

การทำทองให้บริสุทธิ์ด้วยกรดกัดทอง
และสารประกอบซัลไฟต์

GOLD REFINING
WITH AQUAR REGIA AND SULFITE COMPOUND

โดย

ปราโมทย์ ภูพานทอง

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
กระทรวงอุตสาหกรรม

บทคัดย่อ

การนำทองที่มีมลทินเจือปนมาทำให้เป็นทองบริสุทธิ์ด้วยสารละลายกรดกัดทองและสารประกอบซัลไฟด์ ได้กำหนดการทดลองเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย การละลายทองด้วยกรดกัดทอง การตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซัลไฟด์ และกรณีศึกษาโดยการนำผลสรุปจากการทดลองมาใช้กับตัวอย่างทองของภาคเอกชน ซึ่งมีความแตกต่างกันในส่วนผสมทางเคมีและลักษณะรูปร่าง

จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการละลายทองด้วยกรดกัดทองโดยวิธี Simplex Evolutionary operation สรุปได้ว่าสภาวะการทดลองดังต่อไปนี้คือ 1). อัตราส่วนของปริมาณกรดกัดทองต่อน้ำหนักทองตั้งแต่ 5:1 ถึง 6.67:1 2). อุณหภูมิของสารละลายตั้งแต่ 80-86°C และ 3). ระยะเวลาตั้งแต่ 90-120 นาที จะสามารถละลายทองได้มากที่สุดตั้งแต่ 99.94-100% และในการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซัลไฟด์พบว่าการตกตะกอนทองที่อุณหภูมิสารละลายสูงกว่า 60°C จะใช้สารเคมีมากกว่าที่อุณหภูมิปกติประมาณ 3 เท่า แต่จะใช้เวลาน้อยกว่าประมาณ 8 เท่า

เมื่อนำผลสรุปจาก Simplex Evolutionary Operation มาใช้ทดลองกับตัวอย่างเศษทองจากอุตสาหกรรมต่างๆ นั้นสามารถทำได้ในเชิงพาณิชย์ โดยได้ความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99% และสูญเสียทองในกระบวนการแยกสกัดทองน้อยกว่า 1%

ABSTRACT

The extraction of Gold from impure Gold with Aquar regia and the sulfite compound has been investigated, composing of Aquar regia leaching, sulfite precipitation and Case Study of factory scraps.

The optimum condition conducted by Simplex Evolutionary operation as the following: 1. ratio between Aquar regia concentration and metallic gold, 5:1 to 6.67:1
2. temperature, 80-86 °C 3. duration, 90-120 mins yielded 99.94-100 % of Gold dissolution. Gold precipitation with the sulfite compound at temperature above 60°C Consumed greater than 3 times at room temperature and took less than 8 times of duration.

In case study of factory scraps, with optimum condition, the purity of Gold 99.99% was obtained and less than 1% loss in the process.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
รายการตารางประกอบ	iii
รายการรูปประกอบ	iv
บทคัดย่อ	v
ABSTRACT	vi
คำขอบคุณ	vii
1. บทนำ	1
2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	3
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	3
2.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	3
2.3 วิธีการวิเคราะห์	4
3. การทดลอง	4
3.1 การทดลองหาผลของตัวแปรในการละลายทองและทองผสม (ทองเค) ด้วยกรดกัดทอง	5
3.1.1 ปริมาณกรดกัดทอง	5
3.1.2 ระยะเวลา	5
3.1.3 อุณหภูมิ	5
3.1.4 ความเข้มข้นของกรดกัดทอง	5
3.1.5 เปรียบเทียบอัตราการละลายของทองเค (ทองผสมเงิน)	5
3.1.6 เปรียบเทียบอัตราการละลายของทองเค (ทองผสมทองแดง)	6
3.1.7 การหาสภาวะเหมาะสมของตัวแปรในการละลายทองด้วยกรดกัดทอง โดยวิธี Simplex Evolutionary Operation	6
3.2. การทดลองศึกษาผลของตัวแปรในการตกตะกอนทองจากสารละลายกรด กัดทองโดยใช้สารประกอบซิลไฟด์	6
3.2.1 ปริมาณสารประกอบซิลไฟด์ต่อการตกตะกอนทองที่ความเข้มข้นของสาร ละลายทองต่างกัน	6
3.2.2 อุณหภูมิของสารละลายทองต่อการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบ ซิลไฟด์	7
3.2.3 เปรียบเทียบการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซิลไฟด์ต่างชนิด	7
3.2.4 การตกตะกอนทองด้วยกรดออกซาลิก	7
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	8

ต่อ	หน้า
4.1. ผลการทดลองผลกระทบของตัวแปรในการละลายทองบริสุทธิ์และทองผสม (ทองเค) ด้วยกรดกัดทอง	8
4.1.1 ผลของปริมาณกรดกัดทองต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	8
4.1.2 ผลของเวลาต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	10
4.1.3 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการละลายของทอง	12
4.1.4 ผลของความเข้มข้นของกรดกัดทองต่ออัตราการละลายของทอง	18
4.1.5 ผลการเปรียบเทียบอัตราการละลายของทองเค (ทองผสมเงิน)	20
4.1.6 ผลการเปรียบเทียบอัตราการละลายของทองเค (ทองผสมทองแดง)	26
4.1.7. ผลของการหาสภาวะเหมาะสมในการละลายทองด้วยกรดกัดทอง โดยวิธี Simplex Evolutionary Operation	28
4.2 ผลของตัวแปรในการตกตะกอนทองจากสารละลายกรดกัดทองโดยใช้สารประกอบซิลไฟด์	29
4.2.1 ผลของปริมาณสารประกอบโบซิลไฟด์ต่อการตกตะกอนทองที่มีความเข้มข้นของสารละลายทองต่างกัน	29
4.2.2 ผลของอุณหภูมิของสารละลายทองต่อการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซิลไฟด์	31
4.2.3 ผลเปรียบเทียบการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซิลไฟด์ต่างชนิด	33
4.2.4 ผลการตกตะกอนทองด้วยกรดออกซาลิก	35
5. กรณีศึกษาการนำผลสรุปจากการทดลองในห้องปฏิบัติการไปใช้กับตัวอย่างทองจากแหล่งที่มาต่างกัน	38
5.1 กรณีศึกษาที่ 1 ตัวอย่างทองจากบริษัทชลสิน จำกัด ชุดที่ 1	39
5.2 กรณีศึกษาที่ 2 ตัวอย่างทองจากบริษัทชลสิน จำกัด ชุดที่ 2	44
5.3 กรณีศึกษาที่ 3 ตัวอย่างทองจาก Steel Wool หลังการทำ Electrowinning	49
5.4 กรณีศึกษาที่ 4 ตัวอย่างตะกอนทองจากน้ำยาลอกทอง	53
6. สรุปผลการทดลอง	56
7. เอกสารอ้างอิง	58

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1. ผลของปริมาณกรดกัดทองต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	9
2. ผลของระยะเวลาต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	11
3. ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการละลายของทองในช่วงเวลา 30 - 120 นาที	13
4. แสดงค่า $1 - X_{\infty}$ และค่า Slope (log K)	16
5. แสดงค่า log K และค่า Activation Energy (E)	17
6. ผลของความเข้มข้นของกรดกัดทองต่อการละลายของทองในช่วง 30 - 120 นาที	19
7. เปรียบเทียบอัตราการละลายของทองบริสุทธิ์และทองเค (ทองผสมเงิน)	21
8. เปรียบเทียบอัตราการละลายของทองบริสุทธิ์และทองเค (ทองผสมทองแดง)	27
9. รายละเอียดของตัวแปรในการหาสมภาวะที่เหมาะสมของการละลายทองด้วย กรดกัดทองโดยวิธี Simplex Evolutionary Operation	28
10. SIMPLEX - 1 (Au-LEACHING)	28
11. SIMPLEX - 2 (Au-LEACHING)	29
12. SIMPLEX - 3 (Au-LEACHING)	29
13. ผลของโซเดียมไบซัลไฟด์ต่อการตกตะกอนทอง	31
14. ผลของอุณหภูมิต่อการตกตะกอนทองด้วยโซเดียมไบซัลไฟด์	32
15. เปรียบเทียบการใช้สารประกอบซัลไฟด์ต่างชนิดกันในการตกตะกอนทอง	33
16. ผลของกรดออกซาลิกต่อการตกตะกอนทอง	35
17. ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1	43
18. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 1	43
19. ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 2	47
20. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 2	47
21. ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3	52
22. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 3	52
23. ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 4	55
24. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 4	55

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.	ลักษณะตัวอย่างเม็ดทองที่ใช้ในการทดลอง	3
2.	ผลของปริมาณกรดกัดทองต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	9
3.	ผลของเวลาต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์ในกรดกัดทอง	11
4.	ผลของเวลาต่ออัตราการละลายของทองในช่วงอุณหภูมิ 25 - 70 °C	14
5.	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	15
6.	การหาค่า Rate Constant (K) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (1 - X _v) และระยะเวลา	17
7.	การหาค่า Activation Energy (E) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log K และ 1 / T	18
8.	ผลของความเข้มข้นของกรดกัดทองต่ออัตราการละลายของทองบริสุทธิ์	20
9.	เปรียบเทียบอัตราการละลายของทองบริสุทธิ์กับทองเค (ทองผสมเงิน)	22
10.	ทองเค (ทองผสมเงิน) หลังจากแช่ในกรดกัดทอง	23
11.	X - RAY DIFFRACTION PEAK ของทองเค (ทองผสมเงิน)	24
12.	X - RAY DIFFRACTION PEAK ของทองเค (ทองผสมเงิน) หลังการแช่ ด้วยกรดกัดทอง	25
13.	เปรียบเทียบอัตราการละลายของทองบริสุทธิ์กับทองเค (ทองผสมทองแดง)	27
14.	ผลของอุณหภูมิต่อการตกตะกอนทองด้วยโซเดียมโบรไมด์	32
15.	เปรียบเทียบการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซัลไฟด์ต่างชนิดกัน	34
16.	การตกตะกอนทองด้วยกรดออกซาลิก	35
17.	ลักษณะทองที่ได้จากการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซัลไฟด์	37
18.	ลักษณะทองที่ได้จากการตกตะกอนทองด้วยกรดออกซาลิก	37
19.	แผนภูมิแสดงกรรมวิธีการทำทองให้บริสุทธิ์ กรณีศึกษาที่ 1	40
20.	ตัวอย่างทองจากบริษัทชลสิน จำกัด ชุดที่ 1	41
21.	การละลายตัวอย่างทองด้วยกรดกัดทอง	41
22.	การตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซัลไฟด์	42
23.	ทองบริสุทธิ์หลังการตกตะกอนและหลอมเป็นโลหะ	42
24.	ตัวอย่างทองจากบริษัทชลสิน จำกัด ชุดที่ 2	45
25.	แผนภูมิแสดงกรรมวิธีการทำทองเปอร์เซ็นต์ต่ำให้บริสุทธิ์ กรณีศึกษาที่ 2	46

รูปที่		หน้า
26.	การแยกชั้นของเหล็กและทองจากตัวอย่างทองชุดที่ 2	48
27.	ตัวอย่าง Steel Wool หลังการทำ Electrowinning	50
28.	แผนภูมิแสดงกรรมวิธีการทำทองให้บริสุทธิ์ จาก Steel Wool กรณีศึกษาที่ 3	51
29.	ตัวอย่างผงทองอบแห้งจากน้ำยาลอกทอง	53
30.	แผนภูมิการแยกทองจากตะกอนทองของน้ำยาลอกทอง กรณีศึกษาที่ 4	54

1. บทนำ

ทองคำ⁽¹⁾ เป็นโลหะมีค่าที่มนุษย์รู้จักมาช้านาน ด้วยสีเหลืองเฉพาะตัว ร่วมกับผิวที่มันวาว ทำให้เป็นที่ชื่นชมแก่ผู้พบเห็น ในสมัยโบราณผู้คนนิยมทองคำเพราะมีสีเหมือนดวงอาทิตย์ ซึ่งเปรียบเสมือนพระเจ้าผู้ให้ชีวิตแก่มวลมนุษย์ ในด้านความคงทนทองคำสามารถทนต่อการผุกร่อนได้ดีเยี่ยม ดังจะเห็นได้จากเครื่องทองโบราณที่ขุดพบจากแหล่งอารยธรรมเก่าแก่หรือหลุมฝังศพ เมื่อนำมาทำความสะอาดก็จะส่งประกายแวววาวเหมือนใหม่ หรือแม้แต่ถูกแช่ในน้ำทะเลเป็นระยะเวลากว่า 100 ปี ของซากเรือที่ค้นพบส่วนของทองและสวดลายอันละเอียดอ่อนบนชิ้นทองยังคงสภาพเดิมทุกประการ ทั้งนี้เนื่องจากทองไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนได้ง่าย จึงไม่เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ ดังนั้นทองจึงไม่ละลายในกรดธรรมดาทั่วไป นอกจากกรดกัดทอง คุณลักษณะพิเศษของทองคำบริสุทธิ์อีกอย่างหนึ่งคือ มีเนื้อค่อนข้างอ่อน สามารถตีแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ แค้ไหนก็ได้ คนโบราณรู้เรื่องนี้มานานแล้วและใช้แผ่นทองในการตกแต่งวัดและวัง แม้ในปัจจุบันเรายังคงใช้กันอยู่และที่พบเห็นได้ง่ายตามวัดวาอารามอีกอย่างหนึ่งคือ “ทองคำเปลวที่ใช้ปิดองค์พระพุทธรูป” ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางมาก นอกจากนี้ยังมีการนำทองคำเปลวมาประดับอาหารเพื่อรับประทาน โดยมีความเชื่อว่าทองคำบริสุทธิ์สามารถรักษาโรคและทำให้สุขภาพแข็งแรง คุณลักษณะพิเศษอีกอย่างของทองคือการดึงเป็นเส้นยาวต่อเนื่องโดยไม่ขาด จนกระทั่งมีขนาดเล็กราวกับเส้นด้าย ในสมัยโบราณได้ใช้ด้ายทองนี้ในการทอสวดลายแซมกับผ้า เพื่อใช้เป็นเครื่องนุ่งห่มในหมู่ราชวงศ์ชั้นสูง จากคุณสมบัติพิเศษดังกล่าวมาแล้วทองคำจึงมีผู้นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ รองลงมาจะใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมเครื่องบิน ดาวเทียม และยานอวกาศ แม้แต่การก่อสร้างตึกระฟ้า มักจะใช้กระจกฉาบโอทองเพื่อช่วยสะท้อนแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในตึกต่ำกว่าภายนอก

แหล่งกำเนิดทองคำแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม “Primary Sources” เป็นทองคำที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ กระจายอยู่ตามที่ต่าง ๆ ทั่วโลก แต่แหล่งใหญ่ที่สุดในโลกอยู่ที่ทวีปแอฟริกาใต้ ถูกค้นพบตั้งแต่ พ.ศ.2429 ที่เมืองวิทวอเตอร์สแลนด์รึฟ ปัจจุบันยังคงผลิตทองประมาณ 30% ของผลผลิตทั่วโลก ประเทศที่ผลิตรองลงมาคือ รัสเซีย อเมริกา ออสเตรเลีย และแคนาดา กลุ่มที่สองคือกลุ่ม “Secondary Sources” ตามความเป็นจริงแล้วก็คือ ทองในกลุ่มที่ 1 ซึ่งถูกแปรรูปไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว เมื่อหมดอายุการใช้งานก็จะถูกรวบรวมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) หรือแยกเอาส่วนที่เป็นทองคำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องประดับที่ชุบเคลือบผิวด้วยทอง หรือในอุตสาหกรรมทำเครื่องประดับและการทำทองรูปพรรณ ซึ่งจะมีเศษทองจากการขึ้นรูป การฉลุลาย การแตงผิว เศษทองเหล่านี้จะถูกเก็บไว้เป็นวัตถุดิบ ในการแยกสกัดเอาทองและโลหะมีค่าอื่นมาใช้ประโยชน์ต่อไป กรรมวิธีในการแยกสกัดทอง จาก Secondary Sources เหล่านี้จะต้องใช้การหลอมรวมกับโลหะอื่นเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ทอง และการแยกสกัดด้วยสารละลายเคมี ในสมัยโบราณช่างทองจะมีวิธีทำทองให้บริสุทธิ์โดยการผสมเศษทองกับโลหะทองแดงและเงิน ตามสูตรที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นสูตรลับไม่ถ่ายทอดให้ใครง่าย ๆ นอกจากลูกหลานที่จะมารับช่วงต่อ นำโลหะผสมทั้ง 3 ชนิด ไปหลอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเทโลหะหลอมละลายลงน้ำ เพื่อทำเป็นเม็ดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า Shot จากนั้นจึงนำ Shot

ไปแช่ในน้ำกรดเพื่อละลายเงินและทองแดง จนเหลือแต่ผงทองเหลืองอร่าม เมื่อนำผงทองนี้ไปหลอมจะ
ได้โลหะทองที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99%

ในปัจจุบันได้มีการทำทอง 99.99% โดยวิธีไฟฟ้า “Electro Refining” แต่มีการใช้ค่อนข้างน้อย
เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพง และในขั้นตอนการเตรียมสารละลายทองยังคงต้องใช้กรดกัดทอง ซึ่งเป็น
ส่วนหนึ่งของกรรมวิธีการทำทองให้บริสุทธิ์โดยวิธีเคมี ดังนั้นโครงการวิจัยการทำทองให้บริสุทธิ์โดยใช้
กรดกัดทองและสารประกอบซัลไฟด์จึงเกิดขึ้น เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการแยกสกัดทองด้วย
กรดกัดทองอย่างถูกวิธีให้กับผู้ที่สนใจหรือผู้ที่ประกอบอาชีพนี้อยู่แล้ว

การวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย 1). การศึกษาการละลายทองด้วยกรดกัดทอง ซึ่งจะ
ใช้ทองบริสุทธิ์และทองเคเป็นวัตถุดิบในการทดลอง 2). การศึกษาการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบ
ซัลไฟด์โดยใช้สารละลายทองบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น และ 3). กรณีศึกษาโดยการนำตัวอย่างทองจากภาค
เอกชนมาทดลองกับผลสรุปที่ได้รับจาก 2 ส่วนแรก