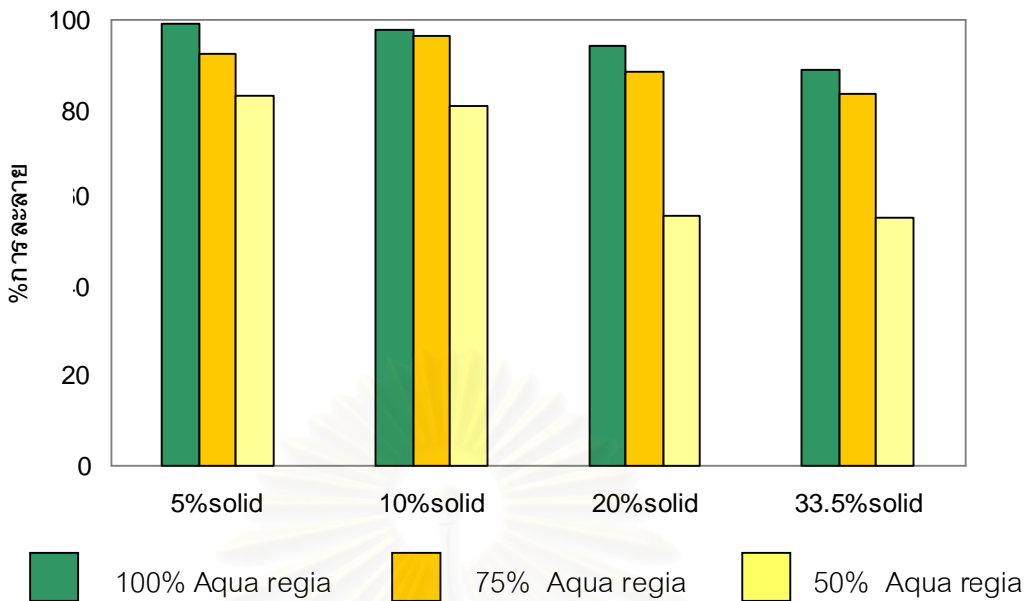


ก่อนที่จะนำเศษปูนหลอมส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก มาผ่านขั้นตอนการละลายด้วยกรดกัดทอง (Aqua regia) ได้นำเศษปูนหลอมมาทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแพลทินัม ด้วยเทคนิค ICP พบว่ามีปริมาณโลหะแพลทินัม 0.0214%

การละลายโลหะแพลทินัมนั้น ได้ทดลองใช้กรดกัดทอง (Aqua regia) 3 ความเข้มข้น คือ 100%, 75% และ 50% ตามลำดับ จากนั้นจะเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลา 1, 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ โดยกำหนดอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการกวน และ อัตราส่วนของเศษปูนหลอมต่อกรดกัดทอง (Aqua regia) คือ 5%solid, 10%solid, 20%solid และ 33.5%solid ตามลำดับ

4.3.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความเข้มข้นของกรดกัดทอง (Aqua regia) ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการละลายโลหะแพลทินัม

ในการทดลองได้กำหนดรูปแบบการทดลองดังนี้ คือ กำหนดให้มีความเข้มข้นของกรดกัดทอง (Aqua regia) 3 ความเข้มข้น คือ 100%, 75% และ 50% ตามลำดับ และกำหนดเวลาการละลาย 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการกวน ดังผลการทดลองแสดงในแผนภูมิที่ 4.1



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การละลายโลหะแพลทินัมที่กรดกัดทอง (Aqua regia) ความเข้มข้นต่างๆกัน ที่เวลาการละลาย 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการกวน

จากแผนภูมิที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการละลายของโลหะแพลทินัมนั้น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ที่ความเข้มข้นกรดกัดทอง (Aqua regia) 100% สามารถละลายโลหะแพลทินัมได้ปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรดกัดทอง (Aqua regia) 75% และ 50% ในทุกๆการทดลอง และจากผลการทดลองที่ได้ ทำให้สามารถกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการละลายโลหะแพลทินัมต่อไป

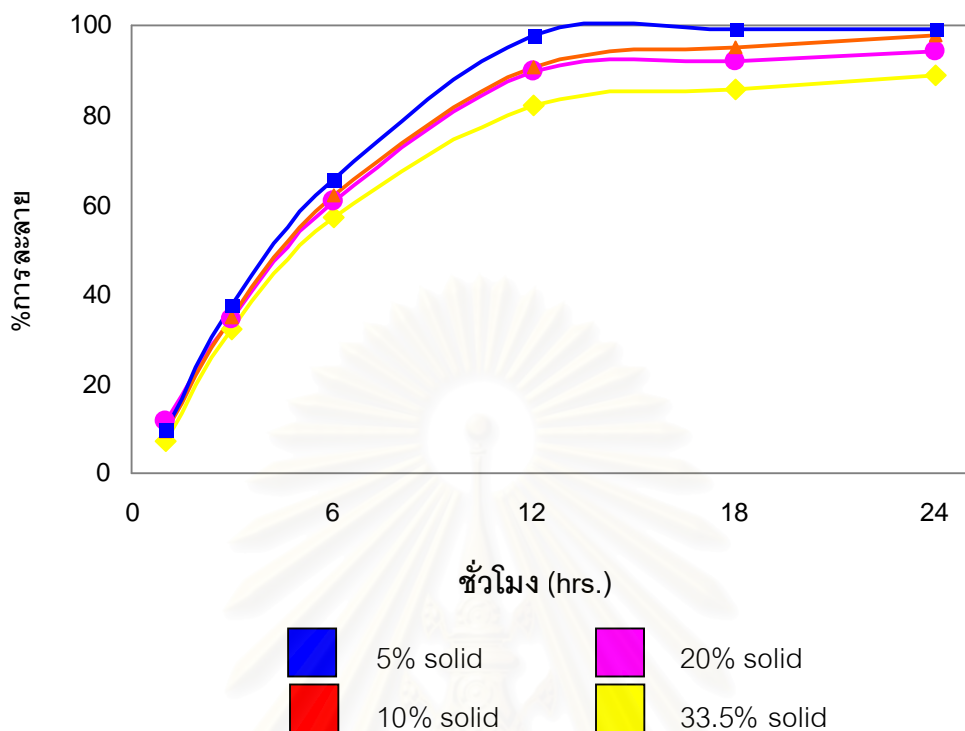
4.3.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการละลายโลหะแพลทินัม

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการละลายโลหะแพลทินัมได้ทำการศึกษา ในช่วงเวลา 1–24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างสารละลาย ที่ 1, 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยกำหนดความเข้มข้นกรดกัดทอง (Aqua regia) 100% และที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการกวน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองจากขั้นตอนการละลายโลหะแพลทินัม

ชั่วโมงที่	5%Solid		10%Solid		20%Solid		33.5%Solid	
	ปริมาณโลหะแพลทินัม (มิลลิกรัม)	การละลายสะสม (%)	ปริมาณโลหะแพลทินัม (มิลลิกรัม)	การละลายสะสม (%)	ปริมาณโลหะแพลทินัม (มิลลิกรัม)	การละลายสะสม (%)	ปริมาณโลหะแพลทินัม (มิลลิกรัม)	การละลายสะสม (%)
1	1.04	9.7	2.01	9.39	4.98	11.63	5.24	7.31
3	2.98	37.57	5.48	35.0	9.64	34.16	17.9	32.28
6	3.02	65.79	5.83	62.24	11.30	60.56	17.84	57.16
12	3.40	97.57	6.12	90.84	12.49	89.74	18.00	82.27
18	0.16	99.06	0.87	94.91	1.02	92.12	2.51	85.77
24	0.02	99.25	0.60	97.71	0.94	94.32	2.13	88.74
Total	10.62	99.25	20.91	97.71	40.37	94.32	63.62	88.74

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราการละลายโลหะแพลทินัมแปรผกผันกับอัตราส่วนเศษป้อนหล่อต่อกรดกัดทอง ในทุกช่วงเวลา กล่าวคือ ที่อัตราส่วน 5%solid ประสิทธิภาพการละลายโลหะแพลทินัมสูงที่สุด และมีประสิทธิภาพการละลายลดลงตามลำดับที่ความเข้มข้น 10%solid, 20%solid และ 33.5%solid



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การละลายโลหะแพลทินัมที่เวลาการละลาย 1-24 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นตัวทำละลาย Aqua regia 100%
 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการพัดกวน

จากแผนภูมิที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การละลายโลหะแพลทินัมที่ระยะเวลา 1, 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาที่ต่างกันมีผลต่อการละลายโลหะแพลทินัม กล่าวคือ จากชั่วโมงที่ 1-6 กราฟมีความชันมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงเวลาที่โลหะแพลทินัมมีอัตราการละลายสูงที่สุด จากชั่วโมงที่ 6-12 กราฟมีความชันน้อยลงแสดงให้เห็นว่าโลหะแพลทินัมมีอัตราการละลายลดลง และความชันของกราฟเริ่มคงที่จากชั่วโมงที่ 12 เป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่าโลหะแพลทินัมมีอัตราการละลายคงที่ กล่าวคือเมื่อเวลาผ่านไปในช่วงแรกสารตั้งต้น ยังมีปริมาณมากอยู่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็วกว่า เมื่อสารตั้งต้นถูกทำละลายจนเกือบหมดก็จะเกิดปฏิกิริยาช้าลงจนกระทั่งคงที่

กล่าวคือ เปอร์เซ็นต์การละลายเพิ่มขึ้น เมื่อการละลายเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่หลังจากชั่วโมงที่ 12 เป็นต้นไปแสดงว่า เวลาที่เหมาะสมในการละลายโลหะแพลทินัมจากเศษปฏุนห่อ คือ 12 ชั่วโมง สามารถละลายโลหะแพลทินัมได้ 97.57%

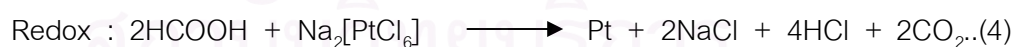
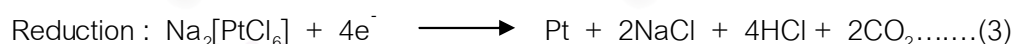
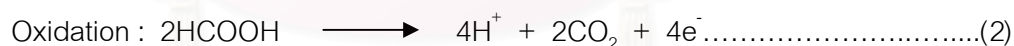
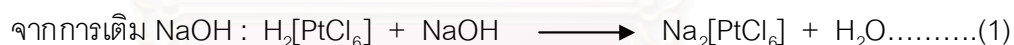
4.4 ผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง (Recovery Platinum from Aqua regia solution)

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทราบถึงวิธีการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง (หรือสารละลายกรดคลอโรแพลทินิก) ที่นิยมใช้ จึงได้กำหนดให้ใช้วิธีการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม 2 วิธี ดังนี้ คือ การแทนที่โลหะด้วยผงโลหะสังกะสี (Cementation with Zn Powder) และการตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก (Precipitation with Formic acid)

สืบเนื่องจากเศษปูนหล่อที่นำมาทำการวิจัยมีองค์ประกอบของโลหะแพลทินัมน้อยมาก สารละลายกรดคลอโรแพลทินิกที่ได้จึงมีความเข้มข้นต่ำเกินไป จนไม่สามารถทำการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมออกจากสารละลายได้ จึงต้องเตรียมสารละลายเลียนแบบ โดยการนำโลหะแพลทินัม น้ำหนัก 500 มิลลิกรัม ที่ได้จากขั้นตอนการแยกด้วยมือในขั้นต้น มาละลายในกรดกัดทองแล้วแบ่งสารละลายที่ได้ เป็น 2 ส่วน จากนั้นทำการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลาย 2 วิธี คือ การแทนที่โลหะด้วยผงโลหะสังกะสี (Cementation with Zn Powder) และการตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก (Precipitation with Formic acid) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม

4.4.1 ผลการตกตะกอน (Precipitation) โลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิก (Formic acid)

ปฏิกิริยาเคมีของการตกตะกอน (Precipitation) ด้วยกรดฟอร์มิก



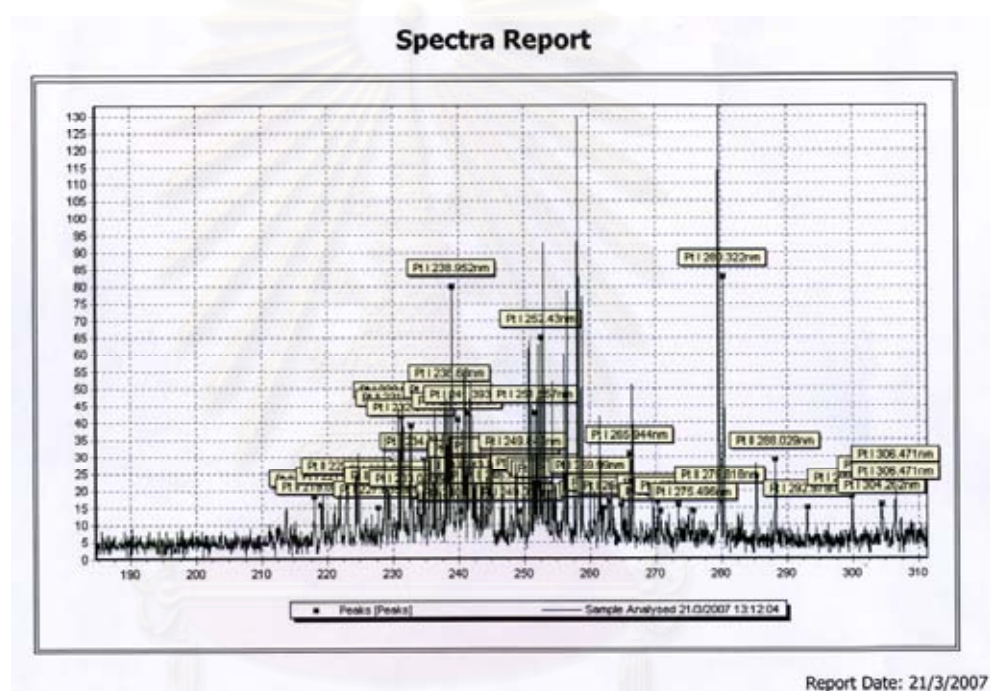
ภาพที่ 4.8 แสดงตะกอนที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิก

โลหะแพลทินัมในสารละลาย 250 มิลลิกรัม

น้ำหนักตะกอนโลหะแพลทินัม 223 มิลลิกรัม

การตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอร์มิกได้ตะกอนสีดำของโลหะแพลทินัม สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ 89.2 %

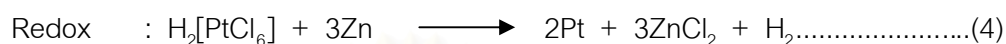
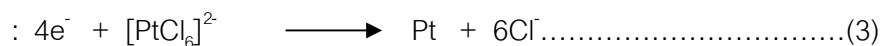
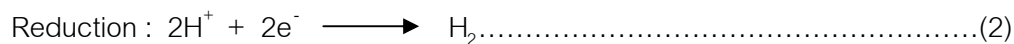
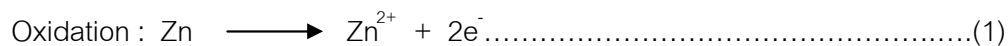
จากนั้นนำตะกอนโลหะแพลทินัมสีดำ (ภาพที่ 4.8) ที่ได้ไปตรวจสอบความเป็นโลหะแพลทินัมด้วยเทคนิค LIBS พบว่า เป็นโลหะแพลทินัม (ภาพที่ 4.9) จึงได้นำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของตะกอนด้วยเทคนิค ICP พบว่า ตะกอนมีความบริสุทธิ์ของโลหะแพลทินัม 87.46%



ภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนโลหะแพลทินัมสีดำด้วยเทคนิค LIBS

4.4.2 ผลการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงโลหะสังกะสี (Cementation with Zn Powder)

ปฏิกิริยาเคมีของการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงโลหะสังกะสี



ภาพที่ 4.10 แสดงตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงโลหะสังกะสี

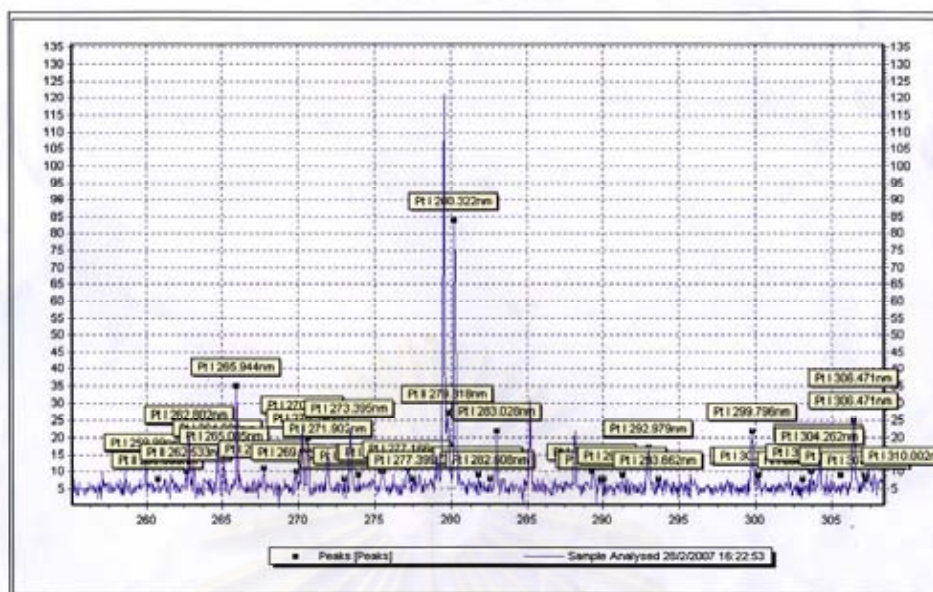
โลหะแพลทินัมในสารละลาย 250 มิลลิกรัม

น้ำหนักตะกอนโลหะแพลทินัม 234 มิลลิกรัม

การแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงสังกะสี ได้ตะกอนสีส้มของโลหะแพลทินัม สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ 93.6 %

จากนั้นนำตะกอนโลหะแพลทินัมสีส้ม (ภาพที่ 4.10) ที่ได้ ไปตรวจสอบความเป็นโลหะแพลทินัมด้วยเครื่อง LIBS พบว่า เป็นโลหะแพลทินัม (ภาพที่ 4.11) จึงได้นำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของตะกอนด้วยเครื่อง ICP พบว่าตะกอนมีความบริสุทธิ์ของโลหะแพลทินัม 95.03%

Spectra Report



Report Date: 28/2/2007

ภาพที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนโลหะแพลทินัมสีส้มด้วยเทคนิค LIBS

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง

	เปอร์เซ็นต์การเก็บกลับคืน โลหะแพลทินัม (%Recovery)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ ของโลหะแพลทินัม (%Purity)
การแทนที่โลหะแพลทินัมด้วย ผงสังกะสี	93.6	95.03
การตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิก	89.2	87.46

จากผลการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง (ตารางที่ 4.5) ทั้ง 2 วิธี พบว่าการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงสังกะสี เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิก ในการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากสารละลายกรดกัดทอง

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

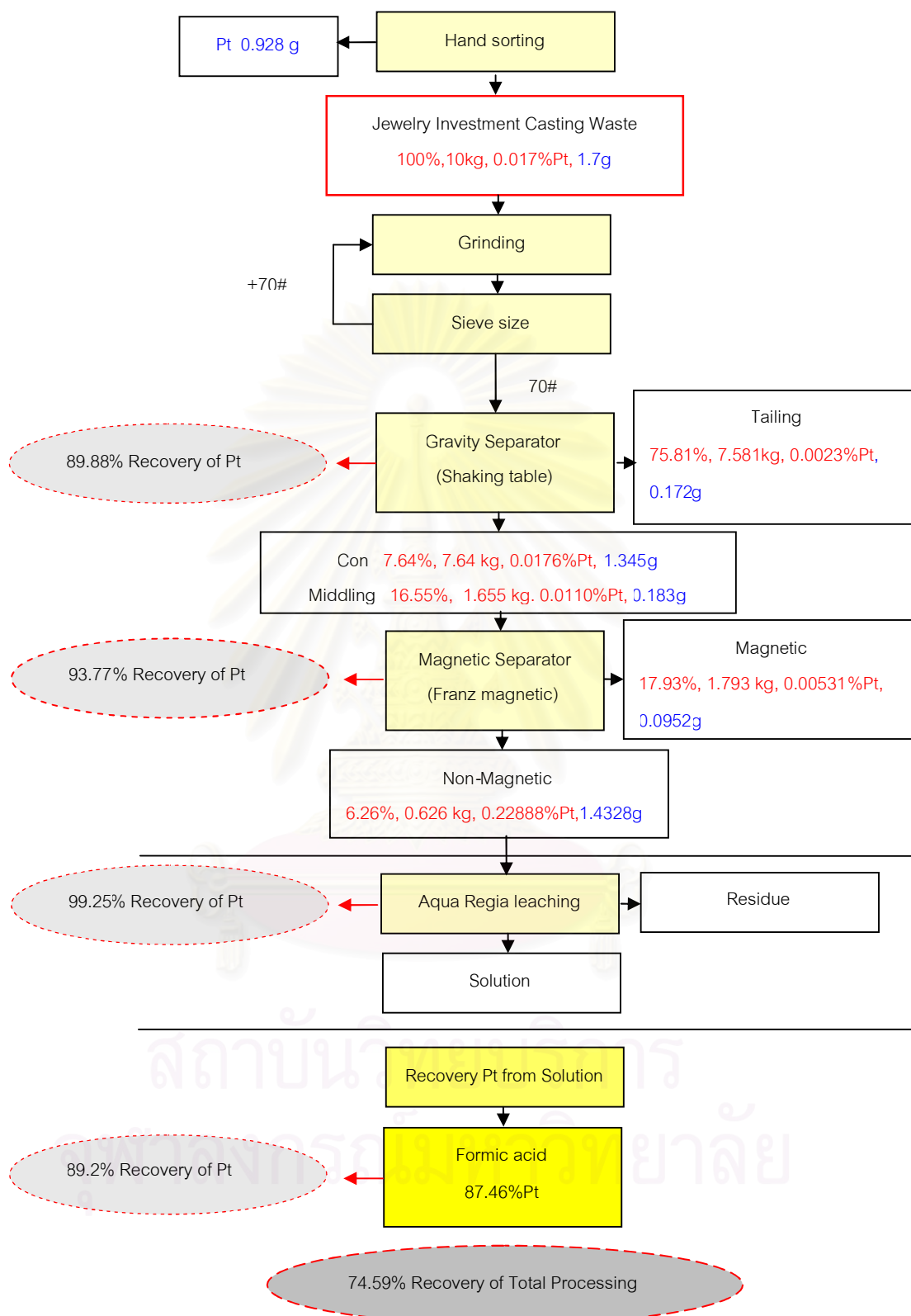
การวิเคราะห์ปริมาณโลหะมีค่าและธาตุองค์ประกอบอื่นๆในเศษปูนหล่อโดยใช้เทคนิค XRF ไม่สามารถทราบปริมาณที่แน่นอนของโลหะแพลทินัม จึงนำมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะแพลทินัมด้วยเทคนิค ICP พบว่ามีปริมาณโลหะแพลทินัม 0.017 % และจากการวิเคราะห์สารประกอบในเศษปูนหล่อ โดยใช้เครื่อง XRD พบว่า โลหะแพลทินัมที่เป็นองค์ประกอบของเศษปูนหล่อ อยู่ในรูปของ โลหะแพลทินัม (S)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแพลทินัมในเศษปูนหล่อ พบว่า มีปริมาณโลหะแพลทินัม 0.017 % โดยน้ำหนัก

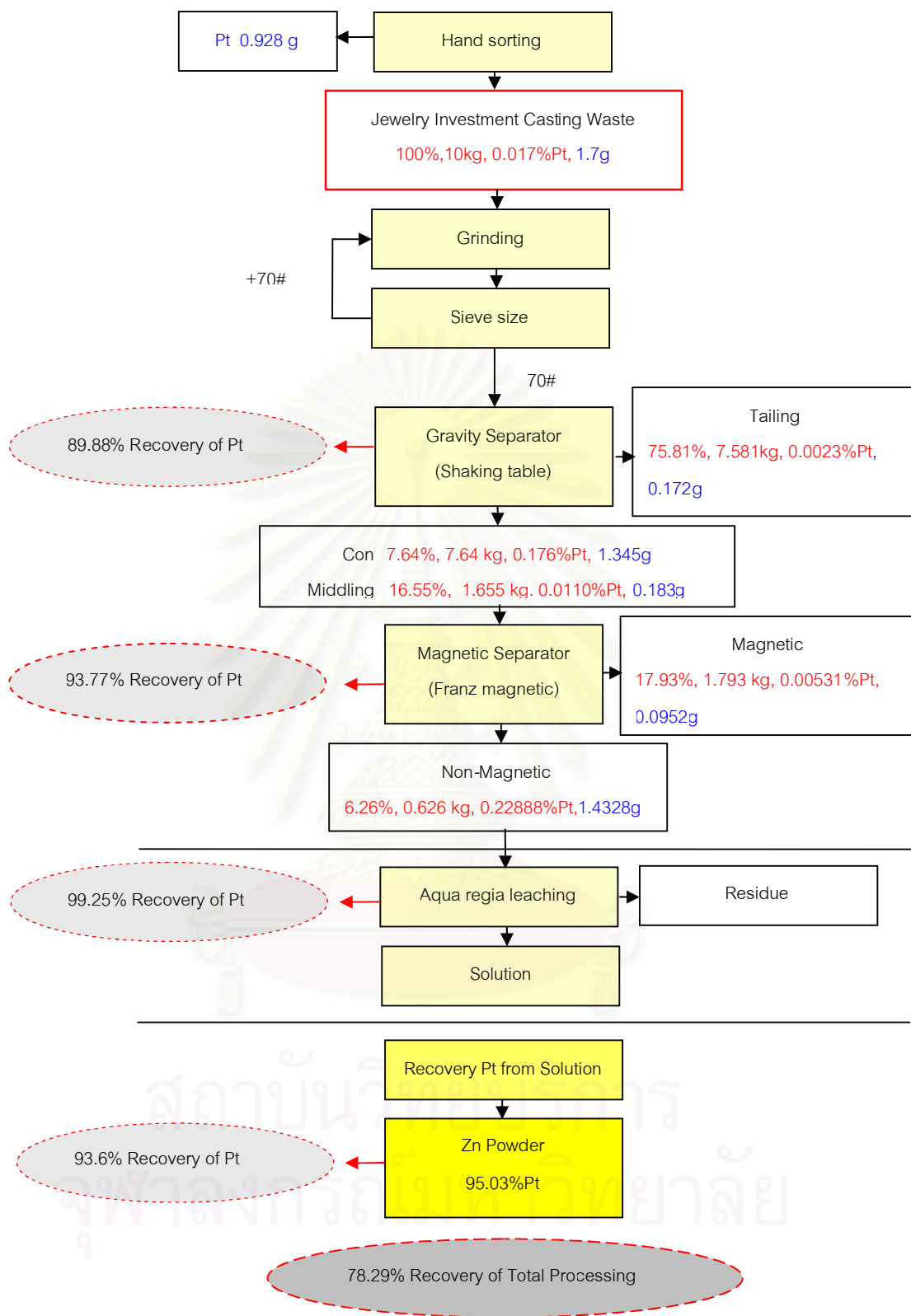
สำหรับวิธีทางกายภาพ โดยวิธีการแยกด้วยความถ่วงจำเพาะโดยใช้ตะกั่ว นั้น สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ 89.88% และการกำจัดมลทินหลักด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่อง Franz Magnetic นั้น สามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ 93.77% แต่เนื่องจากในเศษปูนหล่อยังมีปริมาณโลหะมีค่าอยู่น้อยมาก จึงต้องนำมาเข้าสู่วิธีการทางเคมี

สำหรับวิธีทางเคมี ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การละลายโลหะแพลทินัม และการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม ในส่วนของการละลายนั้นได้เลือกใช้ตัวทำละลายกรดกัดทอง (Aqua regia) ในการละลายโลหะแพลทินัม และสามารถละลายโลหะแพลทินัมได้สูงสุดถึง 99.25% ที่ความเข้มข้น 100% Aqua regia, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 5%Solid โดยไม่มีการฟัดกวน ในส่วนของการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากกรดกัดทองนั้น ได้เลือกใช้วิธีการตกตะกอนโลหะแพลทินัมด้วยกรดฟอสฟอริก และการแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงสังกะสี

ในการทดลองการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากกรดกัดทองนั้น เนื่องจากสารละลายที่ได้จากขั้นตอนการละลายนั้นมีความเข้มข้นต่ำ ทำให้ไม่สามารถตกตะกอนโลหะแพลทินัมได้ จึงได้ทำการเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัม โดยการเตรียมสารละลายที่มีไอออนของโลหะแพลทินัม หรือกรดคลอโรแพลทินิก แล้วนำมาแทนที่ด้วยผงสังกะสี ได้ตะกอนสีส้มของโลหะแพลทินัม ซึ่งสามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ 93.6% โดยตะกอนมีความบริสุทธิ์ของแพลทินัม 95.03% และจากการนำมาตกตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก ได้ตะกอนสีดำของโลหะแพลทินัม และสามารถเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมได้ 89.1%โดยตะกอนมีความบริสุทธิ์ของแพลทินัม 87.46%



ภาพที่ 5.1 แสดงมวลสมมูลจากกระบวนการต่างๆ (การตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิก)



ภาพที่ 5.2 แสดงมวลสมดุลจากกระบวนการต่างๆ (การแทนที่โลหะแพลทินัมด้วยผงสังกะสี)

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

การเก็บกลับคืนโลหะแพลทินัมจากเศษปูนหล่อเครื่องประดับนั้น ยังสามารถทำการศึกษาวิจัยต่อไปได้อีก โดยการศึกษาในครั้งต่อไป ควรทำการชักตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณที่แน่นอนของโลหะแพลทินัมทุกครั้ง เพราะการหล่อแต่ละครั้งจะได้เศษปูนหล่อที่มีปริมาณโลหะแพลทินัมหลงเหลืออยู่แตกต่างกัน ทั้งนี้ควรพิจารณาศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆโดยละเอียด

สำหรับการนำผลการศึกษาวิจัยไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมนั้น การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการนำตัวอย่างเศษปูนหล่อที่ได้มาทำการทดลองในปริมาณจำกัด ดังนั้นจึงควรมีการทดลองซ้ำตามกระบวนการโดยใช้ ตัวอย่างเศษปูนหล่อในปริมาณเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ขจีพร วงศ์ปรีดี และคณะ. เทคนิคการหล่อพร้อมฝังพลอย. กรุงเทพฯ: โครงการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันธุรกิจแฟชั่น สาขาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ภายใต้โครงการกรุงเทพเมืองแฟชั่น โดยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2549.
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์, 2539.
- ร่มฉัตร ไชยรักษา. การเก็บกลับคืนโลหะทองคำและโลหะเงินในตะกัณฑ์ตุยภูมิจากกระบวนการทำทองคำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนร่วมกับโลหะไฮดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- สุรางค์ อนุกุล. ปฏิบัติการเคมีคุณภาพวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

- ASM International. ASM handbook Alloy Phase Diagrams. Material Parks, O.H.: ASM, 2000.
- C.M. Hoke. Refining Precious Metal Wastes Gold-Silver-Platinum Metals. 2nd Edition. New York: Met-Chem Research, 1982.
- C.W. Ammen. Recovery and Refining of Precious Metal. 2nd Edition. New York: International Thomson Publishing, 1997.
- D.P. Desmond and others. High Temperature Cyanide Leaching of Platinum-Group Metal from Automobile Catalysts. [Online]. Available: <http://www.worldcatlibraries.org/wcpa/top3mset/33181628>. (15/6/2006)
- G.W. Leddicotte. The Radiochemistry of Platinum. Washington D.C. : National Academy of science, 1961. [Online]. Available: <http://www.library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?rc000037.pdf>. (2/5/2006)
- Jishi Zhao and others. Reclaim/ recycle of Pt/C catalyst for PEMFC. Energy conversion and management, Vol 48, Issue 2, (February 2007): 450-453. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science>. (9/6/2006)

Katutoshi Narita and Ibaraki Ken. Method of Platinum Recovery. [Online]. Available:
<http://www.freepatentonline.com/5797977.html>. (15/1/2006)
Roland Loewen. Small Scale Refining of Jewelers Wastes. New York: Met-Chem.
Research,1995.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

โต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table)



โต๊ะสั่นแยกแร่เป็นอุปกรณ์แต่งแร่อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งแยกแร่ได้ดีด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Gravity) ขนาดของเม็ดแร่ที่จะแยกได้ดีคือ ขนาดประมาณ 20 เมช ลงไปถึง 400 เมช หรือละเอียดกว่านั้น โต๊ะแยกแร่แบ่งออกตามขนาดเม็ดแร่ที่จะใช้แยกได้ 2 ชนิด คือ โต๊ะแยกแร่ขนาดเม็ดทราย (Sand Table) และโต๊ะแยกแร่ขนาดตะกอน (Slime Table) ซึ่งแยกแร่ตั้งแต่ขนาด 200-300 เมช ลงไป

การแต่งแร่เม็ดละเอียดด้วยโต๊ะแยกแร่ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติการไหลของน้ำบนพื้นเอียงและความหนืด (Viscosity) ของของเหลวหรือน้ำ ของเหลวที่มีความหนืดสูงย่อมทำให้การไหลบนพื้นเอียงลดลง ลักษณะรูปร่างของเม็ดแร่หรือวัตถุที่ใช้แยก ย่อมมีผลต่อการแยกแร่ด้วย เช่น เม็ดแร่รูปกลมย่อมไหลไปได้ไกลกว่าแบนหรือสี่เหลี่ยม

ส่วนสำคัญของโต๊ะแยกแร่

1. พื้นโต๊ะ ปกติทำด้วยไม้และปูพื้นด้วยยาง หรือยาง Linoleum เฉพาะของยี่ห้อ Holman ทำด้วยไฟเบอร์กลาส (Fiber-Glass Deck) บนพื้นโต๊ะที่ปูด้วยยาง โดยปกติจะตอกไม้ชั้น (Riffle) เอียงไปตามแนวยาวของโต๊ะ โดยมีความหนาตอนต้นทางด้านปล่อยแร่และค่อยๆบางตอนปลาย บางตอนที่บางมากใช้แผ่นทองแดงบางๆ ตอกแทนไม้ลูกชั้น โดยลูกชั้นต้นๆจะสั้นกว่าลูกชั้นอันถัดลงมาเล็กน้อย และมีความยาวเพิ่มขึ้นเรียงลำดับกันลงไป
2. เครื่องกลไก (Head Motion) มีหน้าที่ทำให้โต๊ะมีจังหวะไล่ไปข้างหน้าช้าและไล่กลับโดยเร็ว การเคลื่อนของกลไก จะทำให้เม็ดแร่เคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของโต๊ะหรือตามแนวเอียงของลูกชั้น (Riffle) แร่หนักจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าทรายที่เบา
3. โครงเหล็ก ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ทำให้โต๊ะเอียงได้มุมต่างๆ

การทำงานของไต้ะ

พื้นไต้ะตั้งอยู่บนโครงเหล็ก มีกลไกประกอบทำให้จัดพื้นไต้ะให้เอียง มีความสูงทางด้านรางน้ำและต่ำทางด้านตรงข้าม น้ำจะถูกปล่อยให้ไหลลงตามรางและไหลแผ่ลงพื้นไต้ะ ป้อนแร่ลงในช่องที่ป้อนแร่ มอเตอร์ไฟฟ้าจะขับเคลื่อนกลไกทำให้ไต้ะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและกระตุกกลับด้านหลังโดยเร็ว เม็ดแร่หนักจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ไกลกว่าเม็ดแร่เบา หรือกรวดทรายที่เบาแต่มีขนาดเท่ากัน การเอียงของไต้ะและการพัดพาของน้ำไหล แร่เบาและทรายจะถูกพัดพาออกทางด้านหางแร่ ส่วนแร่หนักหรือหัวแร่จะออกตอนปลายอีกด้านหนึ่งของไต้ะ โดยน้ำจะทำหน้าที่เป็นสื่อแยกด้วย

สำหรับการจัดไต้ะโดยทั่วไป ได้แก่ การจัดปริมาณน้ำ (Wash Water) ความเอียงของพื้นไต้ะ (Slope) ความเร็วของจังหวะชัก (Speed) ความยาวช่วงชัก (Stroke) กลไกขับเคลื่อนไต้ะ (Head Motion) ปกติความเร็วของจังหวะประมาณ 180-270 ต่อนาที (Stroke per minute) ความยาวช่วงชักประมาณ $\frac{1}{2}$ ถึง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว

- สำหรับการแต่งหัวแร่ขี้ดิน (Rougher Concentrate) ปล่อยน้ำมาก ป้อนแร่มาก จัดไต้ะเอียงมาก และช่วงชักยาว
- การแต่งหัวแร่สะอาด (Clean Concentrate) ปล่อยน้ำน้อย ป้อนแร่เล็กน้อย จัดไต้ะเอียงน้อย และช่วงชักสั้น
- สำหรับแร่ละเอียด ปล่อยน้ำน้อย ป้อนแร่ที่ละเอียด จังหวะเร็วแต่ช่วงชักสั้น
- สำหรับแร่ละเอียด ปล่อยน้ำน้อย ป้อนที่ละเอียด จังหวะเร็วแต่ช่วงชักสั้น
- สำหรับแร่หยาบ ปล่อยน้ำมาก ป้อนแร่มาก จังหวะช้า และช่วงชักยาว

ความสามารถรับแร่ป้อนของไต้ะแยกแร่ขึ้นอยู่กับขนาด ลักษณะ และชนิดของแร่ที่จะแยก แร่หยาบแยกได้เร็ว และแร่ละเอียดแยกได้ช้า สำหรับไต้ะใหญ่ขนาดกว้าง 5-6 ฟุต ยาว 16 ฟุต ปกติแยกได้ประมาณ 1-5 ตันต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ของไต้ะ

1. ความยาวช่วงชักและจังหวะ (Stroke and Speed) ขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของแร่และรูปร่างของเม็ดแร่ (Shape) ถ้าแร่มีความถ่วงจำเพาะสูงควรจัดจังหวะได้เร็ว เพราะแร่ต้องใช้เวลาหนึ่งในการแยกความยาวช่วงชักปกติ อาจตั้งได้กว้างถึง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว แต่เม็ดแร่ขนาดเล็กใช้ $\frac{3}{8}$ นิ้ว $\frac{3}{4}$ นิ้ว $\frac{5}{8}$ นิ้ว

2. ปริมาณแร่ที่โต๊ะขนาด Full Size จะแยกได้ (Through-put) ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเม็ดแร่ เปอร์เซ็นต์ของหัวแร่ที่มีอยู่ในแร่ และความถ่วงจำเพาะของแร่ป้อน แร่หนัก และเม็ดแร่โต สำหรับแร่เม็ดใหญ่แยกได้เร็วกว่าแร่เบาหรือแร่เม็ดเล็ก อาจแยกได้ถึง 4-6 ตันต่อชั่วโมง สลวยโต๊ะแยกแร่แบบละเอียด Slime Table อาจแยกได้เพียง 3-6 ตันต่อ 24 ชั่วโมง
3. ความลาดเอียงของพื้นโต๊ะ (Slope) ความลาดเอียงโดยทั่วไปประมาณ $3/4$ องศา ถึง $11/4$ องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเม็ดแร่หยาบหรือละเอียด และความถ่วงจำเพาะของแร่ด้วย

ตะแกรงมาตรฐาน (SIEVE)



การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเส้นลวดนำมาสานกันทำให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยม และมักบอกขนาดเป็นเมช (Mesh) ตะแกรงขนาด 10 เมช หมายถึงระยะความยาว 1 นิ้วจะมีช่องรูตะแกรงจำนวน 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกจากเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด ดังนั้นคำว่าเมช จึงยังไม่ได้บอกขนาดที่แท้จริงของอนุภาคที่ผ่านลวดตะแกรง จนกว่าจะทราบขนาดเส้นลวดที่โรงงานต่าง ๆ นำมาใช้สานทำตะแกรง วิธีง่าย ๆ อีกวิธีหนึ่งที่จะทราบขนาดของช่องตะแกรงเป็นเมช คือ เมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดและช่องว่าง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้วนำตัวเลขทั้งสองมารวมกัน แล้วหาร 1 ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นเมช เช่น ตะแกรงมีช่องว่าง 0.0015 นิ้ว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดเท่ากับ 0.0025 นิ้ว เมื่อนำไปหาร 1 จะได้เท่ากับ 400 คือขนาดของตะแกรงนั้นเป็น 400 เมช

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในงานคัดขนาดทั่วไป จะอยู่ระหว่าง 3 - 400 เมช เป็นส่วนใหญ่ โดยขนาด 400 เมชเท่ากับขนาดของรูตะแกรง 38 ไมครอน (1 ไมครอน = 1/1000 มิลลิเมตร) สำหรับการคัดขนาดด้วยตะแกรงที่มีรูขนาดเล็กกว่านี้ จะใช้ตะแกรง Micromesh ซึ่งสามารถคัดขนาดได้เล็กถึง

5-10 ไมครอน

การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานนี้ ทำได้โดยการนำเอาอนุภาคของแข็งไปผ่านบนตะแกรงที่มีขนาดต่างๆ แต่หากต้องการคัดขนาดออกมาหลายๆขนาดก็ต้องวางชุดตะแกรง (Stack of Sieve) เป็นหลายๆชั้น ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้คัดขนาดจะติดอยู่กับส่วนล่างของโลหะทองเหลืองรูปกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูงประมาณ 2 นิ้ว ตะแกรงชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ มีฝาปิดครอบที่ตะแกรงชั้นบนสุดและล่างสุดจะมี Pan รองรับ Pan มีรูปร่างลักษณะคล้ายกับตะแกรงทั่วไป แต่ข้างล่างจะเป็นโลหะที่บสำหรับรองรับอนุภาคที่ผ่านตะแกรงชั้นที่เหนือกว่าไว้ หลังการคัดขนาดจะมีอนุภาคค้างอยู่บนตะแกรง เรียกว่า อนุภาคขนาดใหญ่ (Oversize)

สิ่งที่ควรระวังในการคัดขนาด คือ ไม่ควรใช้ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองแต่ละครั้ง เพราะจะเกิดการอุดตันของอนุภาคที่รูตะแกรงมากเกินไป และอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะทำให้อนุภาคเม็ดเล็กๆเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดไป นอกจากนี้ถ้าจะทำการคัดขนาดแบบแห้งจะต้องทำให้ตัวอย่างมีความชื้นน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้องจุลทรรศน์ (Reflected Optical Microscope)



กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ขยายให้เป็นภาพขนาดใหญ่และมองเห็นรายละเอียดมากขึ้น ปกติแล้วตาคนเราจะสามารถจำแนกรายละเอียด (Resolving Power) เพียง 0.25 มิลลิเมตร ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยจะสามารถแยกแยะรายละเอียดได้ถึง $0.25 \mu\text{m}$ โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงกล้องจุลทรรศน์จะหมายถึงกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical or Light Microscope) ซึ่งสามารถขยายภาพสูงสุดไม่เกิน 2000 เท่า ใช้ประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้างานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้หลายสาขาวิชา

กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานโลหวิทยา จะแตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในงานชีววิทยาเนื่องจากโลหะเป็นวัตถุทึบแสง จึงต้องอาศัยหลักการตกกระทบและสะท้อนแสงของผิวหน้าที่เรียบของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดแสงสำหรับกล้องจุลทรรศน์มี 2 แบบคือ แสงธรรมดา และลำแสงอิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง ส่งลำแสงผ่านเลนส์รวมแสงไปตกกระทบบนแผ่นแก้วสะท้อนแสง ทำให้แสงสะท้อนตกลงบนผิวตัวอย่างในลักษณะตั้งฉาก และสะท้อนแสงกลับผ่านเลนส์วัตถุแล้วผ่านเลนส์ตา ก่อนจะผ่านเข้าตาผู้ดู ทำให้เห็นภาพขยายโคจรสร้าง กล้องจุลทรรศน์ธรรมดามีกำลังขยายตั้งแต่ 50 เท่า จนถึง 1000 เท่า เลนส์วัตถุที่ใช้มี 2 แบบ คือ แบบเปียกกับแบบแห้ง แบบแห้งให้กำลังขยายต่ำ แบบเปียกให้กำลังขยายสูง คำว่าเปียกหรือแห้ง หมายถึง สื่อ (Media) ระหว่างเลนส์วัตถุกับตัวอย่าง แบบแห้ง สื่อ คือ อากาศ แบบเปียก สื่อ คือ น้ำมัน ซึ่งมีดัชนีหักเหสูงโดยใช้น้ำมันเพื่อเพิ่มความคมชัดในการขยายภาพ แต่ควรต้องระวังเรื่องการทำความสะอาดเลนส์ด้วย

Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)



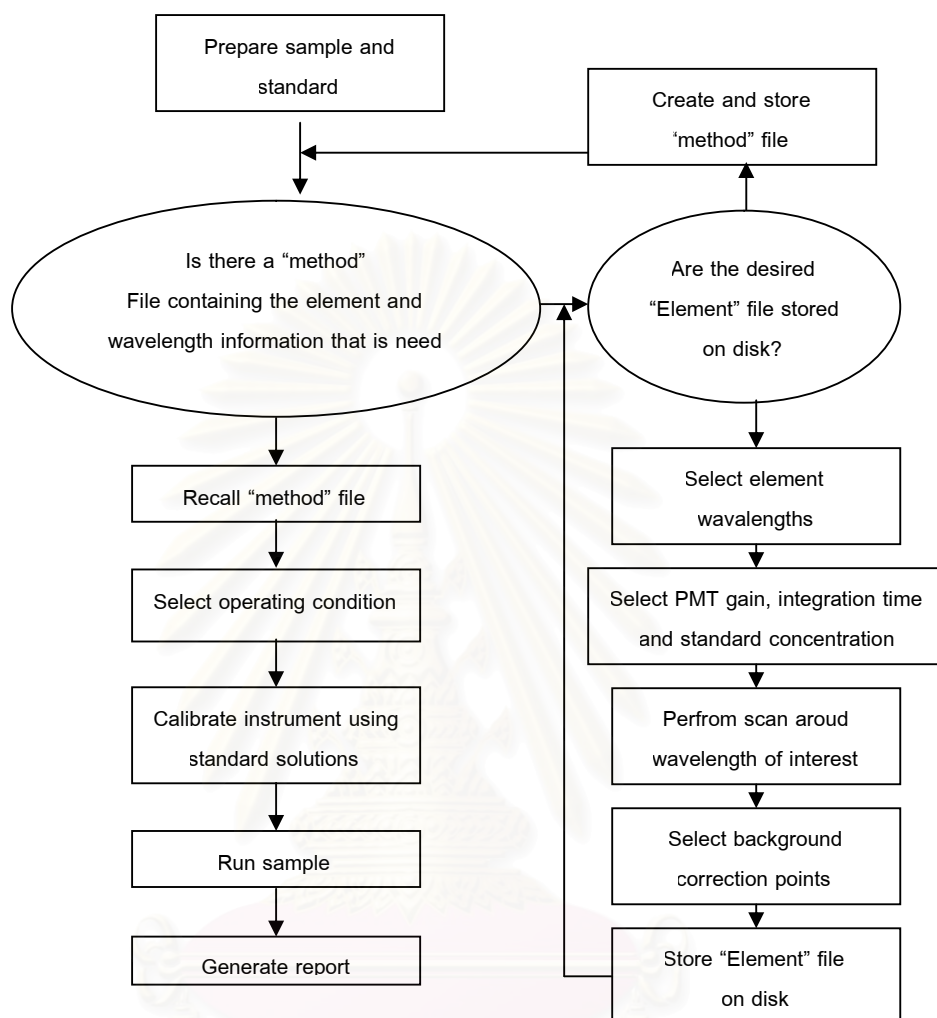
ICP เป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพลาสมาโดยไม่ต้องมีขั้วไฟฟ้า Fassel และเพื่อนร่วมงานในสหรัฐอเมริกาพร้อมกับ Greenfield และเพื่อนร่วมงานแห่งประเทศอังกฤษ ได้เป็นผู้ศึกษาเป็นครั้งแรกที่ใช้ ICP ในทางเคมีวิเคราะห์ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960

หลักการการทำงานของ ICP คือ ปล่อยให้แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคอบ (torch) ซึ่งประกอบด้วยหลอดที่ทำด้วยควอartz (quartz tube) ชั้นนอก 3 ชั้น ที่ปลายคอบด้านบนจะมีท่อกลวงทำด้วยทองแดงล้อมรอบอยู่เรียกว่า "load coil" coil นี้ต่อกับเครื่องส่งความถี่วิทยุ (radio frequency, RF generator) เมื่อให้ RF power (โดยทั่วไปประมาณ 700-1,000 วัตต์) ปล่อยเข้าไปใน load coil จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับเคลื่อนที่ไปมาในหลอดทองแดงหรือเกิดการสั่น (oscillate) ด้วยอัตราเร็วเท่ากับความเร็วของเครื่องส่ง (RF generator) ในเครื่อง ICP จะใช้ความถี่ที่ 27 หรือ 40 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) จากการผ่าน RF เข้าไปในหลอดทองแดงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (H) ขึ้นที่บริเวณปลายคอบ แล้วทำให้เกิดการชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า (eddy current) ไหลผ่านตัวนำแล้วทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น แก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปในแนวตั้งฉากเพื่อให้เกิดการหมุนไปรอบหลอดควอartz นั้นไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องทำให้เป็นตัวนำด้วยการทำให้เกิดสปาร์คหรือปล่อยประจุไฟฟ้าจากเทสลา (tesla discharge) ให้ผ่านแก๊สอาร์กอนเสียก่อน เพื่อให้แก๊สอาร์กอนเกิดไอออนไนส์ได้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะช่วยเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วขึ้น ประกอบกับมีหลอดทองแดงทำหน้าที่เป็นขดลวด ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มขึ้น เรียกว่าเกิด "Inductive Coupling" อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงทำหน้าที่ชนกับอะตอมของแก๊สอาร์กอนต่อไป ทำให้เกิดอิเล็กตรอนมากขึ้นไปอีกเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ กลายเป็นพลาสมา จึงเรียกว่า "Inductively Coupled Plasma" การปล่อยประจุจากพลาสมาจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 1,000-10,000 K และมีความเสถียรดีเมื่อใช้กำลังไฟ 1-2 kW

ลักษณะเฉพาะของ Inductively Coupled Plasma Spectroscopy

- ให้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10,000 K
- สารละลายที่จะวิเคราะห์สามารถอยู่ในพลาสมาได้นานพอโดยทั่วไปจะอยู่ได้นานถึง 2-3 ms ทำให้สารตัวอย่างสามารถแตกตัวเป็นอะตอมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง
- Mateix และ Interement มีน้อย โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อย ทำให้อะตอมอิสระที่เกิดขึ้นในพลาสมามี Life Time ที่ยาวขึ้น
- ในกรณีใช้ Ar-ICP พบว่าให้ electron density สูง แม้จะใส่สารบางชนิดที่ไอออไนส์ได้ง่ายเข้าไปก็จะมีผลต่อจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ดังนั้น การแทรกสอดที่เกิดจากการไอออไนเซชันจะมีผลกระทบน้อย
- Molecular species มีโอกาสเกิดน้อย หรือไม่เกิดเลย เพราะอุณหภูมิสูง ทำให้ลดการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ และ self-absorption
- แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สเฉื่อย จึงไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น
- ไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าเลย

วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Spectroscopy



เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer)



เอกซเรย์ ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffractometer) เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในรูปของสารประกอบ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย เครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคชัน (XRD) ถูกนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าวิจัยสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นฐานรวมทั้งในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยทั่วไปสามารถประยุกต์ใช้ในด้านของธรณีวิทยา ในด้านของเคมีเกี่ยวกับอนินทรีย์สาร ในด้านของฟิสิกส์ ในด้านของการค้นคว้าวิจัยอุปกรณ์และเครื่องมือ ในด้านของอุตสาหกรรมแร่ธาตุต่างๆ

หลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคชัน (XRD) สามารถอธิบายได้คือ ในอะตอมหนึ่งๆของธาตุใดๆจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ นิวเคลียสและอิเล็กตรอน เมื่อนำอิเล็กตรอนซึ่งเป็น Primary Electron ถูกยิงเข้าสู่ผิววัตถุก็จะเคลื่อนที่ไปชนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสของอนุภาคแล้วสะท้อนกลับออกมา อิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับออกมานี้เรียกว่า Backscatter Electron ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกชนได้รับการถ่ายเทพลังงาน Backscatter Electron ทำให้มีพลังงานสูงกว่าแรงดึงดูดจากนิวเคลียสจึงเคลื่อนที่หลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนตัวนี้เรียกว่า Secondary Electron เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดจากวงโคจรชั้นในแล้วอิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกที่มีพลังงานจลน์สูงกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดคายพลังงานออกมา ซึ่งจะถูกรวบรวมโดยเครื่องตรวจจับสัญญาณ และเนื่องจากค่าพลังงานในแต่ละชั้น วงโคจรของแต่ละธาตุ มีค่าเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับขนาดและรัศมีวงโคจรจึงสามารถทราบได้ว่าเป็นธาตุใด ในขณะที่เดียวกันก็มี Primary Electron บางส่วนที่ไม่ชนกับอิเล็กตรอนรอบวัตถุเลยและเคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียส จึงถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสเบี่ยงเบนแนวการเคลื่อนที่ให้วิ่งย้อนวนกลับขึ้นมา อิเล็กตรอนส่วนนี้เรียกว่า Auger Electron

จากสูตร $n = 2ds \sin \theta$ (คือมุมที่กวาดตอนทำ XRD)

ค่าที่สนใจคือค่า d ซึ่งคือระยะระหว่างอะตอมในผลึก อันเกิดจากการเชื่อมพันธะ
ค่า d เป็นค่าเฉพาะในแต่ละชาติ หากทราบค่านี้ก็จะทราบโครงสร้างของธาตุ ทำให้ทราบว่าธาตุที่
วิเคราะห์เป็นธาตุใด และจากสูตร $d = n/(2s \sin \theta)$ ก็จะสามารถบอกชนิดโครงสร้างของ
สารประกอบได้ ในการทำ XRD ดังนั้นเมื่อรังสีกระทบตัวอย่าง รังสีจะเกิดการกระจาย จึงต้องใช้
Collimator และ Crystal มาจับให้รวมกัน เครื่องตรวจจับจึงสามารถตรวจจับจึงสามารถตรวจจับ
และแปลข้อมูลออกเป็นกราฟได้

เครื่องเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี (X-Ray Fluorescence Spectroscopy: XRF)



ปี ค.ศ. 1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-Ray) ซึ่งเป็นสปกตรัมของ
การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1-100 อังสตรอม (\AA) หรือ 0.1-10
nm แต่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 nm รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นพลังงานซึ่งวิเคราะห์
โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโกปี เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์โดยไม่
ต้องทำลายตัวอย่าง (Non-destructive analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆทีละธาตุ
(Sequential) หรือวิเคราะห์หลายธาตุพร้อมกัน (Simultaneous) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์
และโปรแกรมที่ทันสมัย มีความสามารถสูง ได้นำมาใช้ในระบบข้อมูลด้วย ช่วยให้เทคนิคนี้ได้รับ
ความนิยมมากขึ้น ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย เพราะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทาง
เคมีได้แทบทุกชนิดของสารตัวอย่างได้ตั้งแต่ความเข้มข้นสูงไปจนถึงต่ำ บางครั้งสามารถวิเคราะห์
ได้ถึงระดับ Trace Analysis (ppm) ซึ่งวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว

การวิเคราะห์ด้วย XRF มี 2 ระบบคือ ระบบที่วัดความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion System) และระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV)(Energy Dispersion System)

โดยในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRF นั้นมีหลักการและขั้นตอนต่างๆของกระบวนการดังนี้ คือ รังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอกซ์อยู่) จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุดังกล่าวในสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอกซ์ เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นให้เอกซ์ เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านโคลลิเมเตอร์ (Collimator) เพื่อทำให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและเป็นในทิศทางที่ต้องการคือไปกระทบกับ Analysis Crystal ซึ่งอยู่ในสเปกโตรมิเตอร์ที่ทำให้เป็นสเปกตรัมหรือความถี่ต่ำมากๆ Analysis Crystal นี้จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆกัน คล้ายกับเกรตติงทำหน้าที่แยกแสงในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโกปี รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆกันจะถูกวัดความเข้มหรือกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (Scan) ของดีเทคเตอร์ สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมด้วยเครื่อง Printer หรือ Recorder จากข้อมูลที่ได้ทั้งของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สามารถนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิพีฉัตร ปราสาททอง เกิดเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2522 จบการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป สาขาวัสดุศาสตร์(อัญมณีและเครื่องประดับ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ในปีการศึกษา 2543 เข้าศึกษาปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณีและปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 ประสบการณ์ทำงานด้านอัญมณีและเครื่องประดับ ที่บริษัททอมสัน บราเทอร์ จำกัด ในปี 2544 -2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย