

รายงานวิชาการ

ฉบับที่ สอพ. 10/2549

การแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์
ด้วยกรดออกซาลิก

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
นายอนุสรณ์ เนื่องผลมาก

ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
นายสุรพงษ์ เชียงทอง

หัวหน้ากลุ่มวิเคราะห์ นางนันทนา กันยานุวัฒน์

จัดพิมพ์โดย กลุ่มวิเคราะห์ สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ. 10400
โทรศัพท์ 0 2463 5942 โทรสาร 0 2464 2054

พิมพ์ครั้งที่ 1 กันยายน 2549
จำนวน 20 เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

ผลการรัตน์ หาญวิวัฒน์วงศ์.

การแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ด้วยกรดออกซาลิก/ โดย ผลการรัตน์ หาญวิวัฒน์วงศ์.--

กรุงเทพฯ :

กลุ่มวิเคราะห์ สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549.

จำนวน 35 หน้า

รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 10/2549.

ISBN 974-7783-27-4

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	VI
คำขอบคุณ	VII
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
กระบวนการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์	4
กระบวนการ inquartation และ parting	4
กระบวนการกรดกัดทอง	7
ทองคำ ชุมทรัพย์อันมีค่า	12
ทองคำ ราชแห่งโลหะ	12
ความบริสุทธิ์ของทองคำ	13
การกำหนดน้ำหนักทองคำ	13
การใช้ประโยชน์ทองคำ	14
วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	16
เครื่องมืออุปกรณ์	16
สารเคมี	16
ขั้นตอนการดำเนินการ	16
การเตรียมสารละลายเริ่มต้น	16
การทดลอง	17
ผลการทดลองและบทวิจารณ์	19
อิทธิพลของสภาพความเป็นกรด	20
อิทธิพลของอุณหภูมิ	22
ความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้น	25
ปริมาณการใช้กรดออกซาลิก	27
ระยะเวลา	29
องค์ประกอบทางเคมีของทองคำที่ตกตะกอนได้	31
บทสรุป	33
ข้อควรระวัง	33
เอกสารอ้างอิง	35

สารบัญรูป

	หน้า
1 แผนผังกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการ inquantation และ parting _____	5
2 แผนผังกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกรดกัดทอง _____	6
3 เครื่องมืออุปกรณ์ _____	18
4 แผ่นโลหะทองคำที่ใช้ในการทดลอง _____	19
5 เปรียบเทียบผลกระทบของสภาพความเป็นกรดที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิ 60 และ 90°ซ _____	21
6 เปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำที่สภาพความเป็นกรดต่าง ๆ _____	24
7 เปรียบเทียบผลกระทบของความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้น _____	26
8 เปรียบเทียบการใช้กรดออกซาลิกในการตกตะกอนทองคำจากสารละลายที่มีทองคำอยู่ 0.5 กรัม ใน 100 และใน 200 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90°ซ _____	28
9 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิต่าง ๆ _____	30
10 โลหะทองคำที่ได้จากการรีดักชันด้วยกรดออกซาลิก _____	31

สารบัญตาราง

	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของทองคำเกรดต่างๆ ตาม ASTM B 562-95 _____	11
2 อัตราส่วนประกอบของโลหะทองคำผสม _____	15
3 ผลของสภาพความเป็นกรดที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำ ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°ซ _____	20
4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการตกตะกอนทองคำที่สภาพความเป็นกรดต่าง ๆ _____	22
5 ผลของความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้นที่มีต่อการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิ 80 และ 90°ซ _____	25
6 ปริมาณการใช้กรดออกซาลิกในการตกตะกอนทองคำ _____	27
7 ผลของเวลาที่มีต่อการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิต่าง ๆ _____	29
8 ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนทองคำที่ได้ _____	32

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
ISO	=	International Organization for Standard
HNO ₃	=	กรดไนตริก
HCl	=	กรดไฮโดรคลอริก
H ₂ O	=	น้ำ
Ag	=	เงิน
Au	=	ทองคำ
Cu	=	ทองแดง
Pd	=	แพลเลเดียม
Fe	=	เหล็ก
Pb	=	ตะกั่ว
Si	=	ซิลิคอน
Mg	=	แมกนีเซียม
As	=	สารหนู
Bi	=	บิสมัท
Sn	=	ดีบุก
Cr	=	โครเมียม
Ni	=	นิกเกิล
Mn	=	แมงกานีส
°ซ	=	องศาเซลเซียส
ก./มล.	=	กรัม/มิลลิลิตร
มล.	=	มิลลิลิตร

การแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ด้วยกรดออกซาลิก

โดย ผการัตน์ หาญวิวัฒนวงศ์

บทคัดย่อ

ศึกษาค้นคว้าการแยกสกัดทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยกรดออกซาลิก โดยใช้แผ่นโลหะทองคำที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณทองคำด้วยวิธี Cupellation โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการแยกสกัดทองคำ เช่น สภาพความเป็นกรด อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลายทองคำ เริ่มต้น ปริมาณกรดออกซาลิกที่ใช้ และระยะเวลาในการแยกสกัดทองคำ

การแยกสกัดทองคำด้วยกรดออกซาลิก 7 มล. จากสารละลายที่มีเนื้อทองคำอยู่ 0.5 กรัมใน 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของกรด 0.5 % ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 1 ชั่วโมง สามารถแยกสกัดทองคำที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % ด้วยอัตราการสูญเสียทองคำในระหว่างกระบวนการน้อยกว่า 0.3 %

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณคุณสุรพงษ์ เชียงทอง ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน ที่ให้การสนับสนุนในการจัดทำเอกสารวิชาการ คุณนันทนา กันยานุวัฒน์ หัวหน้ากลุ่มวิเคราะห์ ที่ให้คำปรึกษาอันมีค่าและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการจัดทำเอกสาร และคุณชัยณรงค์ หาญวิวัฒน์วงศ์ ที่ช่วยเขียนกราฟผลการทดสอบให้เป็นอย่างดี และเพื่อนร่วมงานในกลุ่มวิเคราะห์ที่ให้ความสนใจด้วยดีตลอดมา

บทนำ

ทองคำมีมูลค่าสูงให้หลงใหล ผู้คนทั่วโลกล้วนมีความปรารถนาอยากได้ไว้ครอบครอง อีกทั้งแรงกระตุ้นจากราคาทองคำที่พุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่ผันผวน ทั้งจากราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้อัตราเงินเฟ้อสูงขึ้นมาก ประกอบกับทองคำเป็นโลหะที่หาได้ยากยิ่งบนพื้นพิภพ จึงผลักดันให้ผู้คนออกเสาะแสวงหาแหล่งแร่ทองคำเพิ่มเติมในดินแดนใหม่ๆ ทั่วทุกภูมิภาคของโลก ไม่ว่าจะเป็นทวีปอเมริกา แอฟริกา หรือออสเตรเลีย รวมทั้งมีการพัฒนาปรับปรุงกรรมวิธีในการแยกสกัดทองคำจากสินแร่เกรดต่ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่พบแหล่งแร่ทองคำอยู่ในหลายจังหวัด รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมให้เอกชนสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ เพื่อเสริมสร้างการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยเน้นการบริหารจัดการทรัพยากรแร่และอุตสาหกรรมเหมืองแร่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอย่างมีดุลยภาพทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม การสำรวจดังกล่าวได้ประสบผลสำเร็จในระดับที่ค้นพบแหล่งแร่ทองคำในเชิงพาณิชย์ และมีเหมืองแร่ทองคำที่ทันสมัยที่สามารถผลิตโลหะทองคำปณเงินจากสินแร่ทองได้แล้ว เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2544 อันก่อให้เกิดการจ้างงานและเป็นการเพิ่มมูลค่าการใช้แร่ในประเทศ

ในการแยกสกัดทองคำออกจากสินแร่ทองคำ ใช้กรรมวิธีสกัดด้วยสารละลายเคมี แล้วแยกสกัดโลหะทองคำออกด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี นำมาหลอม จะได้แท่งโลหะทองคำปณเงิน หลังจากนั้นจะส่งแท่งโลหะนี้ไปผ่านกระบวนการแยกสกัดทองคำและเงินให้บริสุทธิ์ที่ประเทศออสเตรเลีย

ในการทำเหมืองแร่ จะมีการจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่ โดยรัฐบาลจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่โลหะทองคำที่สกัด 2.5 % ของราคาประกาศโลหะทองคำ (บาทต่อกรัม) และโลหะเงินที่สกัด 10 % ของราคาประกาศโลหะเงิน (บาทต่อกรัม) โดยถือตามรายงานผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ทองคำและเงินของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เป็นเกณฑ์ในการจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่ ดังนั้น การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับชนิดของตัวอย่างเพื่อผลการทดสอบที่ได้มีความถูกต้อง (accuracy) แม่นยำ (precision) และน่าเชื่อถือ ก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน เพื่อให้การจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่ได้อย่างถูกต้อง

ในการทดสอบหาปริมาณของทองคำและเงินในโลหะทองคำปณเงินนั้น กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ โดยกลุ่มวิเคราะห์ได้เลือกใช้วิธีการทดสอบที่เรียกว่า Cupellation ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐานสากลที่ประเทศต่างๆ ทั่วโลกนิยมใช้ในการทดสอบหาปริมาณทองคำและเงินในตัวอย่างที่มีปริมาณทองคำและเงินสูง เช่น ทองผสม ทองรูปพรรณ และทองแท่ง ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีนี้มีความถูกต้อง และความแม่นยำสูง

การทดสอบด้วยวิธี cupellation ตามมาตรฐานของ ASTM E 1335 (ASTM, 2004) หรือ ISO 11426 (ISO, 1993) ทำการทดสอบโดยการนำตัวอย่างที่ต้องการจะวิเคราะห์พร้อมกับตัวอย่าง

มาตรฐานเปรียบเทียบ (proof standard) มาทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยการเตรียมตัวอย่างเปรียบเทียบให้ม้องค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับตัวอย่างที่จะวิเคราะห์เท่าที่จะเป็นไปได้ แล้วนำน้ำหนักของทองคำและเงินที่สูญหายหรือเพิ่มขึ้นในตัวอย่างเปรียบเทียบหลังผ่านการทดสอบไปใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ทองคำและเงินในตัวอย่างที่วิเคราะห์ เพื่อผลวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

ทองคำที่นำมาใช้ทำตัวอย่างเปรียบเทียบจะต้องเป็นทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งทองคำประเภทนี้จะมีราคาแพงมาก ประกอบกับงบประมาณที่ได้รับจัดสรรมีจำกัด ไม่เพียงพอที่จะจัดซื้อได้ ซึ่งถ้าการทดสอบไม่สามารถดำเนินการได้ จะทำให้การจัดเก็บค่าภาคหลวงมีปัญหา ด้วยเหตุนี้ กลุ่มวิเคราะห์ สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐานจึงมีแนวคิดที่จะหมุนเวียนทองคำที่ได้จากการทดสอบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ด้วยการทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยวิธีการตกตะกอน (precipitation)

การแยกสกัดทองคำให้อยู่ในรูปของโลหะทองคำจะใช้สารเคมีชนิดรีดิวซ์ซึ่ง (reducing agent) ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ก็คือ เฟร์รัสซัลเฟต กรดออกซาลิก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

สารเคมีที่ใช้ในการแยกสกัดทองคำมีผลกับความบริสุทธิ์ของทองคำ จึงควรเลือกใช้สารเคมีให้เหมาะสมกับความบริสุทธิ์ของทองคำที่ต้องการ เช่น ในกรณีที่ต้องคำนึงถึงแพลทินัม การใช้กรดซัลฟูริก หรือการใช้เหล็กซัลเฟต แม้จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจในการตกตะกอนทองคำ แต่ก็จะมีโลหะแพลทินัมตกตะกอนลงมาด้วย ก็ไม่ควรนำสารเคมีตัวนี้มาใช้ แต่การใช้กรดออกซาลิกสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากกรดออกซาลิกเป็นสารเคมีที่เลือกตกตะกอนเฉพาะทองคำ

ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยนี้ จึงเลือกวิธีการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ด้วยการรีดักชันกับกรดออกซาลิก โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการแยกสกัดทองคำ เช่น สภาพความเป็นกรด (acidity) อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลายทองคำเริ่มต้น (dilution) ปริมาณกรดออกซาลิกที่ใช้ และระยะเวลาในการตกตะกอน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้กรดออกซาลิกสกัดทองคำออกมาได้อย่างสมบูรณ์
2. เพื่อหมุนเวียนทองคำที่ได้จากการวิเคราะห์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
3. เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการสกัดทองคำด้วยกรดออกซาลิก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแยกสกัดทองคำให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นอีกวิธีหนึ่ง
2. ทำให้มั่นใจได้ว่ามีโลหะทองคำใช้ในการทดสอบ
3. ช่วยประหยัดงบประมาณรายจ่าย และทดแทนการนำเข้า

4. สามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้กับเศษทองชนิดอื่นๆ ได้
5. เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงวิธีการให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. กระบวนการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ (gold refining process)

ในทางปฏิบัติ การแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์จะต้องกระทำอย่างพิถีพิถันตามระเบียบวิธีเพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถแยกสกัดทองคำออกมาได้อย่างสมบูรณ์ ความบริสุทธิ์ของทองคำที่ได้ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่นำมาใช้ในการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์และทักษะในการดำเนินงาน สิ่งเจือปนบางชนิดไม่อาจกำจัดได้ในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จึงควรระมัดระวัง เช่น โลหะกลุ่มแพลทินัม บางเทคนิคก็กำจัดออกไม่ได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบกับโลหะผสมชนิดใหม่ในเรื่องของเจดสีและคุณสมบัติหรือในกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสิ่งเจือปน ถ้ากำจัดสิ่งเจือปนไม่หมด ก็นำไปสู่ปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการหมุนเวียนโลหะทองคำกลับมาใช้ใหม่

1.1 กระบวนการ inquartation และ parting

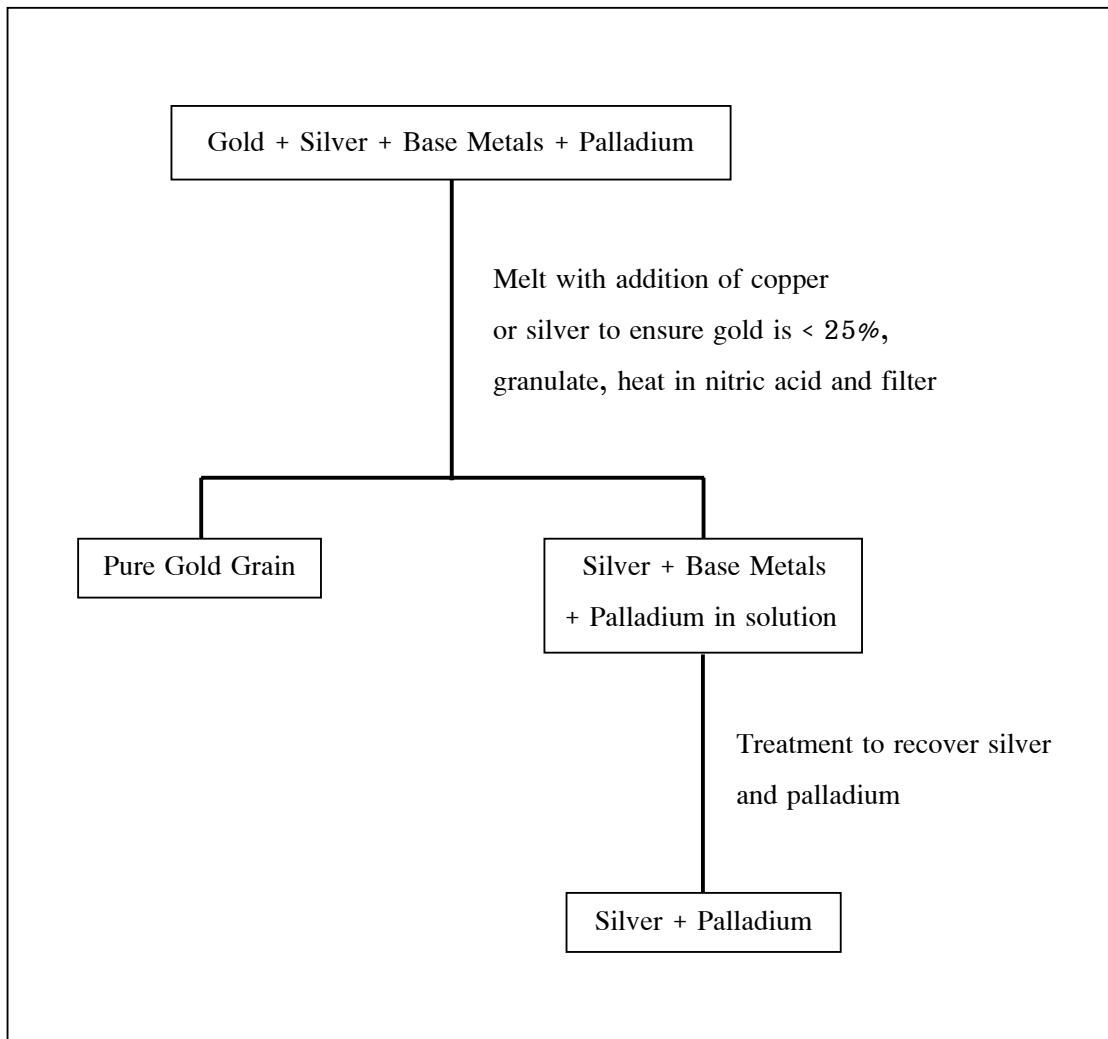
เทคนิคนี้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ Fire assay ที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณทองคำ ในกระบวนการนี้จะเติมเงินหรือทองแดงลงในเศษทองคำก่อนนำไปหลอม เพื่อให้โลหะผสมที่ได้หลังจากหลอมแล้วมีทองคำอยู่ประมาณ 25 % (มีทองคำอยู่หนึ่งในสี่ของโลหะผสม) หรือน้อยกว่านั้น การเติมโลหะลงไปเช่นนี้เรียกว่า inquartation อัตราส่วนดังกล่าวช่วยให้โลหะพื้นฐานและเงินสามารถละลายออกมาได้ด้วยกรดไนตริกจนเกือบหมด

การหลอมโลหะผสมนี้ ควรจะเป็นเม็ดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าให้มากขึ้นในการสัมผัสกับกรดไนตริก ทำให้การละลายของโลหะพื้นฐานและเงินดีขึ้น โดยเหลือโลหะทองคำไว้ หลังจากนั้นนำโลหะทองคำที่ได้ไปล้าง แล้วทำให้แห้ง การทำปฏิกิริยาด้วยกรดเพื่อแยกโลหะเงินและโลหะพื้นฐานออกจากโลหะทองคำ เราเรียกว่า parting เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการดำเนินการขนาดเล็กถึงขนาดกลาง

รูปที่ 1 แสดงกระบวนการ inquartation และ parting

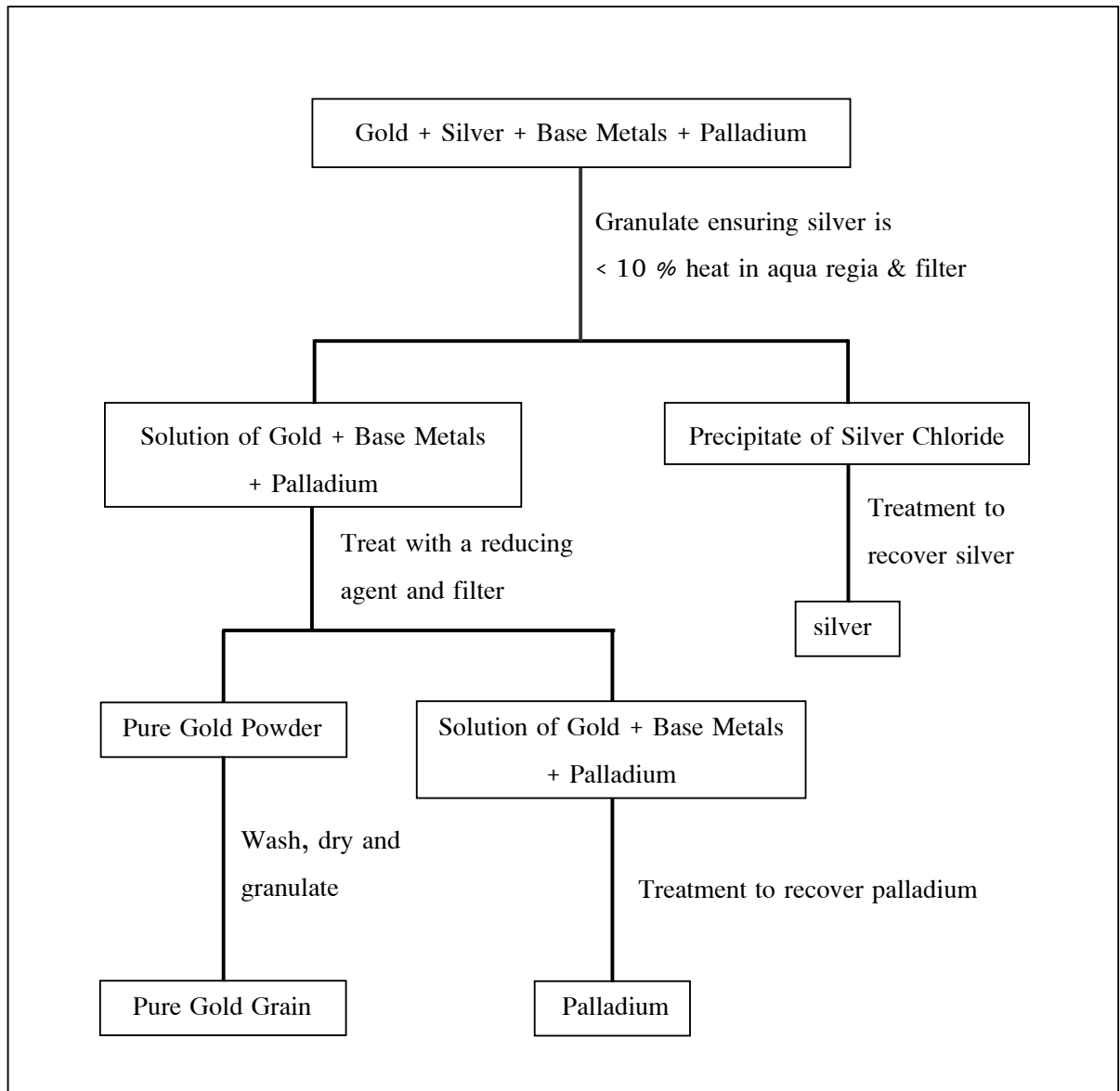
ตามปกติ แพลเลเดียม สามารถละลายได้ในกรดไนตริก ยกเว้นโลหะกลุ่มแพลทินัมบางชนิดจะยังคงเหลืออยู่ ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก ๆ จึงจำเป็นต้องทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีอื่นต่อไป

เมื่อนำเศษทองคำที่ไม่มีโลหะกลุ่มแพลทินัมมาทำให้บริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค inquartation และ parting สามารถแยกสกัดโลหะทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99 % วิธีการนี้เหมาะสำหรับเศษทองคำเปอร์เซ็นต์ต่ำ นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาใช้เป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการลดปริมาณเงินที่มีอยู่ในเศษทองคำที่จะนำมาทำให้บริสุทธิ์จาก 40 - 50 % เหลือต่ำกว่า 10 % หลังจากนั้นจึงนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการกรดกัดทอง ดังแสดงในรูปที่ 2 (Corti, 2004)



รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการ inquartation และ parting

ที่มา : Corti, 2005



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกรดกัดทอง

ที่มา : Corti, 2005

1.2 กระบวนการกรดกัดทอง (aqua regia process)

เทคนิคการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ด้วยกรดกัดทองนี้ เป็นวิธีการทางเคมีที่ค่อนข้างเก่าแก่วิธีหนึ่ง โดยการนำทองคำมาละลายด้วยกรดกัดทอง จะได้สารละลายทองในรูปของคลอไรด์ ปฏิกริยาระหว่างทองคำกับกรดกัดทองในตอนเริ่มต้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้นปฏิกิริยาเกิดค่อนข้างรุนแรง ในขณะเดียวกันก็ปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ออกมา แก๊สนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ มีกลิ่นฉุนและอันตราย

กรดกัดทองนอกจากจะละลายทองคำแล้วยังสามารถละลายโลหะอื่นๆ ที่ผสมอยู่ในรูปของโลหะผสมออกมาด้วย เช่น เงิน ทองแดง เหล็ก นิกเกิล สังกะสี ฯลฯ ถ้าในสารละลายมีนิกเกิลและทองแดงละลายอยู่ สารละลายที่ได้จะออกสีเขียว แต่ถ้าไม่มีโลหะเหล่านี้ สารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองของทองคลอไรด์

ในสารละลายทองจะมีบางส่วนที่ไม่ละลาย เช่น เงินคลอไรด์ โลหะกลุ่มแพลทินัมบางตัว ให้กรองสิ่งเจือปนเหล่านี้ออกก่อนที่จะแยกสกัดทองคำด้วยสารรีดิวซ์ซึ่ง เช่น เฟร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) หรือที่รู้จักกันในนามของ Copperas โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) กรดออกซาลิก ($(\text{COOH})_2$) และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นต้น

กระบวนการกรดกัดทองสามารถผลิตทองคำมีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99 % โดยการละลายทองคำด้วยกรดกัดทองที่มีอัตราส่วนของ $\text{HCl} : \text{HNO}_3 = 4.5 : 1$ หลังจากกรองเอาเงินคลอไรด์และโลหะกลุ่มแพลทินัมออกแล้ว นำมาแยกสกัดทองคำด้วยสารรีดิวซ์ซึ่ง เช่น เฟร์รัสซัลเฟต โซเดียมไบซัลไฟต์ กรดออกซาลิก ฯลฯ กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการดำเนินการขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ได้ แต่มีข้อจำกัดว่าเศษทองคำที่นำมาป้อนนั้นจะต้องมีเงินน้อยกว่า 10 % (Corti, 2004)

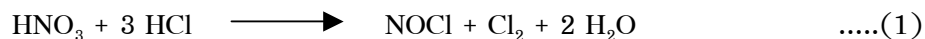
เมื่อนำสารละลายทองที่สกัดได้จากตะกอนสังกะสีและซัลไฟด์ ซึ่งมียูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อยู่ มาแยกสกัดทองคำที่อุณหภูมิ 80°C ด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะได้ทองคำมีความบริสุทธิ์ 970 – 988 ฝain ในขณะที่การใช้กรดออกซาลิกแยกสกัดจะได้ทองคำมีความบริสุทธิ์ 998 – 999 ฝain ตะกอนทองคำที่ได้จากการรีดักชันกับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไม่บริสุทธิ์เท่ากับตะกอนทองคำที่ได้จากการรีดักชันด้วยกรดออกซาลิก (McClelland, and et al, 1985)

ในกระบวนการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ด้วยกรดกัดทอง มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1.2.1 การละลายทองคำด้วยกรดกัดทอง (aqua regia dissolution of gold)

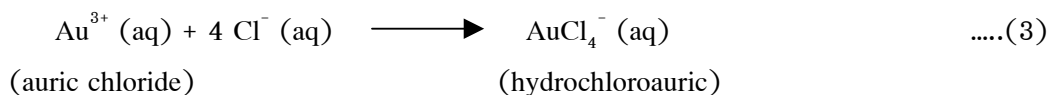
กรดกัดทองเตรียมได้จากการผสมกรดไนตริกหนึ่งส่วนกับกรดไฮโดรคลอริก 3 – 4 ส่วน สามารถละลายแพลทินัมและทองคำซึ่งเป็นราชาแห่งโลหะได้ โลหะทั้งสองชนิดนี้จะไม่ละลายในกรดไนตริกหรือกรดไฮโดรคลอริกอย่างใดอย่างหนึ่ง การที่กรดกัดทองเกิดควันสีเหลืองทั้งนี้ก็เนื่องมาจากปฏิกิริยาของกรดไนตริกกับกรดไฮโดรคลอริก เกิดเป็นไนโตรซิลคลอไรด์ (NOCl) แก๊สคลอรีน (Cl_2) และน้ำ

ทั้งไนโตรซิลคลอไรด์และคลอรีน จะทำให้เกิดสีเหลืองและระเหยง่าย ดังปฏิกิริยาที่ 1 ยิ่งกว่านั้น ไนโตรซิลคลอไรด์ยังสลายไปในทรिकออกไซด์ และคลอรีน



กรดกัดทองละลายทองคำได้ แม้ว่ากรดแต่ละตัวจะไม่ละลายทองคำ ทั้งนี้เนื่องจากว่ากรดแต่ละตัวทำหน้าที่แตกต่างกัน กรดไนตริกซึ่งเป็นสารออกซิไดส์ซึ่งที่รุนแรง โดยไอออนไนเตรทในกรดไนตริกมีสมดุทธ์ทางเคมีในการออกซิเดชันทองคำโดยยอมให้เกิดไอออน Au^{3+} (auric cation) ได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้น จึงตรวจไม่พบทองคำ (undetectable) ที่ละลายอยู่ในกรดไนตริก แต่ในที่ซึ่งมีไอออนคลอไรด์ (Cl^-) อยู่ ทองคำมีแนวโน้มที่จะเกิดอยู่ในรูปสารประกอบแอนไอออนคลอราอูเรทเชิงซ้อนที่เสถียร (stable cpx. chloraurate ion, AuCl_4^-) มากกว่าจะเกิดในรูปของแคตไอออนออริก (Au^{3+})

เนื่องจากว่าในกรดกัดทองมีความเข้มข้นของไอออนคลอไรด์อยู่ค่อนข้างสูง ไอออน Au^{3+} จึงทำปฏิกิริยาเกือบจะทันทีที่เกิดขึ้น จึงทำให้ความเข้มข้นของไอออน Au^{3+} ลดน้อยลง ดังนั้น การเกิดออกซิเดชันของทองคำไปเป็นไอออน Au^{3+} จึงเกิดขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ทองคำจึงละลายได้ ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



นอกจากนี้ ทองคำอาจจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับคลอรีนอิสระในกรดกัดทองได้ เพราะคลอรีนก็เป็นสารออกซิไดส์ซึ่งที่รุนแรงเช่นกัน

ทองคำไม่ละลายในกรดแร่ (mineral acid) แต่ละลายได้ในกรดกัดทองที่เตรียมได้จากการผสมกรดไนตริก 1 ส่วนกับกรดไฮโดรคลอริก 3 ส่วน ดังสมการ



การละลายทองคำในกรดกัดทอง แล้วนำไปทำให้แห้งอย่างระมัดระวัง จะได้ผลึกสีเหลืองของกรดคลอราอูริกไตรไฮเดรต (chlorauric trihydrate)

ทองคำจะอยู่ทั้งในรูปของสารประกอบออร์ส (univalence) และออร์ิก (trivalence) แต่ส่วนมากเป็นสารประกอบจำพวกออร์ิกคลอไรด์และกรดคลอโรออร์ิก

1.2.2. การกำจัดกรดไนตริก (nitric acid elimination)

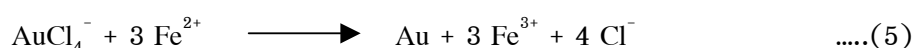
ในขั้นตอนการละลายทองคำด้วยกรดกัดทองนั้น จะเติมกรดกัดทองให้มากเกินไปเพื่อให้ทองคำละลายได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น จึงมีกรดเหลืออยู่ กรดนี้จะปล่อยไนตรัสออกไซด์ออกมา จึงจำเป็นต้องกำจัดออกก่อนการแยกสกัดทองคำ

วิธีการแยกเอาไนตรัสออกไซด์ออกจากสารละลายทองคำที่นิยมใช้กันมาก ก็คือ การเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไป แล้วนำไประเหยจนเกือบแห้ง สารประกอบไนโตรเจนก็จะระเหยออกมา เมื่อไนตริกออกไซด์ระเหยออกไปจะทำให้เกลือของทองถูกรีดิวส์เป็นโลหะ เมื่อเริ่มเห็นอนุภาคของทองคำบนผิวหน้าของสารละลายแสดงว่าถึงจุดยุติ (end point) ในการกำจัดกรดไนตริกนั้น จะทำซ้ำหลายๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าได้กำจัดไนตรัสออกไซด์ต่างๆ จนหมดแล้ว

1.2.3. การตกตะกอนโลหะทองคำ (precipitation of metallic gold)

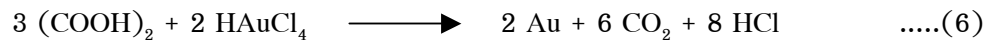
การแยกสกัดทองคำให้อยู่ในรูปของโลหะ จะใช้สารเคมีชนิดรีดิวส์ซึ่งเติมลงไปในการละลายเพื่อเปลี่ยนทองคลอไรด์ให้เป็นอนุภาคโลหะ เมื่อตะกอนตกเสร็จสมบูรณ์ แยกตะกอนทองคำออก แล้วล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งหมดความเป็นกรด ทำให้แห้ง

วิธีการแบบเก่าที่นิยมตกตะกอนทองคำนั้น จะเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงในสารละลาย ซึ่งสารเคมีตัวนี้มีราคาค่อนข้างถูก ปฏิกริยาเกิดดังนี้

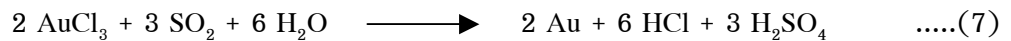


กรดออกซาลิกเป็นสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการแยกสกัดทองคำจากสารละลายที่บริสุทธิ์ การแยกสกัดทองคำด้วยกรดออกซาลิกจากสารละลายทองคำที่ได้จากการละลายทองคำด้วยกรดกัดทอง จะได้ตะกอนทองคำที่มีขนาดเล็ก มีแนวโน้มที่จะไปเกาะผนังบีกเกอร์ และการตกตะกอนอาจจะเกิดไม่สมบูรณ์ ถ้าไม่มีการย่อยที่นานขึ้น (Edmund, 1964) แต่ข้อดีของกรดออกซาลิก ก็คือ สามารถเลือกตกตะกอนทองคำออกจากสารละลายที่มีแพลทินัมได้ (Cpachem, 2004)

การเติมกรดออกซาลิกลงในสารละลายทองคลอไรด์ เพื่อแยกสกัดทองคำในรูปโลหะนั้น จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



การตกตะกอนทองคำด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โซเดียมไบซัลไฟท์ (NaHSO_3) กรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ปฏิกริยาเกิดขึ้นดังนี้



ข้อดีของการแยกสกัดทองคำด้วยไบซัลไฟท์ ก็คือ ไม่จำเป็นต้องต้มสารละลายให้ร้อนและเกิดควันสีเหลืองเล็กน้อยหรือไม่เกิดควันเลย แต่ต้องใช้ไบซัลไฟท์ในปริมาณที่มากเกินไปสำหรับปฏิกิริยาข้างเคียง (side reaction) ที่เกิดขึ้นโดยที่เราไม่ต้องการ (Loewen, 1980)

ตะกอนทองคำที่ได้จากการรีดักชันด้วยกรดซัลฟูรัสนั้น จะมีโลหะแพลทินัมตกลงมาด้วยจำนวนเล็กน้อย ถ้าในสารละลายทองมีแพลทินัมปนอยู่

ตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ของธาตุต่างๆ ที่พึงจะมีได้มากที่สุดในทองคำเกรดต่างๆ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของทองคำเกรดต่าง ๆ ตาม ASTM B 562-95

ธาตุ	องค์ประกอบทางเคมี (%)			
	เกรด 99.5	เกรด 99.95	เกรด 99.99	เกรด 99.995
Au, min	99.5			
Au, min (by difference)		99.95	99.99	99.995
Ag + Cu, max		0.04		
Ag, max		0.035	0.009	0.001
Cu, max		0.02	0.005	0.001
Pd, max		0.02	0.005	0.001
Fe, max		0.005	0.002	0.001
Pb, max		0.005	0.002	0.001
Si, max			0.005	0.001
Mg, max			0.003	0.001
As, max			0.003	
Bi, max			0.002	0.001
Sn, max			0.001	0.001
Cr, max			0.0003	0.0003
Ni, max			0.0003	
Mn, max			0.0003	0.0003
Sum (impurity)		0.125	0.0379	0.0096

ที่มา : ASTM, 2004

2. ทองคำ ขุมทรัพย์อันมีค่า

แร่ทองคำที่พบตามธรรมชาติมักอยู่ในรูปของทองคำอิสระ (native gold) มีธาตุอื่นๆ เจือปนเล็กน้อย เช่น เงิน ทองแดง พลวง ทองคำตามธรรมชาติมีทั้งที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีลักษณะเป็นเกล็ด แผ่น เม็ดกลม หรืออาจพบเป็นก้อน มีทั้งผิวเรียบและผิวขรุขระ

ทองคำ โลหะที่มีความโดดเด่นเหนือโลหะทั้งมวล ด้วยคุณสมบัติในเรื่องความแวววาวสดใสและมีสีทองตลอดกาล ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี จึงทนทานต่อการผุกร่อนได้ดีเยี่ยม ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจึงไม่เกิดสนิมและไม่หมองคล้ำ ไม่ละลายในกรดชนิดใดเลย แต่สามารถละลายได้อย่างช้าๆ ในสารละลายของกรดผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอริกกับกรดไนตริก

ความอัศจรรย์ที่น่าทึ่งอีกประการหนึ่งของทองคำ ก็คือ ทองคำเป็นโลหะหนักแต่เนื้อทองคำบริสุทธิ์มีความอ่อนตัวสูงที่สุด ไม่ปริแตกเมื่อตีหรือรีด จึงมีความสามารถในการขึ้นรูป (malleability) ได้ ทองคำหนัก 1 ออนซ์ สามารถตีแผ่เป็นแผ่นบางได้ 9 ตารางเมตร มีความหนา 0.000018 เซนติเมตร นอกจากนี้ ยังมีความเหนียว (ductility) อย่างน่าทึ่ง ทองคำหนัก 1 ออนซ์ สามารถดึงเป็นเส้นลวดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ไมครอน ยาวได้ถึง 80 กิโลเมตร หรือ 50 ไมล์ (World gold council, 2006) หรือทองคำ ที่มีขนาด 1 เกรน (single grain) สามารถดึงเป็นเส้นลวดยาวได้ถึง 500 ฟุต (Encyclopedia, 2004)

ทองคำเป็นโลหะที่หาได้ยากยิ่งบนพื้นพิภพนี้ แหล่งแร่ทองคำที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ จะต้องเป็นแหล่งแร่ที่มีทองคำมากกว่า 3 กรัม ในเนื้อหินหนัก 1 ตัน หรือ มีทองคำหนัก 1 บาท (15.2 กรัม) ในเนื้อหินหนักประมาณ 5 ตัน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นดังกล่าวจึงส่งผลให้วัฒนธรรมแทบทุกชาติทุกภาษาล้วนให้คุณค่าแก่ทองคำในฐานะที่เป็นสัญลักษณ์แห่งความมั่งคั่ง ความรุ่งเรือง และความศักดิ์สิทธิ์ ดังในอารยธรรมยุคโบราณที่ได้นำทองคำมาใช้เป็นเครื่องประดับตกแต่งในพิธีกรรมทางศาสนา

2.1 ทองคำ ราชาแห่งโลหะ (king of metals)

ในบรรดาโลหะมีค่าทั้งหลาย ทองคำได้ชื่อว่า เป็นราชาแห่งโลหะ ด้วยคุณสมบัติอันโดดเด่นอย่างน่าอัศจรรย์เหนือโลหะมีค่าชนิดอื่นๆ คุณสมบัติดังกล่าว ก็คือ

1) ความคงทน (durable) ทองคำมีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง จึงทนต่อการผุกร่อนได้ดีเยี่ยม ไม่เกิดออกไซด์กับอากาศ จึงไม่หมองคล้ำและไม่เกิดสนิม ดังจะเห็นได้จากเครื่องทองโบราณที่ขุดค้นจากแหล่งอารยธรรมเก่าแก่ แม้เวลาจะผ่านล่วงเลยมานานนับเป็นพันๆ ปีแล้วก็ตาม แต่ทรัพย์สินสมบัติและเครื่องประดับเหล่านั้น ยังคงส่งประกายแวววาวสดใสเหมือนใหม่ สร้างความตื่นตาตื่นใจให้กับผู้พบเห็นเสมอ

2) การเกิด (occurrence) โดยปกติทองคำที่เกิดตามธรรมชาติมักอยู่ในรูปของทองอิสระ จึงไม่เหมือนโลหะชนิดอื่นๆ

3) ทำให้บริสุทธิ์ได้ด้วยความร้อน (fire refining) ทองคำมีจุดหลอมเหลวประมาณ 1062°C ซึ่งไม่สูงเกินไป สามารถใช้แก๊สบางชนิดหลอมเหลวได้ นอกจากนี้ ทองคำยังไม่ทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจนในอากาศขณะร้อน ในขณะที่สิ่งเจือปนอื่นๆ จะถูกออกซิไดซ์ ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถหมุนเวียน ทองคำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีกนับครั้งไม่ถ้วน

4) ความเหนียวและความสามารถในการขึ้นรูป โดยปกติเนื้อทองคำบริสุทธิ์มีความอ่อนตัวมาก สามารถยืดดึงหรือตีแผ่เป็นแผ่นบางได้โดยไม่เกิดการแตกหัก หรือเกิดรอยร้าวในเนื้อของโลหะ ทองคำหนัก 1 ออนซ์ สามารถตีแผ่เป็นแผ่นบางได้ 300 ตารางฟุต (Webelements, 2005)

2.2 ความบริสุทธิ์ของทองคำ

หมายถึง น้ำหนักของทองคำที่มีอยู่ในโลหะทองคำผสม มีหน่วยวัดเป็นกะรัต (karat) โดยกำหนดให้ทองคำบริสุทธิ์ (100 %) มีค่าเท่ากับ 24 กะรัต หรือทองคำ 24 เค ดังนั้น ทองคำ 22 เค จึงหมายความว่า มีทองคำบริสุทธิ์ผสมอยู่ในทองผสม 22 ส่วน (91.7 %) และมีโลหะอื่นๆ ผสมอยู่ 2 ส่วน (8.3 %)

นอกจากนี้ ความบริสุทธิ์ของทองคำยังใช้ในเทอมของไฟน์เนส (fineness) โดยกำหนดให้ทองคำบริสุทธิ์ (100 %) มีค่าเท่ากับ 1,000 ไฟน์ ดังนั้น ทองคำ 700 ไฟน์ หมายความว่า มีทองคำบริสุทธิ์ผสมอยู่ในทองผสม 70 %

นั่นคือ ทองคำ 24 เค เท่ากับ 1,000 ไฟน์

2.3 การกำหนดน้ำหนักทองคำ

ทองคำบริสุทธิ์ 96.5 % (มาตรฐานในประเทศไทย)

ทองรูปพรรณ	น้ำหนัก 1 บาท	= 15.16 กรัม
		= 4 สลึง
	1 สลึง	= 3.79 กรัม
ทองแท่ง	น้ำหนัก 1 บาท	= 15.244 กรัม
		= 4 สลึง
	1 สลึง	= 3.811 กรัม

ทองคำความบริสุทธิ์ 99.99 %

ทองคำ 1 กิโลกรัม = 32.1508 ออนซ์

$$1 \text{ ออนซ์} = 31.104 \text{ กรัม}$$

2.4 การใช้ประโยชน์ทองคำ

ทองคำเป็นโลหะที่มีค่าสูง มีคุณสมบัติดีเยี่ยมไม่ว่าคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี หรือทางเคมีชีวะ สามารถสะท้อนแสงรังสีอินฟราเรดและรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดี จึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง ในยุคนี้ที่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ทองคำจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ขาดเสียมิได้ในทุกสิ่งทุกอย่าง ตั้งแต่ของใช้ภายในบ้านไปจนถึงในอวกาศ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องคิดเลข คอมพิวเตอร์ เครื่องซักผ้า เครื่องรับโทรทัศน์ อวัยวะเทียม ชุมนักบินอวกาศหรือยานอวกาศ นอกจากนี้ ยังนำมาใช้เคลือบเครื่องยนตร์ในกระสวยอวกาศ หมวกเหล็ก เกราะบังหน้า เพื่อสะท้อนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

ทองคำที่นำมาใช้ประโยชน์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่ใช้ทองคำเป็นวัสดุเคลือบผิวหน้าสัมผัส (contract) ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ที่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้ความดันและกระแสไฟฟ้าต่ำ เช่น สื่อสารโทรคมนาคม คอมพิวเตอร์ และระบบป้องกันที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ทั้งนี้ก็เนื่องจากการชุบเคลือบทองคำบนผิวหน้าสัมผัสด้วยไฟฟ้า ทำให้มั่นใจได้ว่าจะมีการกระจายความร้อนอย่างรวดเร็ว และรับประกันได้ว่าจะไม่เกิดการออกซิเดชันหรือไม่เกิดการหมองคล้ำ ไม่ว่าอุณหภูมิจะค่อนข้างต่ำหรือสูง ทำให้คุณสมบัติทางเคมี และความเป็นโลหะของทองคำคงที่ตลอดอายุการใช้งาน และยืดอายุการใช้งานอีกด้วย จึงไม่แปลกที่จะกล่าวว่า ไม่มีอะไรที่จะสร้างความไว้วางใจได้ดีเท่ากับทองคำ ในการพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมในอนาคต

ด้วยคุณสมบัติในด้านความสามารถในการขึ้นรูปและการทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ทองคำจึงเหมาะสำหรับงานในด้านทันตกรรม ส่วนใหญ่ทองคำที่นำมาใช้จะอยู่ในรูปของทองคำผสมกับธาตุอื่นๆ เช่น แพลทินัม เงิน ทองแดง โดยโลหะทองคำผสมจะมีทองคำอยู่ 620-900 ไลน์ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมพอดีในการนำมาใช้ประโยชน์

ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มักจะใช้ทองคำในรูปโลหะผสมมากกว่าที่จะใช้ในรูปแบบของทองคำบริสุทธิ์ เนื่องจากทองคำบริสุทธิ์มีความอ่อนตัวมาก จึงต้องผสมโลหะอื่นๆ ลงไปเพื่อปรับคุณสมบัติทางกายภาพของทองคำให้แข็งแรงขึ้นและให้เจดสีต่างๆ โลหะที่นิยมผสมกับทองคำ ได้แก่ เงิน ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล เจดสีที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของโลหะที่เติมลงไป เช่น ทองสีแดง ทองสีเหลือง ทองสีเขียว ซึ่งเป็นโลหะผสมของทองคำ ทองแดง และเงิน ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ถ้าต้องการสีแดง ใส่ทองแดงมากกว่าเงิน ถ้าต้องการสีเขียว ก็ให้ใส่เงินลงไป โลหะผสมเหล่านี้มักจะเจือสังกะสีและตัวดึงออกซิเจน ส่วนทองสีขาวประกอบด้วยทองคำ เงิน ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล หรือแพลเลเดียม ความนิยมของผู้บริโภคในเรื่องของเจดสีจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ดังนั้น จึงควรเลือกใช้วัสดุให้ตรงตามกับความต้องการของผู้บริโภคในประเทศนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนประกอบของโลหะทองคำผสม (karat gold alloy)

ส่วนในพันส่วน	กะรัต	% Au	ประเทศที่ใช้
1000 (999)	24	100	ไทย ฮองกง จีน อินโดนีเซีย
965	23.16	96.5	ไทย ฮองกง จีน อินโดนีเซีย
917	22	91.7	อินเดีย ตะวันออกกลาง
875	21	87.5	สิงคโปร์ ตะวันออกกลาง
750	18	75	อิตาลี สวิสเซอร์แลนด์ ยุโรป อเมริกา
583	14	58.3	เยอรมัน อังกฤษ
417	10	41.7	อเมริกา
375	9	37.5	อังกฤษ
33	8	33.3	เยอรมัน

ที่มา : สถาบันและพัฒนาอัญมณี และเครื่องประดับ, 2547

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. เครื่องมืออุปกรณ์

- 1) เต้าไฟฟ้า
- 2) water bath

2. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ทุกชนิดเป็นเกรดวิเคราะห์

- 1) กรดไนตริก (HNO_3) ของ BDH : 69 % HNO_3 sp. gr. = 1.42
- 2) กรดไฮโดรคลอริก (HCL) ของ Merch : 37 % HCl sp. gr. = 1.19
- 3) กรดกัดทอง ($\text{HCL} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 4 : 1 : 8$)

ผสมกรด HCL 4 ส่วน กรด HNO_3 1 ส่วน และ H_2O 8 ส่วน เข้าด้วยกัน

- 4) กรดออกซาลิกอิมตัว

นำกรดออกซาลิกมาละลายด้วยน้ำกลั่นจนอิมตัว ทั้งค้างคืน กรอง

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 การเตรียมสารละลายเริ่มต้น

แผ่นโลหะทองคำที่นำมาใช้ในการศึกษาทดลองมีโลหะเงินเจือปนอยู่ ดังนั้น ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายไว้สำหรับการทดลอง จึงต้องมีการกำจัดโลหะเงินออกจากสารละลายก่อน เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความบริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญอย่างมาก แล้วปรับสารละลายให้มีเนื้อทองอยู่ 1 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้

- 1) ชั่งทองคำหนัก 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมกรดกัดทอง 20 มิลลิลิตร นำไปประเหบบนเต้าไฟฟ้าจนเกือบแห้ง
- 3) เติมกรดไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไปประเหบท่อนจนเกือบแห้ง
- 4) ทำซ้ำข้อ 3 อีก 2-3 ครั้ง
- 5) เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ทั้งค้างคืน
- 6) กรองตะกอนออก
- 7) เจือจางด้วยน้ำจนสารละลายมีทองคำอยู่ประมาณ 1 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร

3.2 การทดลอง

สารละลายที่ใช้ในแต่ละการทดลองมีทองคำ 0.5 กรัม อยู่ในขวดชมพูกันแบนขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับสารละลายให้มีสภาพเป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 3

หลังจากการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ให้ทิ้งค้างคืนไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ทองคำตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง ทำให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนัก

3.2.1. การทดลองที่ 1

ศึกษาอิทธิพลของสภาพความเป็นกรด

- 1) สารละลายมีความเข้มข้นของกรด 0.5 1.0 3.0 5.0 และ 10.0 % (V/V)
- 2) สารละลายมีทองคำ 0.5 กรัมใน 300 มิลลิลิตร
- 3) อุณหภูมิ 60 และ 90 °ซ
- 4) กรดออกซาลิก 20 มิลลิลิตร
- 5) นาน 3 ชั่วโมง

3.2.2. การทดลองที่ 2

ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ

- 1) สารละลายมีความเข้มข้นของกรด 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 % (V/V)
- 2) สารละลายมีทองคำ 0.5 กรัมใน 300 มิลลิลิตร
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 60 70 80 90 และ 100 °ซ
- 4) กรดออกซาลิก 20 มิลลิลิตร
- 5) นาน 3 ชั่วโมง

3.2.3. การทดลองที่ 3

ศึกษาความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้น

- 1) สารละลายมีทองคำ 0.5 กรัม ใน 100 200 300 และ 400 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายมีความเข้มข้นของกรด 0.5 %
- 3) อุณหภูมิ 80 และ 90 °ซ
- 4) กรดออกซาลิก 20 มิลลิลิตร
- 5) นาน 3 ชั่วโมง

3.2.4 การทดลองที่ 4

ศึกษาปริมาณกรดออกซาลิกที่ใช้

- 1) สารละลายมีทองคำ 0.5 กรัมใน 100 และ 200 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายมีความเข้มข้นของกรด 0.5 %
- 3) อุณหภูมิ 80 และ 90°ซ
- 4) การตอกซาลิก 5 7 10 และ 20 มิลลิลิตร
- 5) เวลา 3 ชั่วโมง

3.2.5 การทดลองที่ 5

ศึกษาระยะเวลา

- 1) สารละลายมีทองคำ 0.5 กรัมใน 100 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายมีความเข้มข้นของกรด 0.5 %
- 3) อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90°ซ
- 4) การตอกซาลิก 7 มิลลิลิตร
- 5) เวลา 15 30 60 และ 120 นาที



รูปที่ 3 เครื่องมืออุปกรณ์

ผลการทดลองและบทวิจารณ์

แผ่นโลหะทองคำที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าเป็นโลหะทองคำที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี Cupellation มาแล้ว ซึ่งในการทำ Cupellation นี้ เป็นการแยกโลหะทองคำและเงินออกจากโลหะตะกั่ว และโลหะพื้นฐานอื่นๆ ที่อยู่ร่วมกันเป็นโลหะผสม โดยการเติมโลหะเงินจำนวนหนึ่งลงไป ก่อนนำไปห่อด้วยแผ่นตะกั่ว การเติมโลหะเงินลงไปเพื่อช่วยให้การสกัดเงินออกจากทองคำสมบูรณ์ขึ้น เรียกว่า inquartation นำห่อตะกั่วที่ได้ไปทำ Cupellation เพื่อไล่โลหะพื้นฐานออก จะเหลือเม็ดโลหะที่มีองค์ประกอบของทองคำและเงิน เรียกเม็ดนี้ว่า dore นำเม็ด dore ไปทุบให้แบน ริดให้เป็นแผ่นบาง ม้วน แล้วนำไปสกัดเงินออกด้วยกรดไนตริกเจือจาง เรียกว่า parting จะได้โลหะทองคำมีความบริสุทธิ์สูง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผ่นโลหะทองคำที่ใช้ในการทดลอง

ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการทดสอบนั้น เตรียมได้โดยการละลายแผ่นโลหะทองคำด้วยกรดกัดทอง แล้วระเหยให้แห้ง เงินที่เจือปนอยู่จะตกตะกอนออกมาในรูปของคลอไรด์ กรองตะกอนทิ้ง ดังนั้น สารละลายที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น หลังจากนั้นนำสารละลายทองคำที่ได้มาศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่ออัตราการแยกสกัดทองคำ โดยใช้กรดออกซาลิกเป็นตัวรีดิวซิงส์

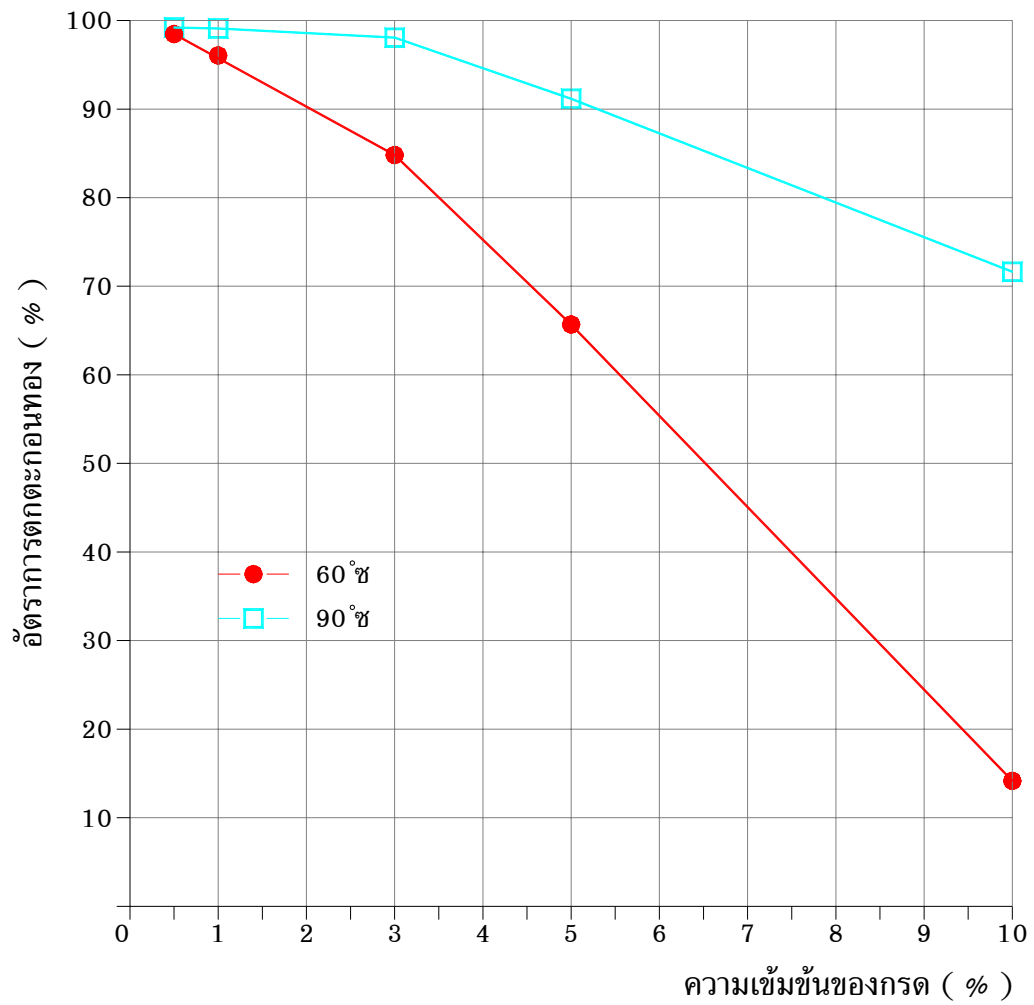
1. อิทธิพลของสภาพความเป็นกรด (effect of acidity)

ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการทดลองนั้นเริ่มตั้งแต่ 0.5 1.0 3.0 5.0 และ 10.0 % สารละลายเริ่มต้นมีทองคำอยู่ 0.5 กรัม ใน 300 มิลลิลิตร กรดออกซาลิก 20 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°ซ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3

สารละลายที่มีความเข้มข้นของกรด 0.5 % ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°ซ นั้น อัตราการตกตะกอนทองคำ 98.47 และ 99.20 % ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มสูงขึ้น อัตราการตกตะกอนทองคำก็จะยิ่งลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นของกรด 10.0 % ที่อุณหภูมิ 60°ซ สามารถตกตะกอนทองคำได้เพียง 14.46 % แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90°ซ อัตราการตกตะกอนทองคำจะเพิ่มขึ้นเป็น 71.63 % จะเห็นได้ว่า สารละลายทองคำยังมีสภาพความเข้มข้นของกรดต่ำการตกตะกอนทองคำจะมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ผลของสภาพความเป็นกรดที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำ ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°ซ

ความเข้มข้นของกรด (%)	อัตราการตกตะกอนทองคำ (%)		เงื่อนไขต่างๆ
	60°ซ	90°ซ	
0.5	98.47	99.20	
1.0	96.05	99.10	Au = 0.5 กรัม/300 มิลลิลิตร
3.0	84.81	98.06	เวลา = 3 ชั่วโมง
5.0	65.68	91.17	กรดออกซาลิก = 20 มิลลิลิตร
10.0	14.46	71.63	



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลกระทบของสภาพความเป็นกรดที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิ 60 และ 90°ซ

2. อิทธิพลของอุณหภูมิ (effect of temperature)

ในการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำนั้น ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100°ซ ความเข้มข้นของกรด 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 % ในสารละลายเริ่มต้นมีเนื้อทองคำอยู่ 0.5 กรัม ใน 300 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง ใช้กรดออกซาลิก 20 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4 พร้อมผลการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการตกตะกอนทองคำที่สภาพความเป็นกรดต่างๆ

ความเข้มข้นของกรด (%)	อัตราการตกตะกอนทองคำ (%)					เงื่อนไขต่างๆ
	60°ซ	70°ซ	80°ซ	90°ซ	100°ซ	
0.5	98.47	99.13	98.95	99.20	99.41	Au = 0.5 กรัม/300มิลลิลิตร เวลา = 3 ชั่วโมง กรดออกซาลิก = 20 มิลลิลิตร
1.0	96.05	98.18	98.02	99.10	99.30	
3.0	84.81	91.06	95.91	98.06	98.44	
5.0	65.68	78.04	84.82	91.17	94.82	

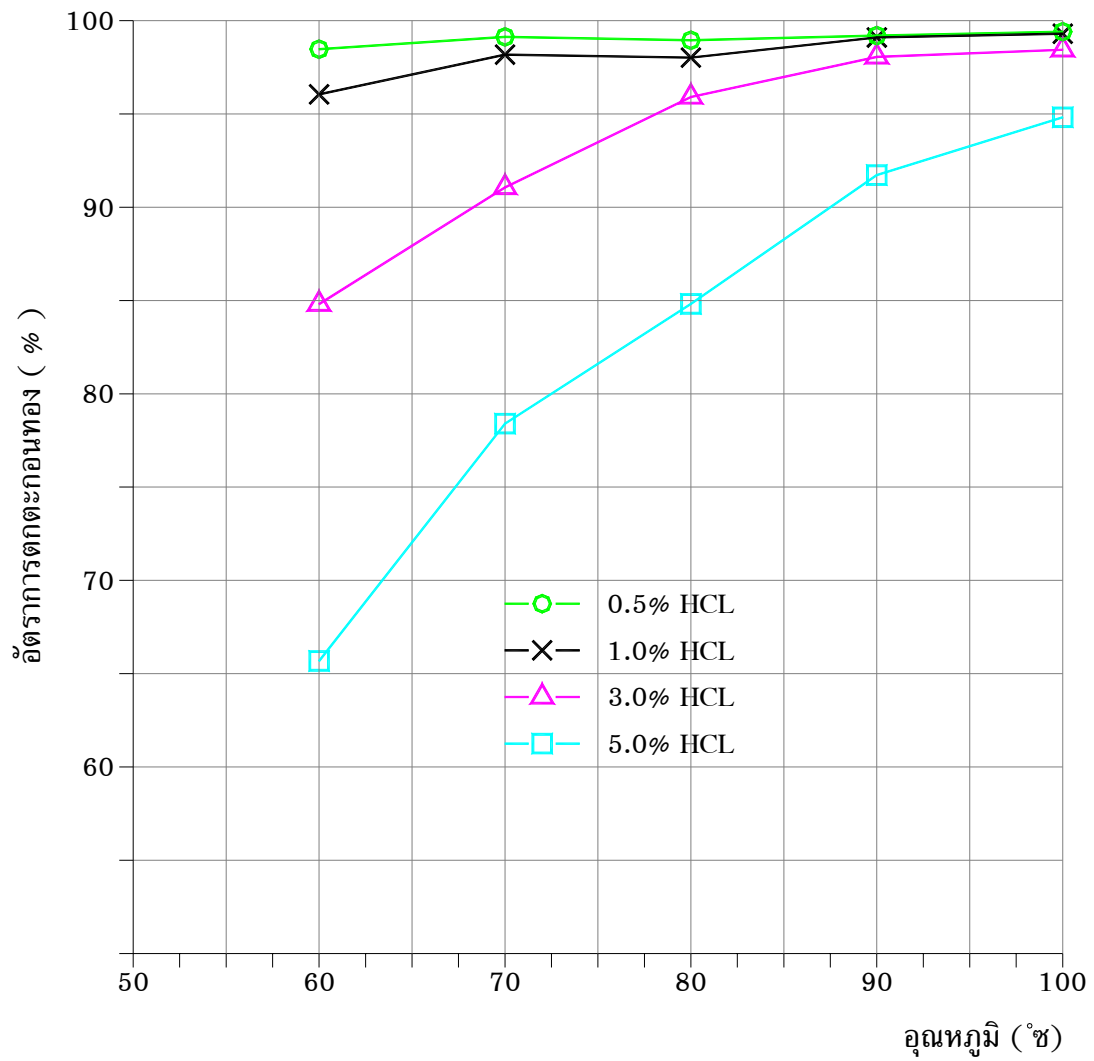
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการแยกสกัดทองคำที่สภาพความเป็นกรดต่างๆ จะเห็นว่า สารละลายทองคำที่มีความเข้มข้นของกรด 0.5 % ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100°ซ สามารถตกตะกอนทองคำออกมาได้ถึง 98.47 99.13 98.95 99.20 และ 99.41 % ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มากนัก แม้จะเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นก็ตาม แสดงว่าอุณหภูมิมีผลกระทบไม่มากนักต่ออัตราการตกตะกอนทองคำ

ความเข้มข้นของกรดเพิ่มเป็น 1.0 % อัตราการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิ 60°ซ ลดลงมาเป็น 96.05 % ในขณะที่ที่ 70 80 90 และ 100°ซ อัตราการตกตะกอนทองคำต่างกันไม่มากนัก คือ 98.18 98.02 99.10 และ 99.30 % ตามลำดับ

เมื่อความเข้มข้นกรดเป็น 3.0 % ที่ 90 และ 100°ซ อัตราการตกตะกอนทองคำเท่ากับ 98.06 และ 98.44 % ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงเป็น 80 70 และ 60°ซ อัตราการตกตะกอนทองคำลดลงเป็น 95.91 91.06 และ 84.81 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเริ่มมีผลกระทบต่อการตกตะกอนทองคำจากสารละลายทองคำที่มีความเข้มข้นของกรดสูงขึ้น

ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำ จะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้นเป็น 5.0 % ที่อุณหภูมิ 60°ซ สามารถแยกสกัดทองคำได้เพียง 65.68 % และจะเพิ่มขึ้นเป็น 78.04 84.82 91.17 และ 94.82 % เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 80 90 และ 100°ซ ตามลำดับ

นั่นคือ อุณหภูมิมีผลกระทบไม่มากนักในการตกตะกอนทองคำจากสารละลายที่มีความเข้มข้นของกรดต่ำๆ แต่จะมีผลกระทบอย่างมากเมื่อตกตะกอนทองคำจากสารละลายที่มีความเข้มข้นของกรดสูงๆ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการตกตะกอนทองคำที่สภาพ
ความเป็นกรดต่างๆ

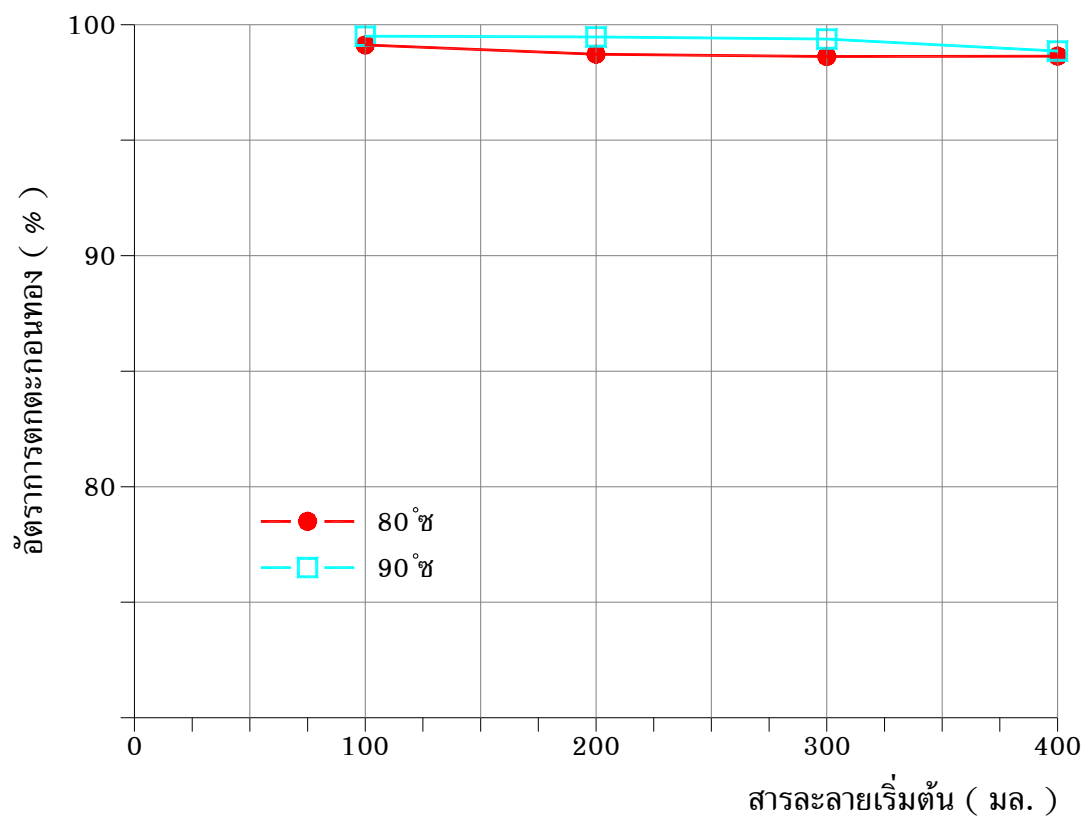
3. ความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้น (dilution)

สารละลายเริ่มต้นมีปริมาณ 100 200 300 400 มิลลิลิตร ซึ่งในแต่ละสารละลายมีเนื้อทองอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นกรด 0.5 % กรดออกซาลิก 20 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง ผลการทดลองดังปรากฏในตารางที่ 5

รูปที่ 7 แสดงผลกระทบของความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้นที่มีต่อการตกตะกอนทองที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของกรด 0.5 % ความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้นมีผลกระทบไม่มากนักต่ออัตราการตกตะกอนทองคำทั้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C ดังนั้น สารละลายเริ่มต้นควรมีปริมาณน้อยๆ เพื่อเป็นการประหยัด 0 พลังงาน และต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 5 ผลของความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้นที่มีต่อการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิ 80 และ 90°C

ปริมาตรสารละลาย เริ่มต้น (มล.)	อัตราการตกตะกอนทองคำ (%)		เงื่อนไขต่างๆ
	80°C	90°C	
100	99.12	99.49	ความเข้มข้นของกรด = 0.5 %
200	98.72	99.47	เวลา = 3 ชั่วโมง
300	98.62	99.38	กรดออกซาลิก = 20 มิลลิลิตร
400	98.64	98.86	



รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลกระทบของความเข้มข้นของทองคำในสารละลายเริ่มต้น

4. ปริมาณการใช้กรดออกซาลิก (volume of oxalic acid)

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการใช้กรดออกซาลิกในการแยกสกัดทองคำออกจากสารละลายที่มีเนื้อทองคำ 0.5 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร และใน 200 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของกรด 0.5 % นาน 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 90°ซ

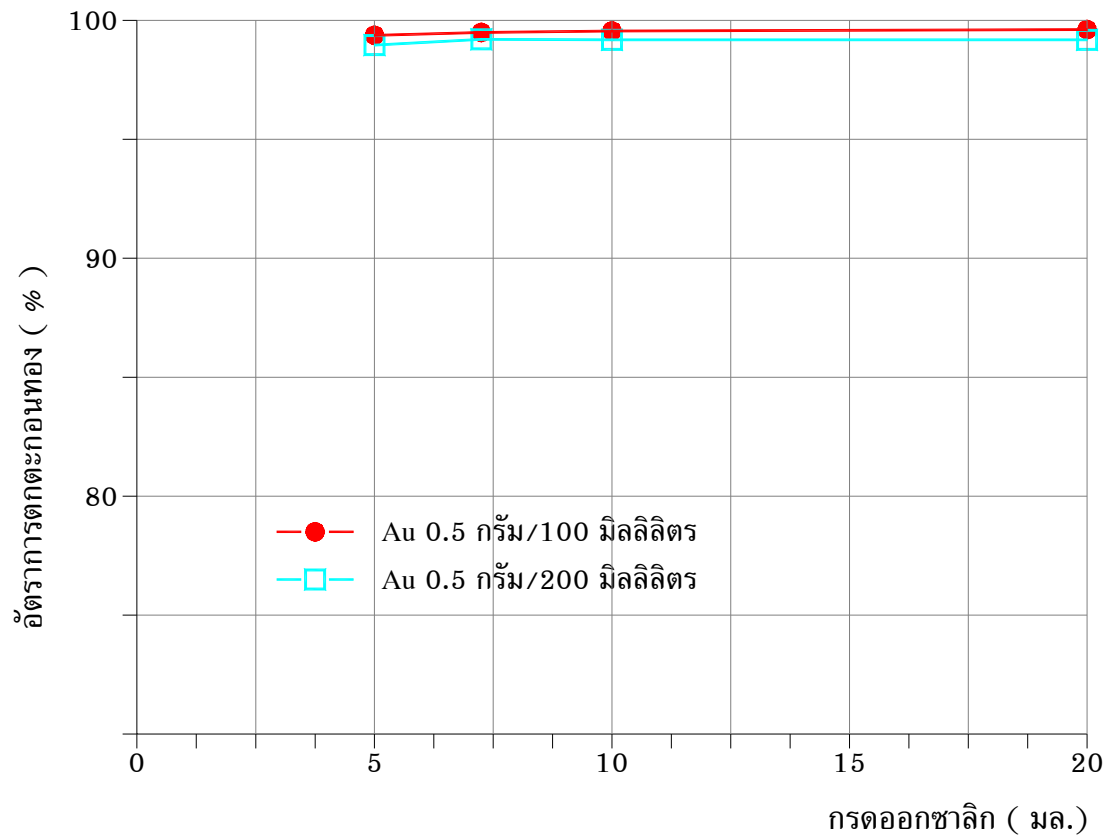
จากกราฟรูปที่ 8 พบว่า สารละลายที่มีทองคำอยู่ 0.5 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร สามารถแยกสกัดทองคำได้ 99.37 % ด้วยกรดออกซาลิก 5 มิลลิลิตร เมื่อเพิ่มปริมาณกรดออกซาลิกเป็น 7 10 และ 20 มิลลิลิตร อัตราการตกตะกอนทองคำเพิ่มเป็น 99.49 99.55 และ 99.61 % ตามลำดับ

ในสารละลายที่มีทองคำอยู่ 0.5 กรัม ใน 200 มิลลิลิตร เมื่อเติมกรดออกซาลิก 5 7 10 และ 20 มิลลิลิตร อัตราการตกตะกอนทองคำเป็น 98.91 99.20 99.18 และ 99.18 % ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้กรดออกซาลิกที่เท่ากัน อัตราการตกตะกอนทองคำจากสารละลายที่มีทองคำ 0.5 กรัมใน 100 มิลลิลิตร จะสูงกว่าจากสารละลายที่มีทองคำอยู่ 0.5 กรัมใน 200 มิลลิลิตร เล็กน้อย

ตารางที่ 6 ปริมาณการใช้กรดออกซาลิกในการตกตะกอนทองคำ

กรดออกซาลิก (มล.)	อัตราการตกตะกอนทองคำ (%)		เงื่อนไขต่าง ๆ
	Au = 0.5 ก./100 มล.	Au = 0.5 ก./200 มล.	
5	99.37	98.96	ความเข้มข้นของกรด = 0.5 %
7	99.49	99.20	เวลา = 3 ชั่วโมง
10	99.55	99.18	อุณหภูมิ = 90°ซ
20	99.61	99.18	



รูปที่ 8 เปรียบเทียบการใช้กรดออกซาลิกในการตกตะกอนทองคำจากสารละลายที่มีทองคำอยู่ 0.5 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร และใน 200 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90°ซ

5.ระยะเวลา (time)

ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการตกตะกอนทองคำจากสารละลายที่มีทองคำ 0.5 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นกรด 0.5 % กรดออกซาลิก 7 มิลลิลิตร ดังปรากฏในตารางที่ 7

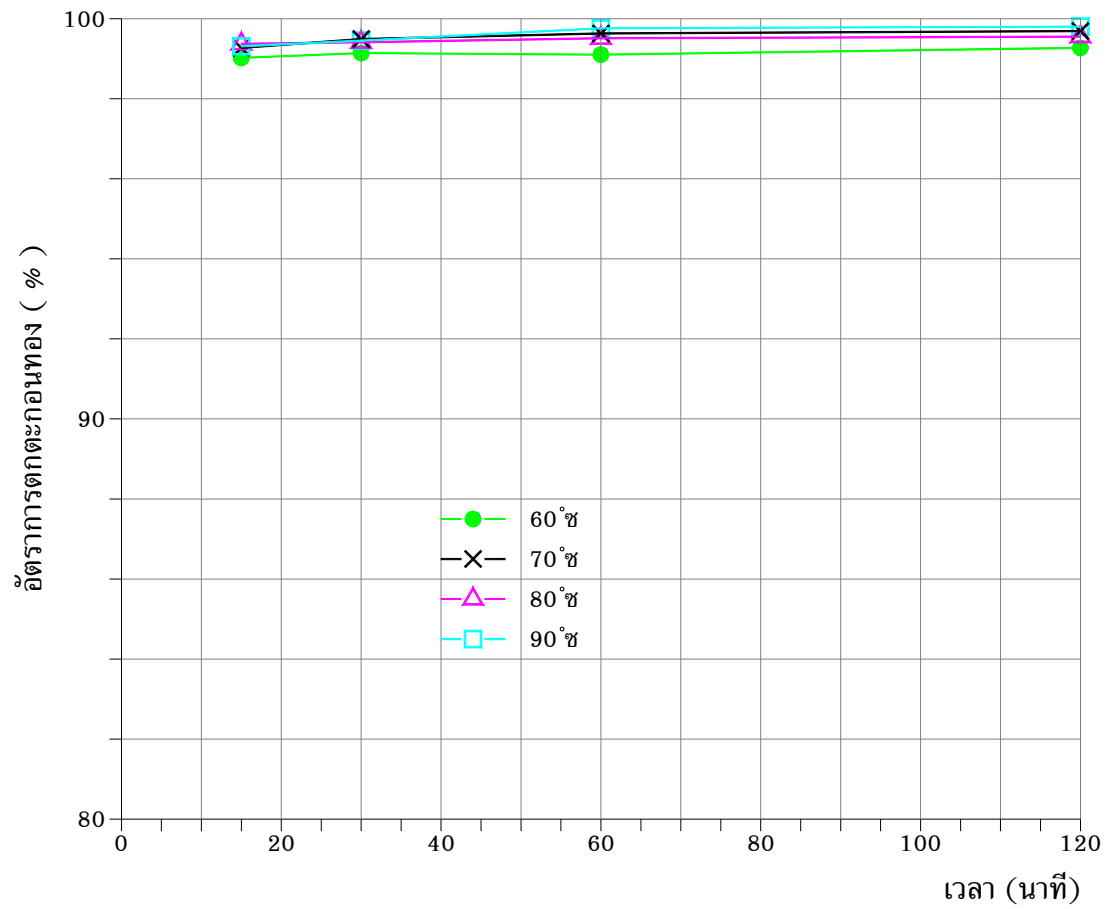
รูปที่ 9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับอัตราการตกตะกอนทองคำ พบว่า ระยะเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90°ซ มีอัตราการตกตะกอนทองคำสูงสุด คือ 99.27 99.55 99.80 และ 99.69 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 60 นาที แล้ว อัตราการตกตะกอนทองคำแตกต่างกันไม่มากในแต่ละอุณหภูมิ แม้จะใช้เวลาต่างกัน 60 นาที

ที่อุณหภูมิ 80°ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีอัตราการตกตะกอนทองคำสูงที่สุด เวลา 60 นาที อัตราการตกตะกอน 99.76 % แม้เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 120 นาที อัตราการตกตะกอนทองคำก็เพิ่มไม่มากนัก ดังนั้น ระยะเวลา 60 นาที ก็น่าจะเพียงพอที่จะการแยกสกัดทองคำออกจากสารละลายได้อย่างสมบูรณ์

จะสังเกตเห็นว่า สารละลายทองคำที่มีสภาพความเป็นกรดต่ำๆ อุณหภูมิมีผลกระทบน้อยมากในการตกตะกอนทองคำ และแม้จะใช้เวลาเพียง 15 นาที ในการรีดักชันทองคำด้วยกรดออกซาลิก แต่อัตราการตกตะกอนทองคำก็สูงมากกว่า 99 % ทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 7 ผลของเวลาที่มีต่อการตกตะกอนทองคำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เวลา (นาที)	อัตราการตกตะกอนทองคำ (%)				เงื่อนไขต่าง ๆ
	60°ซ	70°ซ	80°ซ	90°ซ	
15	99.02	99.37	99.31	99.27	Au = 0.5 กรัม/100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของกรด = 0.5 % กรดออกซาลิก = 7 มิลลิลิตร
30	99.14	99.42	99.45	99.49	
60	99.10	99.51	99.76	99.63	
120	99.27	99.55	99.80	99.69	



รูปที่ 9 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการตอบที่ถูกต้องของคำถามที่อุณหภูมิต่างๆ

6. องค์ประกอบทางเคมีของทองคำที่ตกตะกอนได้

ตะกอนโลหะทองคำที่ได้จากการรีดักชันด้วยกรดออกซาลิก ดังปรากฏในรูปที่ 10

ในการหาองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนทองคำที่ได้นั้น จะทดสอบหาปริมาณของธาตุต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM B-569-95 (ASTM, 2004) ซึ่งเป็นการกำหนดค่ามาตรฐานสูงสุดของธาตุต่างๆ ที่น่าจะมีอยู่ในทองคำที่ทำให้บริสุทธิ์เกรดต่างๆ ตามตารางที่ 1

ผลการทดสอบธาตุต่างๆ ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ของ Varian รุ่น 200 FS พร้อมทั้งค่า detection limit ของเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรสโกปีที่ใช้ ดังปรากฏในตารางที่ 8

จะสังเกตเห็นว่า ตรวจไม่พบธาตุต่างๆ เหล่านั้นเลย การบอกว่าตรวจไม่พบธาตุนั้น ไม่ได้หมายความว่า ธาตุต่างๆ เหล่านั้นไม่มี อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบว่ามีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาธาตุที่มีปริมาณต่ำได้มากน้อยเท่าไร ดังนั้น ถ้าเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบมีประสิทธิภาพในการหาธาตุที่มีปริมาณต่ำมาก ๆ ได้ ค่า detection limit ก็จะต่ำลง



รูปที่ 10 โลหะทองคำที่ได้จากการรีดักชันด้วยกรดออกซาลิก

ในตารางที่ 1 ทองคำบริสุทธิ์เกรด 99.99 และเกรด 99.995 % ยอมให้มีสิ่งเจือปนของธาตุต่างๆ ได้ไม่เกิน 0.0379 % และ 0.0096 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า สิ่งเจือปนของธาตุต่างๆ ในตะกอนทองคำที่ได้จากการรีดักชันด้วยกรดออกซาลิกมีไม่เกิน 0.0217 % ดังแสดงในตารางที่ 8

เมื่อนำสิ่งเจือปนของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในตะกอนทองคำที่แยกสกัดได้มาเทียบเคียงกับทองคำบริสุทธิ์เกรดต่างๆ ตามตารางที่ 1 พบว่า สิ่งเจือปนของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในตะกอนทองคำที่แยกสกัดได้น้อยกว่าในทองคำบริสุทธิ์เกรด 99.99 % แต่มากกว่าในทองคำบริสุทธิ์เกรด 99.995 % ดังนั้น ตะกอนทองคำที่ได้จากแยกสกัดด้วยกรดออกซาลิกจึงน่าจะเทียบเคียงความบริสุทธิ์ได้กับทองคำบริสุทธิ์เกรด 99.99 %

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนทองคำที่ได้

องค์ประกอบทางเคมี	ค่า detection limit (%)
Ag = ตรวจไม่พบ	0.0001
Cu = ตรวจไม่พบ	0.0002
Pd = ตรวจไม่พบ	0.0005
Fe = ตรวจไม่พบ	0.0003
Pb = ตรวจไม่พบ	0.0005
Si = ตรวจไม่พบ	0.01
Mg = ตรวจไม่พบ	0.0002
As = ตรวจไม่พบ	0.001
Bi = ตรวจไม่พบ	0.003
Sn = ตรวจไม่พบ	0.005
Cr = ตรวจไม่พบ	0.0003
Ni = ตรวจไม่พบ	0.0005
Mn = ตรวจไม่พบ	0.0001
SUM	0.0217

บทสรุป

การสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทยจนสามารถผลิตโลหะทองคำผสมเงินออกมาได้ นำมาซึ่งการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เกิดการจ้างแรงงาน รัฐมีรายได้จากการเก็บค่าภาคหลวงแร่ ซึ่งจะจัดเก็บตามมูลค่าของโลหะทองคำผสมเงินที่ผลิตได้โดยถือตามรายงานผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ทองคำและเงินของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เป็นเกณฑ์ในการคำนวณเก็บค่าภาคหลวงแร่ ซึ่งในการทดสอบนั้นต้องใช้โลหะทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูงมาทำเป็นตัวอย่างมาตรฐาน โดยทองคำบริสุทธิ์นี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง กลุ่มวิเคราะห์ สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ จึงได้ศึกษาการแยกสกัดทองคำให้บริสุทธิ์ด้วยการดอออกซาลิกโดยใช้แผ่นโลหะทองคำที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Cupellation เป็นการหมุนเวียนทองคำกลับมาใช้ใหม่ ช่วยให้มิโลหะทองคำไว้ใช้ในการทดสอบ นอกจากช่วยประหยัดเงินงบประมาณรายจ่ายแล้วยังทดแทนการนำเข้า อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเศษทองคำชนิดอื่นๆ เพื่อแยกสกัดทองคำให้มีความบริสุทธิ์ขึ้น เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าเศษทองคำอีกวิธีหนึ่ง

การศึกษาทดลองการรีดักชันทองคำด้วยการดอออกซาลิก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สารละลายทองคำยังมีสภาพความเข้มข้นกรดต่ำ การตกตะกอนทองคำยังมีความสมบูรณ์มากขึ้น
2. อุณหภูมิมีผลกระทบน้อยมากในการตกตะกอนทองคำจากสารละลายทองคำที่มีสภาพความเป็นกรดต่ำๆ แต่มีผลกระทบอย่างมากในการตกตะกอนทองคำจากสารละลายทองคำที่มีสภาพความเป็นกรดสูงๆ
3. ในสภาพที่มีสภาพความเป็นกรดต่ำ ความเข้มข้นของสารละลายทองคำมีผลกระทบไม่มากนักต่ออัตราการตกตะกอนทองคำ ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนทั้งปริมาณกรดและน้ำที่ใช้ สารละลายเริ่มต้นที่มีปริมาณทองคำสูงจึงจะดีกว่า
4. สามารถแยกสกัดโลหะทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99 % ด้วยอัตราการแยกสกัดทองคำ (recovery) มากกว่า 99.5 % ที่อุณหภูมิ 80°C สภาพความเป็นกรด 0.5 % นาน 1 ชั่วโมง

ข้อควรระวัง

1. กรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริกเป็นกรดที่ระเหยง่ายและปล่อยควันออกมา โดยเฉพาะกรดไฮโดรคลอริกจะเกิดควันเมื่อเทออกมา
2. กรดกัดทองจะปล่อยแก๊สคลอรีนออกมาทันทีที่ผสมกรดไฮโดรคลอริกกับกรดไนตริก แก๊สคลอรีนเป็นแก๊สพิษจึงไม่ควรหายใจเข้าไปในร่างกาย ภาชนะที่ใช้ใส่กรดกัดทองควรเป็นแก้วหรือพลาสติก ภาชนะจะต้องเปิดหรือมีรูระบายให้แก๊สคลอรีนออกไปได้ เทฟลอนเป็นพลาสติกที่ทนทานต่อกรดกัดทองร้อน

3. ทองหล่อไรต์เมื่อสัมผัสผิวหนังจะเกิดเป็นรอยเปื้อนสีม่วงดำๆ ซึ่งสามารถล้างออกได้ แต่ควรใส่ถุงมือเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายทองโดนมือ

4. ในกระบวนการกรดกัดทองจะปล่อยควันที่ไม่พึงปรารถนาออกมาหลายชนิด จึงควรทำการทดลองในตู้ดูดควันที่เหมาะสมกับควันที่จะเกิดจากการทดลองขนาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, 2544, ทองคำ : ชุมทรัพย์ใต้แผ่นดินไทย, เอกสารประกอบการสนทนาเรื่อง “ทองคำ : มิติใหม่ของอุตสาหกรรมไทย”, วันที่ 14 กันยายน 2544, หน้า 6.

สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ, 2547.

<http://www.git.or.th> retrieve on 2004.

American Society for Testing and Material, 2005, Standard test methods for determination of gold in bullion by Cupellation : Annual Book of ASTM Standard, v.03.05, E 1335-04, p 737-742.

American Society for Testing and Material, 2004, Standard specification for refined gold : Annual Book of ASTM Standard, v.02.04, E 562-95 (Reproved 1999), p 528-531.

Corti, Chrietopher W, 2004, Roads to recovery : Processes for refining gold jewellery scraps and waste : Ganoksin.

<http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/ajm-roads-2-recovery.htm> retrieve on 24/8/04, 4 p.

Cpachem, 2004, Determination of gold by gravimetry.

<http://www.cpachem.com/en/Clas/Au-grav.htm> retrieve on 24/8/2004, 1 p.

Edmund, M. Wise, 1964, Gold : Recovery, properties, and application : D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey, p 323.

International Organization for Standard, 1993, Determination of gold in gold jewellery alloys-Cupellation method (fire assay) : International Standard, ISO 11426, 4 p.

Jchemed, 2005, Aqua regia.

<http://jchemed.wise.edu/JCESoftCLA/CCA3/MAIN/AQREGIA/PAGE1.HTM> retrieve on 14/6/2005, 2 p.

Loewen, R, 1980, Small scale gold refining : The Worshipful Company Goldsmiths, project report no. 44/1, ISSN : 0140 0541, 22 p.

McClelland, G.E., Wroblewski. M.D., and Eisele, J.A.,1985, Production of high-purity gold from precipitates and steel wool cathodes by hydrometallurgical refining : Bureau of Mines Information Circular/1985, IC 9002, 11 p.

Raw, peter, 2005, Small-medium scale refining by inquartation and parting : Ganoksin.

<http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/wge-refining.htm> retrieve on 7/6/05, 4 p.

Stanley, Norm, 2003, Make your own chemical : Recovery of gold : Sas.

<http://www.sas.org/E-Bullet> retrieve on 11/11/04, 3 p.

The 39.1911 encyclopedia, Love To Khow.

<http://www.39.1911> retrieve on 11/11/04, 21 p.

World Gold Council, 2003, Jewellery Technology.

<http://www.gold.org/discover/sci-indu/assaying/index.htm>, retrieve on 20/1/06, 3 p.

Webelements, 2005.

<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Au/key.htm> retrieve on 17/11/05, 1 p.