

รายงานวิชาการ

ฉบับที่ สอพ. 2/2548

การวิเคราะห์ทองคำและเงิน ในโลหะทองคำผสมเงิน

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

รายงานวิชาการ

ฉบับที่ สอพ. 2/2548

การวิเคราะห์ทองคำและเงิน ในโลหะทองคำผสมเงิน

นุชนาท นาคำ

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 2053

พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2548
จำนวน 20 เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

นุชนาท นาคำ.

การวิเคราะห์ทองคำและเงินในโลหะทองคำผสมเงิน / โดย นุชนาท นาคำ.--

กรุงเทพฯ : กลุ่มวิเคราะห์ สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและ
การเหมืองแร่, 2548.

36 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 30 ซม.

รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 2/2548.

ISBN 974-7782-80-4

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	VII
คำขอบคุณ	VIII
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
แหล่งแร่ทองคำและการทำเหมืองทองคำในประเทศไทย	3
ลักษณะแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทย	3
แหล่งแร่ทองคำปฐมภูมิ	3
แหล่งแร่ทองคำทุติยภูมิ	3
การสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทย	4
ประวัติการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ	4
ยุคทองของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ	4
ความสำเร็จของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ	7
การทำเหมืองแร่ทองคำ	7
การทำเหมืองเปิด	8
การทำเหมืองใต้ดิน	8
กระบวนการสกัดแร่ทองคำและเงิน	8
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทองคำ	11
คุณสมบัติทางเคมีของทองคำ	11
คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำ	11
หน่วยวัดความบริสุทธิ์ของทองคำ	11
ไฟน์เนส (fineness)	11
ระบบกะรัต (karat system)	12
ความบริสุทธิ์เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (percent)	12
มาตราชั่งน้ำหนักทองคำ	12
ทองรูปพรรณหรือทองคำผสม	13
White gold	13
Yellow green and red gold alloys	13
Black gold	14
Purple gold	14
Blue gold	14

ประโยชน์ของทองคำ	15
วิธีตรวจสอบปริมาณทองคำในโลหะทองคำผสม	15
Touchstone Testing	15
The Electronic Gold Tester	15
Density	16
X-ray Fluorescence (XRF)	16
Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP)	16
Fire Assay (Cupellation)	16
การวิเคราะห์ทองคำด้วยวิธี Cupellation	18
เครื่องมืออุปกรณ์	18
สารเคมี	19
การเตรียมตัวอย่าง	19
หลักการของวิธี Cupellation	20
ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์	21
น้ำหนักตัวอย่าง	21
ปริมาณตะกั่ว	21
อัตราส่วนของเงินต่อทองคำ	21
อุณหภูมิ	22
เวลาในการทำ cupellation	22
Cupel	22
การทำ parting	22
การหลือโลหะพื้นฐานใน dore bead	22
Proof assay sample correction	23
ขั้นตอนการวิเคราะห์	23
การตรวจสอบอย่างคร่าว ๆ	23
การตรวจสอบอย่างละเอียด	23
การคำนวณ	27
การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์	29
ความเที่ยง.....	29
ความแม่นยำ	29
ผลวิเคราะห์	30
บทวิจารณ์และสรุป	34
น้ำหนักตัวอย่าง	34
ปริมาณตะกั่ว	34

อัตราส่วนของเงินต่อทองคำ	34
อุณหภูมิ	35
Cupel	35
อัตราส่วนของกรดไนตริกในการทำ parting	35
การหลงเหลือโลหะพื้นฐานใน dore bead	35
เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญรูป

	หน้า
1. บริเวณที่พบแร่ทองคำในประเทศไทย	6
2. ภาพแสดงกระบวนการสกัดแร่ทองคำและเงิน	10
3. แสดงลักษณะตัวอย่างโลหะทองคำผสม	20
4. แสดงตำแหน่งการชักตัวอย่างโลหะทองคำผสม	20
5. การนำตัวอย่างที่ห่อตะกั่วแล้วใส่ในเบ้า cupel	24
6. แสดงเม็ดโลหะมีค่าที่อยู่ในเบ้า cupel	25
7. แสดงการรีดตัวอย่างด้วยเครื่องรีดโลหะ	25
8. ลักษณะตัวอย่างที่รีดบางและม้วน เพื่อนำไปทำ parting	26
9. ลักษณะแผ่นทองคำที่ anneal แล้ว	26
10. กราฟแสดงจำนวนค่าภาคหลวงแร่ทองคำและเงินที่จัดเก็บได้ตั้งแต่ปีงบประมาณพ.ศ. 2545-2547	33

สารบัญตาราง

	หน้า
1. ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างหน่วยที่ใช้วัดความบริสุทธิ์ของทองคำ	12
2. ตัวอย่างอัตราส่วนประกอบของโลหะทองคำผสม (karat gold alloy) ที่ผลิตใน สหรัฐอเมริกา	14
3. เปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์โลหะทองคำผสม	17
4. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนสัมพัทธ์	30
5. ตัวอย่างผลวิเคราะห์โลหะทองคำผสมเงิน ปี พ.ศ. 2545	31
6. ตัวอย่างผลวิเคราะห์โลหะทองคำผสมเงิน ปี พ.ศ. 2546	31
7. ตัวอย่างผลวิเคราะห์โลหะทองคำผสมเงิน ปี พ.ศ. 2547	32
8. จำนวนค่าภาคหลวงทองคำและเงินที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2545-2547	33

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

HNO ₃	=	กรดไนตริก
H ₂ O	=	น้ำ
Aqua regia	=	กรดกัดทอง
Cu	=	ทองแดง
Zn	=	สังกะสี
Ni	=	นิกเกิล
Ag	=	เงิน
Fe	=	เหล็ก
Au	=	ทอง
Pt	=	ทองคำขาว
เครื่อง AAS	=	Atomic Absorption Spectrophotometer
S	=	standard deviation
RSD	=	relative standard deviation
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
ISO	=	International Organization for Standard
CIL	=	Carbon-In-Leach

การวิเคราะห์ทองคำและเงินในโลหะทองคำผสมเงิน

โดย นุชนาท นาคำ

บทคัดย่อ

การจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่ทองคำ คำนวณจากมูลค่าของทองคำและเงินในโลหะทองคำผสมเงิน ที่สกัดได้จากสินแร่ทองคำ ดังนั้นต้องตรวจวิเคราะห์ปริมาณทองคำและเงินในโลหะทองคำผสมเงินที่สกัดได้จากสินแร่ทองคำ การวิเคราะห์ใช้วิธี Cupellation ซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐานสากลที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด หลักการของวิธีคือห่อตัวอย่างด้วยแผ่นโลหะตะกั่ว หากตัวอย่างมีเงินน้อยให้เติมโลหะเงินมากกว่าทองคำอยู่ 2-6 เท่า นำก้อนตะกั่วไปหลอมในเบ้า cupel ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ตัวอย่างและตะกั่วจะหลอมรวมกัน จากนั้นโลหะพื้นฐานต่าง ๆ ที่รวมอยู่ในตัวอย่างและตะกั่วจะถูกดูดซับด้วยเบ้า cupel เหลือแต่เม็ดโลหะมีค่า (dore bead) นำเม็ดโลหะนี้ไปทุบและรีดให้บาง แล้วนำไปสกัดเงินออกด้วยกรดไนตริก (parting) จนเหลือแต่แผ่นทองคำ คำนวณปริมาณทองคำจากน้ำหนักแผ่นทองคำ

จุดสำคัญของการวิเคราะห์อยู่ที่ ต้องทำตัวอย่างมาตรฐานที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับตัวอย่างทำควบคู่ไปด้วย แล้วคำนวณผลเปรียบเทียบ (proof correction) ทั้งนี้เนื่องจากในขณะหลอมละลาย ตัวอย่าง ทองคำและเงินมีการสูญหายไปบ้างบางส่วน จากปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณตะกั่วที่ใช้ อุณหภูมิ การดูดซับด้วยเบ้า cupel การระเหย อัตราส่วนของโลหะเงินและทองคำ ความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ทำ parting และเวลาในการหลอมตัวอย่าง การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้ผลวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงค่อนข้างสูง ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (% RSD) ของการวิเคราะห์ทองคำและเงินมีค่าน้อยกว่า 0.50% (N = 3) ทั้งสองธาตุ เมื่อทองคำมีค่าอยู่ระหว่าง 18-35% และเงินมีค่าอยู่ระหว่าง 65-81% ผลวิเคราะห์ที่ได้ใช้ในการคำนวณค่าภาคหลวงแร่ ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2545 ถึง 2547 รัฐจัดเก็บรายได้รวมเป็นเงิน 161.93 ล้านบาท

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณคุณสุรพงษ์ เชียงทอง ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน ที่ให้การสนับสนุนในการจัดทำเอกสารวิชาการ คุณนันทนา กันยานุวัฒน์ หัวหน้ากลุ่มวิเคราะห์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำเอกสาร และขอขอบคุณข้าราชการเพื่อนร่วมงานในกลุ่มวิเคราะห์ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

บทนำ

ทองคำ เป็นโลหะที่สวยงาม มีค่า จัดอยู่ในกลุ่มโลหะมีสกุล (noble metal) เป็นที่ต้องการของคนทั่วโลกและมีอิทธิพลต่อผู้คนมาทุกยุคทุกสมัย ในอดีตเรายึดถือทองคำเป็นวัตถุที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนในเชิงพาณิชย์ ก่อนที่มนุษย์จะผลิตเงินตรามาใช้แทน จวบจนปัจจุบันยังคงใช้ทองคำเป็นทรัพย์สินสำรองเงินตราต่างประเทศ ทั้งนี้ก็ด้วยคุณสมบัติของทองคำเองที่มีความสวยงาม อร่าม ไม่เป็นสนิม สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เปลี่ยนสภาพ จึงมีการสะสมทองคำแทนเงินตรามาจนถึงปัจจุบัน ในชีวิตประจำวันของเราต้องสัมผัสกับสิ่งของเครื่องใช้ที่มีทองคำผสมอยู่หลายอย่าง เช่น เครื่องประดับ ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทันตกรรม เหยี่ยูกษาปณ์ เป็นต้น นอกจากนี้ทองคำยังมีบทบาทที่สำคัญในสถานะที่เศรษฐกิจของโลกไม่มั่นคงหรือมีการเปลี่ยนแปลงทางการเมือง ราคาทองคำก็จะพุ่งสูงขึ้นในเวลาอันสั้น จึงทำให้คนทั่วไปหันมาสะสมทองคำเพื่อการลงทุนหรือเก็งกำไรกันมากขึ้น

เมื่อความต้องการทองคำมีมาก จึงมีการสำรวจแหล่งแร่ทองคำเพิ่มมากขึ้น ประเทศไทยเราก็เป็นประเทศหนึ่งที่พบทองคำในหลายจังหวัด และมีประวัติการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำมาตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา ต่อมาพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ตั้ง “กรมราชโลหกิจและภูมิวิทยา” ขึ้นในปี พ.ศ. 2434 และนับจากนั้นเป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันทางราชการโดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กรมทรัพยากรธรณีเดิม) ได้อนุญาตให้เอกชนสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในพื้นที่หลายแห่งทั่วประเทศ จนสามารถค้นพบแหล่งแร่ทองคำหลายแหล่ง และที่ปรากฏเป็นรูปธรรมสามารถพัฒนาในเชิงพาณิชย์ได้ในขณะนี้ มี 2 บริษัท คือ บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด บริเวณพื้นที่เขาโป่ง รอยต่อระหว่างอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้ดำเนินการทำเหมืองและสกัดทองคำจากแร่จนได้เป็นโลหะทองคำปนเงินตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน ส่วนอีกบริษัทคือ บริษัท ทองคำ จำกัด บริเวณพื้นที่ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ขณะนี้อยู่ระหว่างดำเนินการ คาดว่าจะเปิดดำเนินการได้ในไม่ช้า

ความสำเร็จของบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด และ บริษัท ทองคำ จำกัด จะนำมาซึ่งการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เกิดการจ้างแรงงานในประเทศในทุกระดับ ทำให้รัฐมีรายได้จากการจัดเก็บภาษีนิติบุคคล ค่าภาคหลวงแร่ ซึ่งการจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่เรียกเก็บตามมูลค่าในโลหะทองคำผสมเงินที่สกัดได้จากแร่ทองคำและเงิน โดยถือตามผลวิเคราะห์ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เป็นเกณฑ์ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณทองคำและเงินจึงต้องมีความถูกต้องแม่นยำสูง เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมแก่ผู้ประกอบการและรัฐได้ประโยชน์สูงสุด

ในเอกสารฉบับนี้ผู้เขียนได้นำเสนอการวิเคราะห์ทองคำและเงินด้วยวิธี Fire Assay หรือ Cupellation ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับในมาตรฐานระหว่างประเทศ เช่น มาตรฐานของ ISO (The International Organization for Standard) มาตรฐานของ ASTM (The American Society for

Testing and Materials) ซึ่งวิธีนี้เหมาะสมกับตัวอย่างที่มีปริมาณทองคำและเงินสูงๆ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าวิธีนี้เป็นวิธีมาตรฐานแต่ก็มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งในเอกสารฉบับนี้ได้ระบุถึงปัจจัยดังกล่าวและแนวทางในการแก้ไขปัญหาอันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงหรือผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ เพื่อพัฒนางานด้านโลหะมีค่าได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทองคำ
2. เพื่อนำเสนอเทคนิคการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณทองคำและเงินในตัวอย่างโลหะทองคำผสมเงิน ด้วยวิธี Cupellation

แหล่งแร่ทองคำและการทำเหมืองแร่ทองคำในประเทศไทย

1. ลักษณะแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทย

แหล่งแร่ทองคำมักพบเกิดร่วมกับหินชนิดต่างๆ หลายชนิด เช่น หินอัคนี หินชั้น โดยทั่วไปมักเจอด้วยเงิน ทองแดง หรือบางทีพบว่ามีธาตุบิสมัท พรอท อยู่ด้วย แร่ทองคำโดยมากพบอยู่ในแหล่งสะสมตะกอนเป็นก้อนหรือเป็นเกล็ด หรือในสายแร่ร่วมกับแร่ควอร์ตซ์และแร่ซัลไฟด์อื่นๆ (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมธรณีวิทยา, 2530)

แหล่งแร่ทองคำในประเทศไทยจึงจำแนกตามลักษณะการเกิดได้ 2 แบบ คือ แบบปฐมภูมิและแบบทุติยภูมิ (กรมทรัพยากรธรณี, 2543)

1.1 แหล่งแร่ทองคำปฐมภูมิ (Primary deposits)

แหล่งแร่ทองคำปฐมภูมิ เป็นแหล่งแร่ทองคำที่มีแร่ทองคำเกิดร่วมกับหินต้นกำเนิด ซึ่งมีทั้งหินอัคนี หินชั้น และหินแปร โดยอาศัยกระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดการสะสมตัวของแร่ทองคำ อาทิ ขบวนการสายน้ำแร่ร้อน (hydrothermal) ขบวนการแปรสัมผัส (contact metamorphic) และขบวนการเติมสารละลายซิลิกา (silicification) เป็นต้น ทองคำมักเกิดอยู่ในหินหรือสายแร่ที่แทรกในหิน ขนาดของแร่ทองคำมีตั้งแต่ขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จนถึงขนาดใหญ่มองเห็นได้ชัดเจน บริเวณที่พบแหล่งแร่ทองคำแบบนี้ได้แก่ อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว แหล่งแร่ทองคำโต๊ะโมะ อำเภอสุคิริน จังหวัดนราธิวาส อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี เป็นต้น

1.2 แหล่งแร่ทองคำทุติยภูมิ (Secondary deposits)

แหล่งแร่ทองคำทุติยภูมิหรือเรียกอีกอย่างว่า แหล่งลานแร่ มักพบใกล้แหล่งแร่ปฐมภูมิ เกิดจากการผุพังของหินที่มีแร่ทองคำแบบปฐมภูมิ แล้วสะสมตัวในที่เดิมหรือถูกน้ำชะล้างพัดพาไปอยู่ตามบริเวณต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น เชิงเขา ธารน้ำหรือลำห้วย เป็นต้น ส่วนใหญ่แร่ทองคำที่พบจะมีขนาดใหญ่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า บริเวณที่พบได้แก่ บ้านป่าร่อน อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ บริเวณลานแร่ตึกในเขตอำเภอตะกั่วทุ่ง อำเภอเมือง จังหวัดพังงา และ อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต บ้านทุ่งฮั่ว อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ห้วยหลวง อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย เขาพนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร เป็นต้น

2. การสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทย

2.1 ประวัติการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ

ในอดีตการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทยได้ค้นพบแหล่งแร่หลายแห่ง แหล่งที่มีชื่อเสียงและมีการกล่าวถึงอยู่เสมอมีอยู่ 4 แหล่ง ดังนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2543)

1) บ้านป่าร่อน อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

มีบันทึกการทำเหมืองทองคำครั้งแรกในปี พ.ศ. 2283 ถึงปี พ.ศ. 2293 สามารถผลิตทองคำได้ 109.5 กิโลกรัม และไม่ปรากฏหลักฐานการผลิตอีกจนในช่วงปี พ.ศ. 2528-2532 มีการผลิตทองคำเป็นแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุกของบริษัท อารังเกียรติ จำกัด ได้ทองคำประมาณ 8 กิโลกรัม

2) บ้านบ่อทอง อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี

พบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2414 และเริ่มทำเหมืองในปี พ.ศ. 2416 โดยนำเทคโนโลยีจากต่างประเทศมาใช้เป็นครั้งแรก ต่อมาได้ปิดดำเนินการและเปิดใหม่เป็นช่วงๆ แต่ไม่ปรากฏรายงานการผลิตแร่ จนในปี พ.ศ. 2493 ได้เปิดดำเนินการอีกครั้งหนึ่ง ได้ผลผลิตตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2497-2499 ประมาณ 55 กิโลกรัม และหยุดดำเนินการในปี พ.ศ. 2500 จนในปี พ.ศ. 2523-2527 ได้มีชาวบ้านจำนวนนับหมื่นเข้าไปเสี่ยงโชคขุดหาแร่ทองคำในแหล่งแร่

3) โตะโมะ อำเภอสุคิริน จังหวัดนราธิวาส

สำรวจพบแร่ทองคำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2433 เริ่มทำเหมืองในช่วงปี พ.ศ. 2479-2483 โดยบริษัทชาวฝรั่งเศส สามารถผลิตทองคำได้ 1,850 กิโลกรัม ต่อมาในปี พ.ศ. 2527 บริษัท ชลสิน จำกัด ได้รับสิทธิสำรวจและทำเหมืองแร่ทองคำในแหล่งนี้ ผลผลิตระหว่างปี พ.ศ. 2533-2539 ได้ทองคำหนัก 230 กิโลกรัม

4) บ้านบ่อทอง อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

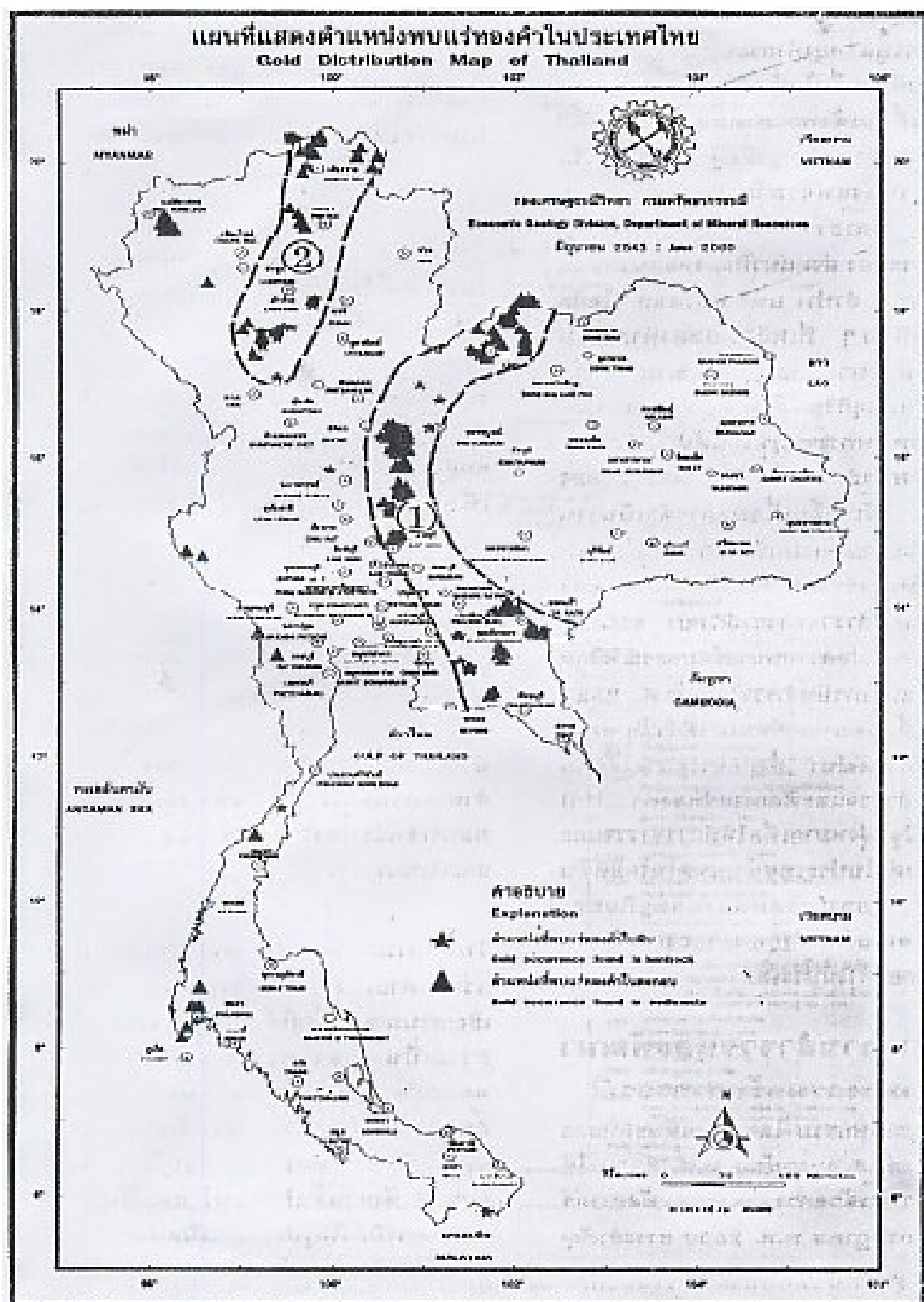
พบครั้งแรกปี พ.ศ. 2433 มีการสำรวจจากชาวต่างประเทศในปี พ.ศ. 2453 แต่ไม่มีการดำเนินงานต่อจนกระทั่งปี พ.ศ. 2483 หน่วยงานของรัฐได้สำรวจเอง แต่ไม่มีรายงานการผลิตแร่ทองคำ

2.2 ยุคทองของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ

จากการสำรวจข้อมูลอย่างเป็นระบบของกรมทรัพยากรธรณี ทำให้ทราบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำที่สำคัญหลายแห่งที่มีศักยภาพในการพัฒนา พื้นที่ที่พบแร่ทองคำสูงมีอยู่ 2 แนวๆแรก คือ แนวที่พาดผ่านตั้งแต่จังหวัดเลย หนองคาย เพชรบูรณ์ พิจิตร นครสวรรค์

ลพบุรี ปราจีนบุรี สระแก้ว ชลบุรี และระยอง ส่วนแนวที่สองคือ แนวที่พาดผ่านจังหวัดเชียงราย ลำปาง แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย และตาก ดังแสดงในรูปที่ 1

ยุคทองของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำจึงเริ่มขึ้น เมื่อกระทรวงอุตสาหกรรม โดยความเห็นชอบของคณะรัฐมนตรี ได้ออกประกาศนโยบายว่าด้วยการสำรวจและพัฒนาแร่ทองคำในปี พ.ศ. 2530 โดยได้เปิดประมูลพื้นที่ให้ภาคเอกชนขอสิทธิสำรวจและทำเหมืองแร่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 เป็นต้นมา



รูปที่ 1 บริเวณที่พบแร่ทองคำในประเทศไทย คัดลอกจากกรมทรัพยากรธรณี (2543)

2.3 ความสำเร็จของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ

จากการให้สิทธิสำรวจแก่ภาคเอกชนหลายราย ความสำเร็จของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำจึงปรากฏเป็นรูปธรรมในขณะนี้ คือ การค้นพบแหล่งแร่ทองคำในเชิงพาณิชย์ของบริษัท ทุงคำ จำกัด และบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด

บริษัท ทุงคำ จำกัด ซึ่งประมูลได้สิทธิสำรวจและทำเหมืองแร่ทองคำที่จังหวัดเลย ได้สำรวจพบแหล่งแร่ทองคำชนิดปฐมภูมิที่บริเวณตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งมีปริมาณแร่สำรอง 985,682 ตัน ที่ความสมบูรณ์ทองคำเฉลี่ย 5.05 กรัม ต่อเนื้อหินปนทองคำ 1 ตัน ซึ่งเป็นผลผลิตโลหะทองคำประมาณ 5 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,800 ล้านบาท ตามราคาประกาศของกรมทรัพยากรธรณีกรัมละ 362.57 บาท ณ วันที่ 30 มิถุนายน 2543 (กรมทรัพยากรธรณี, 2543) คาดว่าจะสามารถเปิดดำเนินการได้ในไม่ช้า

บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ซึ่งได้รับอาชญาบัตรพิเศษเพื่อการสำรวจแร่ทองคำในพื้นที่จังหวัดพิจิตรและเพชรบูรณ์ ได้สำรวจพบแหล่งแร่ทองคำชนิดปฐมภูมิ ในบริเวณพื้นที่เขาโป่ง บริเวณรอยต่ออำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และ อำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งมีปริมาณแร่สำรอง 6.5 ล้านตัน ที่ค่าความสมบูรณ์ทองคำเฉลี่ย 3.3 กรัมต่อตัน ซึ่งจะเป็นผลผลิตโลหะทองคำประมาณ 21.45 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 7,800 ล้านบาท ตามราคาประกาศของกรมทรัพยากรธรณีกรัมละ 362.57 บาท ณ วันที่ 30 มิถุนายน 2543 (กรมทรัพยากรธรณี, 2543) บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ได้รับอนุญาตประทานบัตรทำเหมืองแร่ทองคำจำนวน 4 แปลง เนื้อที่ 1,200 ไร่ ในท้องที่ตำบลเขาเจ็ดยอด อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และ ตำบลท้ายดง อำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2543 มีกำลังการผลิตแร่ทองคำประมาณ 750,000 ตันต่อปี และสามารถผลิตโลหะทองคำสมเงินได้ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2544 เป็นต้นมา

ความสำเร็จของทั้งสองบริษัท จะนำมาซึ่งการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งกำลังประสบภาวะวิกฤตเศรษฐกิจและสามารถช่วยให้รัฐประหยัดเงินตราต่างประเทศได้ไม่ต่ำกว่าปีละนับพันล้านบาท นอกจากผลประโยชน์พิเศษที่รัฐจะได้รับแล้ว รัฐจะมีรายได้จากค่าภาคหลวงแร่และยังก่อให้เกิดภาษีรายได้นิติบุคคล การจ้างงานในประเทศทุกระดับอีกด้วย

3. การทำเหมืองแร่ทองคำ

หลังจากการสำรวจพบแหล่งแร่ทองคำ และตรวจสอบความสมบูรณ์ของแหล่งแร่แล้ว การเลือกวิธีทำเหมือง จะพิจารณาจากลักษณะของแหล่งแร่เป็นสำคัญ โดยทั่วไปลักษณะของแหล่งแร่แบ่งไว้เป็น 3 ลักษณะ คือ แหล่งแร่ที่อยู่ในระดับตื้นใกล้ผิวดิน แหล่งแร่ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักและแหล่งทางแร่หรือสายแร่ (Lode) หรือแหล่งแร่รวมกันอยู่เป็นกลุ่มใหญ่ (Massive Deposits) ทั้งนี้สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมากคือ ขนาด รูปร่าง ความหนา ความลึก รวมถึงความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ หลังจากนั้นจึงเริ่มการทำเหมืองตามลักษณะของแหล่งแร่ ซึ่งการทำเหมืองโดยทั่วไปมี 2 ประเภท (กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา, 2545) คือ

3.1 การทำเหมืองเปิด (Surface Maining)

การทำเหมืองเปิดเป็นการทำเหมืองที่กระทำต่อพื้นที่ โดยเริ่มจากผิวดินลงไป ไม่ว่าบริเวณนั้นจะมีส่วนที่เป็นน้ำปกคลุมอยู่หรือไม่ก็ตาม จนถึงส่วนที่เป็นแหล่งแร่หรือบริเวณแร่ บริเวณหน้าเหมืองจะอยู่ในที่โล่งแจ้งเป็นบริเวณกว้าง โดยไม่มีส่วนเปลือกดินอยู่เหนือบริเวณหน้าเหมืองที่กำลังขุดตักอยู่ การทำเหมืองเปิดบ่อเหมืองกระทำต่อพื้นที่ที่มีภูมิประเทศค่อนข้างราบ โดยการเปิดเปลือกดินออกเป็นบ่อขุมเหมืองให้มีความลาดเอียงจากปากบ่อเหมืองลงมาถึงก้นบ่อซึ่งความลาดชันของบ่อนี้จะต้องไม่มากเกินไป เพื่อป้องกันการถล่มพังทลายของหน้าเหมือง การทำเหมืองแร่แบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของแหล่งแร่เป็นหลัก

3.2 การทำเหมืองใต้ดิน (Underground Mining)

การทำเหมืองใต้ดินเป็นการทำเหมืองที่ทำการเจาะช่องทางขนาดไม่ใหญ่โตนักเข้าหาบริเวณแร่ เพื่อขุดสินแร่ที่อยู่ใต้ดิน ดังนั้นจึงมีส่วนเปลือกดินอยู่เหนือบริเวณหน้าเหมือง ปัจจัยหลักในการทำเหมืองชนิดนี้ คือ the strip ratio หมายถึง จำนวนหน่วยของมูลดินที่อยู่กับแร่ในเหมือง ซึ่งต้องถูกแยกออกจากแร่ต่อ 1 หน่วยแร่ ถ้าอัตราส่วนของมูลดินต่อแร่มีมาก การทำเหมืองเปิดเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม การทำเหมืองใต้ดินมีวัตถุประสงค์เพื่อดึงแร่ใต้ดินอย่างประหยัด ปลอดภัยและมีของเสียน้อยที่สุด การทำเหมืองแบบนี้มีหลายวิธี เช่น วิธีไม่ต้องค้ำยัน (Open Stope) วิธีสร้างเสาหินค้ำยัน (Room and Pillar) และวิธีสร้างอุโมงค์ชั้นย่อย (Sublevel) เป็นต้น

เหมืองแร่ทองคำของประเทศไทยที่สำรวจพบและมีศักยภาพในเชิงพาณิชย์ทั้ง 2 บริเวณของบริษัท หงคำ จำกัด และบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด มีลักษณะเหมาะสมที่จะทำเหมืองเปิด

4. กระบวนการสกัดแร่ทองคำและเงิน

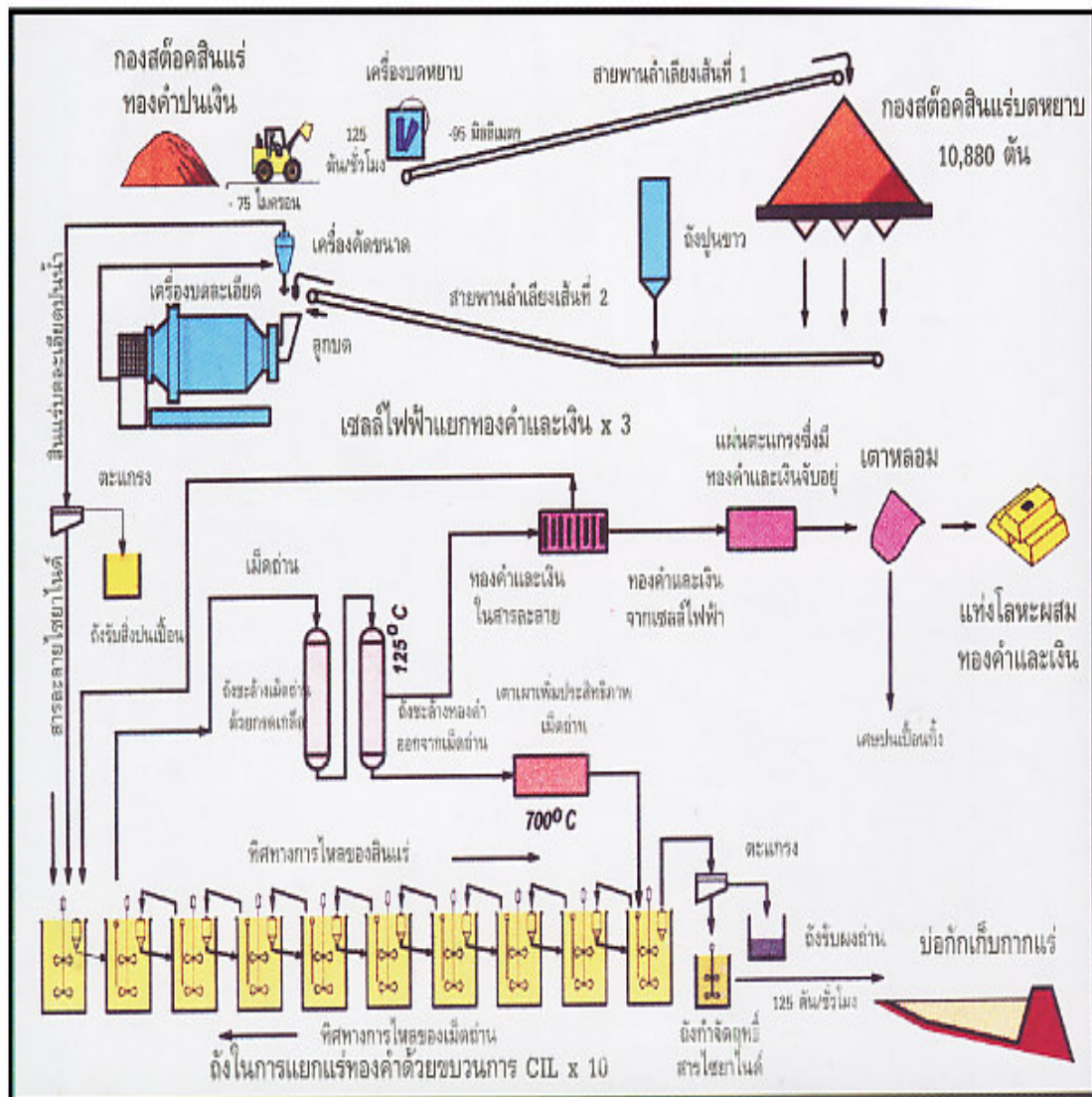
เหมืองแร่ทองคำชาติรี ของบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด เป็นบริษัทที่เปิดดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน เหมืองทองคำแห่งนี้ตั้งอยู่บนพื้นที่รอยต่อระหว่างอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ ห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางทิศเหนือประมาณ 280 กิโลเมตร

ในบริเวณพื้นที่โครงการจะมีการเปิดเป็นบ่อเหมือง 2 บ่อ คือ บ่อเหมืองตะวันออก ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดพิจิตร และบ่อเหมืองจันทรา ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดเพชรบูรณ์ ความสมบูรณ์ของทองคำโดยเฉลี่ยในสินแร่ 1 ตัน จะมีทองคำอยู่ประมาณ 2.7 กรัม และเงินอยู่ประมาณ 14 กรัม

สินแร่และมูลหินที่ไม่แข็งมาก สามารถขุดตักด้วยรถตักได้ จะถูกลำเลียงด้วยรถบรรทุกไปยังเครื่องบดหยาบโดยตรง ส่วนสินแร่และมูลหินที่มีความแข็งมากจะต้องทำการระเบิดก่อนที่จะขุดด้วยรถตัก ซึ่งก่อนการระเบิดและขุดตักสินแร่และมูลหินแต่ละครั้ง นักธรณีวิทยาต้องทำการเจาะเพื่อเก็บข้อมูลความสมบูรณ์ของทองคำและเงินในเนื้อหินก่อน และทำการจำแนกประเภทของหินออกเป็นสินแร่ สินแร่เกรดต่ำ และมูลหิน ทั้งนี้เพื่อควบคุมคุณภาพในการทำเหมืองเพื่อให้เกิดการสูญเสียให้น้อยที่สุด

สินแร่ที่ผ่านการบดหยาบให้มีขนาดประมาณไม่เกิน 95 มิลลิเมตร จะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องบดละเอียด ให้มีขนาด 75 ไมครอน ผสมกับน้ำเป็นสารละลาย แล้วปล่อยเข้าสู่ถังแร่ละลายสินแร่ (CIL Leaching Tanks) เพื่อชะล้างโลหะทองคำและเงินออกจากสินแร่ ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีแบบ CIL (Carbon-In-Leach) เป็นกระบวนการชะล้างโลหะทองคำจากสินแร่โดยใช้สารละลายไซยาไนด์ และทำการสกัดจับโลหะทองคำในสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งทำจากกะลามะพร้าว เม็ดถ่านจะผสมอยู่ในสารละลายสินแร่และถูกดูดซับโลหะทองคำและเงินเอาไว้ จากนั้นจะทำการกรองเม็ดถ่านแล้วชะล้างด้วยกรด (acid-wash) เพื่อล้างโลหะทองคำและเงินออกจากเม็ดถ่าน สารละลายกรดนี้จะผ่านเข้าสู่การจับโลหะด้วยขั้วไฟฟ้า (Electrowining) โลหะทองคำและเงินจะจับตัวอยู่ที่ตะแกรง จากนั้นจะนำไปผสมกับ flux แล้วเข้าสู่เตาหลอมเพื่อหลอมโลหะทองคำและเงินเป็นแท่ง ช่วงนี้จะมีการชักตัวอย่างส่งวิเคราะห์หาปริมาณทองคำและเงินเพื่อชำระค่าภาคหลวงแร่ แท่งโลหะที่ได้นี้จะมีส่วนผสมของทองคำประมาณร้อยละ 25-30 และส่วนที่เหลือเป็นเงิน

กากแร่ที่เหลือจากกระบวนการจะลดปริมาณสารไซยาไนด์ให้อยู่ในระดับไม่เกิน 20 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งถือเป็นระดับที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัยต่อชีวิตสัตว์ ก่อนที่จะส่งไปกักเก็บไว้ในบ่อกักเก็บกากแร่ น้ำบางส่วนที่ผสมอยู่ในกากแร่จะถูกสูบกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นระบบหมุนเวียน (บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด, ไม่ระบุปีที่พิมพ์) กระบวนการสกัดแร่ทองคำและเงิน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพแสดงกระบวนการสกัดแร่ทองคำและเงิน คัดลอกจากบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด (ไม่ระบุปีที่พิมพ์)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทองคำ

1. คุณสมบัติทางเคมีของทองคำ

ทองคำ (gold) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Au เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม (atomic number) ลำดับที่ 79 น้ำหนักอะตอม (atomic weight) 196.9665 จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1064.43 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 3,080 องศาเซลเซียส พบเกิดเป็นโลหะธาตุธรรมชาติเกิดผสมกับธาตุเงินหรือธาตุอื่นๆ เช่น ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และเทลลูเรียม (Te) ละลายได้ในกรดกัดทอง (aqua regia) ถ้ามีเงินปนมากจะเกิดซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ค้างอยู่ (พงศศักดิ์ วิจิต, 2529) ทองคำทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ไม่ละลายในกรดชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่ละลายได้ดีในกรดกัดทอง นอกจากนี้ยังละลายได้ในโบรมีน (bromine) คลอรีน (chlorine) และไซยาไนด์ (cyanide) มักจะหลอมละลายได้ง่ายในตะกั่วหรือบิสมัท และรวมตัวเป็น amalgam ทองคำมีความอ่อนตัวได้ง่าย ดังนั้นในการทำทองรูปพรรณจึงนิยมผสมโลหะอื่นๆ เช่น ทองแดง สังกะสี นิกเกิล หรือเงิน เพื่อให้เนื้อทองแข็งขึ้นจะได้คงรูป (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2545)

2. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำ

ลักษณะที่พบโดยทั่วไปเป็นเกล็ด หรือกลม-แบน อาจมีลักษณะเป็นก้อน เนื้อแน่น แตกกิ่งก้านสาขาคายกึ่งไม้ ชนิดที่เป็นรูปผลึกนั้นหาได้ยากและมักมีหน้าผลึกไม่สมบูรณ์ รูปผลึกจัดอยู่ในระบบไอโซเมตริก (Isometric System) แบบออกตะฮีดรอน (Octahedron) แบบลูกเต๋า (Cube) หรือแบบโดเดคาฮีดรอน (Dodecahedron) มีสีเหลืองเข้มหรืออ่อนจาง มีความวาวแบบโลหะ ความแข็งตามมาตรฐานของโมห์ 2.5-3 ค่าความถ่วงจำเพาะถ้าบริสุทธิ์จะมีค่า 19.3 โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 15.6-19.3 แล้วแต่มลทินปะปน (พงศศักดิ์ วิจิต, 2529) ความถ่วงจำเพาะของทองคำถือว่าสูงเมื่อเทียบกับโลหะอื่น เช่น เทียบกับเหล็ก (Fe) ที่มีความถ่วงจำเพาะ 7.9 จะสูงกว่าถึง 2.5 เท่า ดังนั้นเมื่อถือทองคำในมือจึงรู้สึกหนักหน่วงกว่าโลหะชนิดอื่นๆ

3. หน่วยวัดความบริสุทธิ์ของทองคำ

ปริมาณทองคำในโลหะทองคำผสมสามารถแสดงได้ 3 ระบบ (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2545) คือ

3.1 ไฟน์เนส (fineness)

ระบบนี้แสดงปริมาณทองคำบริสุทธิ์ที่มีในตัวอย่าง เทียบกับน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด 1,000 ส่วน (parts of gold per 1,000) ใช้สัญลักษณ์ ‰ เช่น fineness 750 หรือ 750 ‰ หมายถึงทองผสมหรือทองรูปพรรณหนัก 1,000 ส่วน มีทองคำบริสุทธิ์ 750 ส่วน ระบบนี้นิยมใช้กันในยุโรป

3.2 ระบบกะรัต (karat system)

ระบบนี้นิยมใช้กันในการเครื่องประดับ อัญมณี ความบริสุทธิ์ของทองคำในรูปกะรัตจะคิดปริมาณทองคำบริสุทธิ์เทียบกับตัวอย่างทั้งหมด 24 ส่วน (parts of gold per 24) เช่นทองคำ 24 กะรัต หมายถึง ทองคำบริสุทธิ์ 100% หรือไม่น้อยกว่า 99% ขึ้นไป ทองรูปพรรณ 14 กะรัต (14 K) หมายถึง โลหะผสมที่มีทองคำบริสุทธิ์ 14 ส่วน อีก 10 ส่วน เป็นโลหะอื่น

3.3 ความบริสุทธิ์เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (percent)

คิดเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด 100 ส่วน (parts of gold per 100) ซึ่งก็คือวิธีคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เหมือนตัวอย่างอื่นๆ ทั่วไป ระบบทั้งสามสามารถแสดงเปรียบเทียบกันได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างหน่วยที่ใช้วัดความบริสุทธิ์ของทองคำ
คัดลอกจากนันทนา กันยานุวัฒน์ (2545)

fineness	karats	% of gold
1,000	24	100.00
916	22	91.67
875	21	87.50
750	18	75.00
583	14	58.33
416	10	41.67
375	9	37.50
333	8	33.33

4. มาตราชั่งน้ำหนักทองคำ

การซื้อขายกันในตลาดกรุงเทพฯ จะคือน้ำหนักเป็นสลึงหรือบาท โดย 4 สลึง เท่ากับ 1 บาท เทียบเป็นกรัม ดังนี้

ทองรูปพรรณ	1 บาท	=	15.16	กรัม
ทองรูปพรรณ	1 สลึง	=	3.79	กรัม
ทองรูปพรรณ	1 บาท	=	15.20	กรัม

น้ำหนักที่ซื้อขายกันในต่างประเทศ จะซื้อขายกันเป็น troy ounce ซึ่งคิดเทียบเป็นหน่วยอื่น ๆ ได้ดังนี้ (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2545)

1 troy ounce	=	20	pennyweight
1 troy ounce	=	1.097	ordinary ounces
1 troy ounce	=	480	grains
1 troy ounce	=	31.1	grams
1,000 troy ounce	=	31.1	kilograms
1 gram	=	0.03215	troy ounces
1 kilogram	=	32.15	troy ounces
1 ton	=	32,151	troy ounces
1 avoirdupois (ordinary) ounce	=	0.911	troy ounces
1 avoirdupois (ordinary) pound	=	14.58	troy ounces

5. ทองรูปพรรณหรือทองคำผสม (gold alloy)

เนื่องจากทองคำมีความอ่อนตัว การทำทองรูปพรรณจึงต้องผสมโลหะอื่นเล็กน้อย เพื่อให้มีความแข็งมากขึ้น ทองที่มีความบริสุทธิ์เกิน 18 K จะมีสีทอง แต่ถ้าต่ำกว่านั้นสีของทองผสมจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมจึงทำให้เกิดทองสีต่างๆ ขึ้น (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2545) เช่น

5.1 White gold (ทองขาว)

โลหะผสมชนิดนี้ที่ผลิตกันมักมีส่วนผสม 2 แบบใหญ่ๆ คือ แบบแรกเป็นโลหะผสมทองคำ ที่มีทองคำ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี (Au-Cu-Ni-Zn) โดยตัวทำให้ขาว (bleaching agent) คือ นิกเกิลและสังกะสี อีกส่วนผสมหนึ่งคือ ทองคำ แพลเลเดียม และเงิน (Au-Pd-Ag) ซึ่งส่วนผสมนี้จะทำให้ขาวต้องใส่แพลเลเดียมถึง 15% ซึ่งต้นทุนสูงและต้องใช้อุณหภูมิสูงด้วย ปัจจุบันมีคนแพ้นิกเกิลกันมากประมาณ 20% ของประชากรโลกจึงมีการคิดค้นส่วนผสมใหม่ๆ ขึ้นมาทดแทนเพื่อหลีกเลี่ยงนิกเกิลและแพลเลเดียมที่มีราคาสูง ธาตุที่จะนำมาผสมใหม่จะเป็นแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และเจอร์เมเนียม (Ge)

5.2 Yellow green and red gold alloys

เป็นโลหะผสมระหว่าง เงิน ทองคำ และทองแดง (Ag-Au-Cu) ส่วนผสมของโลหะที่แตกต่างกันจะให้สีต่างกัน ถ้าเพิ่มทองแดงจะได้สีออกแดง แต่ถ้าเพิ่มเงินจะได้สีออกเขียว ตัวอย่างส่วนผสมที่ให้สีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 บางส่วนผสมใส่สังกะสีและนิกเกิลลงไปด้วย และถ้าใส่สังกะสีสูงถึง 15% จะทำให้สีแดงเปลี่ยนเป็นแดง-เหลือง หรือเหลืองเข้ม

ตารางที่ 2 ตัวอย่างอัตราส่วนประกอบของโลหะทองคำผสม (karat gold alloy) ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกา คัดลอกจากนันทนา กันยานุวัฒน์ (2545)

กะรัต	สี	ร้อยละของส่วนประกอบ (โดยน้ำหนัก)				
		ทอง	เงิน	ทองแดง	สังกะสี	นิกเกิล
18	yellow	75.00	15.00	10.00	–	–
	white	75.00	–	2.23	5.47	17.80
	green	75.00	22.50	2.50	–	–
	red	75.00	5.00	20.00	–	–
14	yellow	58.33	8.30	29.19	4.17	–
	white	58.33	–	22.10	8.77	10.80
	green	58.33	32.50	8.97	0.20	–
	red	58.33	2.08	39.59	–	–
10	yellow	41.70	5.50	43.80	9.00	–
	white	41.70	–	32.82	8.40	17.80
	green	41.70	48.90	9.05	0.35	–
	red	41.70	2.82	35.48	–	–

5.3 Black gold

เป็นทองคำผสมส่วนผสมใหม่ โดยมีทองคำผสมกับโคบอลต์ (Co) หรือ โครเมียม (Cr) การเกิดสีดำเนื่องจากการทำ heat treatment ให้เกิดออกไซด์ (oxide) ที่ผิว ทำให้เกิด CoO หรือ Cr₂O₃ ตัวอย่างส่วนผสมของ black gold ได้แก่ Au 75% ผสมกับ Co 25% หรือ Au 75% ผสมกับ Co 15% และ Cr 10% ซึ่งส่วนผสมหลังจะให้สีที่สวยกว่า

5.4 Purple gold

เป็นการเกิด intermetallic compound ระหว่างทองคำและอะลูมิเนียม (Al) ในรูป AuAl₂ อาจเป็น Au 79% ผสมกับ Al 21% หรือ Au 75% ผสมกับ Al 25%

5.5 Blue gold

เกิด intermetallic compound ระหว่างทองคำกับอินเดียม (In) หรือทองคำกับ แกลเลียม (Ga) ในรูป AuIn₂ และ AuGa₂

6. ประโยชน์ของทองคำ

ทองคำมีประโยชน์มากมายหลายอย่าง นอกเหนือจากเป็นทรัพย์สินสำรองระหว่างประเทศแล้ว ทองคำยังนำมาใช้ในการทำเครื่องประดับ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ทันตกรรม และใช้ในการตกแต่งทำเหรียญตรา เหรียญทองคำ เป็นต้น การใช้ทองคำมักจะใช้ในรูปแบบโลหะเจือ (Alloys) รวมกับโลหะชนิดอื่นๆ จะมีปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้ทองคำ ในอุตสาหกรรมต่างๆ มักจะใช้ทองคำในรูปแบบโลหะเจือมากกว่าที่จะใช้ในรูปแบบของทองคำบริสุทธิ์

ปัจจุบันการนำทองคำมาทำเครื่องประดับมีมากกว่าอุตสาหกรรมชนิดอื่น เช่น ใช้ในการทำสร้อยคอ ต่างหู กำไลมือ เป็นต้น โดยทั่วไปการทำเครื่องทองรูปพรรณนั้นมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ทำด้วยทอง 90% หรือสูงกว่า ซึ่งมักจะทำกันภายในประเทศ และชนิดที่มีเนื้อทองคำต่ำกว่า 90% หรือที่เรียกว่า ทองกะรัต ส่วนในด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นั้น ใช้ในการทำแผ่นเล็กๆ บางๆ ของโลหะผสมสองชนิดในรูปแบบต่างๆ เพื่อนำมาใช้เฉพาะจุดที่ต้องเชื่อมให้ไฟเดินได้สะดวก (เช่น ในปุ่มสวิตช์) ทำลวดทองคำขนาดจิ๋วเล็กมาก เพื่อเชื่อมกับขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ ทำส่วนประกอบขนาดจิ๋วในแผงวงจรพิมพ์ (Printed circuits) หรือ พี ซี บอร์ด ของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ ใช้เคลือบผิวอุปกรณ์สำคัญหลายส่วนของยานอวกาศ เพื่อใช้ในการสะท้อนรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ ทำผิวเคลือบอะลูมิเนียมในเครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น ส่วนทางด้านทันตกรรม ใช้ในการอุดฟัน ครอบฟัน ทำฟันปลอม เป็นต้น

7. วิธีตรวจสอบปริมาณทองคำในโลหะทองคำผสม

การตรวจสอบปริมาณทองคำในโลหะทองคำผสม มีด้วยกันหลายวิธี (นันทน กัญยานุวัฒน์, 2545) ดังนี้

7.1 Touchstone Testing

เป็นการตรวจสอบทองคำอย่างง่าย ๆ โดยนำทองไปขีดบนหินสีดำ (black stone) ที่เรียกว่า หินทดสอบทองคำ แล้วหยดกรดลงไปบนรอยขีด จากนั้นนำสีที่เกิดขึ้นไปเปรียบเทียบกับสีของตัวอย่างมาตรฐาน การทดสอบด้วยวิธีนี้ไม่ต้องทำลายชิ้นส่วนโลหะ (non destructive) ผู้ที่มีความชำนาญสามารถชี้บ่งปริมาณทองคำในตัวอย่างได้โดยประมาณใกล้เคียงกับความเป็นจริงประมาณ 1-2% แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณทองคำสูง (high karat gold) และ white gold

7.2 The Electronic Gold Tester

วิธีนี้บางที่เรียกว่า gold pen ใช้หลักการของ Capacitance decay principle วิธีนี้เครื่องมือราคาถูก สามารถหิ้วไปไหนมาไหนได้ (portable) ความถูกต้องของการตรวจสอบคลาดเคลื่อนประมาณ 4-8% และผิวหน้าตัวอย่างต้องเรียบ เหมาะสำหรับการตรวจสอบชนิดของ gold alloy มากกว่า

7.3 Density

วัดค่า density ของตัวอย่าง แต่ถ้าตัวอย่างมีธาตุหลายชนิดผสมกันอยู่ ค่า density จะไม่แน่นอน เหมาะสำหรับโลหะผสมที่มีธาตุผสมกันเพียง 2 ชนิด ความถูกต้องของวิธีนี้ต่ำที่สุด

7.4 X-ray Fluorescence (XRF)

วิธีนี้ไม่ทำลายชิ้นส่วนเช่นกัน เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีที่ต้องการควบคุมคุณภาพการผลิต ความถูกต้อง 1-5% ภายใต้เงื่อนไขที่ดี เช่น ผิวหน้าต้องเรียบและใหญ่พอ ถ้าผิวโค้งผลจะผิดพลาด เนื่องจากการเกิด scatter วิธีนี้เร็วเพียงไม่กี่นาที และสามารถวัดธาตุอื่นๆ ที่ผสมอยู่ได้ด้วย แต่เป็นการวัดที่ผิวเท่านั้น ดังนั้นต้องระวังกรณีที่เป็นทองคำชุบ ราคาเครื่องแพง

7.5 Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP)

วิธีนี้จะละลายตัวอย่างเพียงเล็กน้อย ประมาณ 20 มิลลิกรัม ด้วยกรด สามารถวัดธาตุอื่นๆ ได้ด้วย มีความถูกต้อง 0.1% วิธีนี้เป็นที่ยอมรับ

7.6 Fire Assay (Cupellation)

เป็นวิธีที่ถือว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูงที่สุดเป็นที่ยอมรับเชื่อถือให้เป็นวิธีมาตรฐานสากล เช่น International Standard, ISO 11426 : 1993 หรือ American Society for Testing and Materials, ASTM 1335 : 1994 วิธีนี้ให้ความถูกต้อง 0.02%

การตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาเปรียบเทียบกับกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 **เปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์โลหะทองคำผสม คัดลอกจาก World Gold Council (2003)**

Technique	Versatility	Sample size	Accuracy	Limitation
Touchstone	Only gold	Almost non-destructive	1–2%	Unsuitable for high karat and white gold
Electronic pen	Only gold	Non-destructive	4–8%	Not consistent
Density	Only gold	Non-destructive	Poor	Only for binary alloys
XRF	Complete analysis	Non-destructive	0.1–0.5%	Surface layer, flat sample
ICP	Complete analysis	~20 mg	0.1%	–
Cupellation	Only gold	~250 mg	0.02%	Modification for Ni and Pd

การวิเคราะห์ทองคำด้วยวิธี Cupellation

การวิเคราะห์ทองคำในโลหะทองคำผสมด้วยวิธี Cupellation นั้น บางครั้งก็เรียกว่า fire assay เนื่องจาก cupellation เป็นขั้นตอนหนึ่งของการวิเคราะห์ทองคำในแร่ด้วยวิธี fire assay

Fire assay เป็นวิธีที่ใช้กันตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถวิเคราะห์ทองคำปริมาณต่ำๆ ในแร่ได้ การวิเคราะห์คล้ายกับวิธีการถลุงโลหะออกจากแร่ในอุตสาหกรรม โดยการเติม flux ที่เหมาะสม และ litharge (PbO) ผสมกับแร่และหลอมในเตาเผา ตะกั่วเมื่อหลอมละลายจะดึงเอาโลหะมีค่ามารวมกันเป็น amalgam แยกออกจากตะกรัน (slag) โดยตะกั่วจะนอนก้นอยู่ข้างล่างและตะกรันลอยอยู่ด้านบน เรียกตะกั่วนี้ว่า “lead button” ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโลหะมีค่า เช่น Au, Ag หรือ Pt มีคุณสมบัติ 2 ประการ คือ ที่อุณหภูมิสูงโลหะมีค่าไม่ชอบรวมตัวกับธาตุโลหะ (non-metallic element) และชอบรวมตัวกับตะกั่วที่หลอมเหลว อีกทั้งคุณสมบัติของโลหะมีค่าเองที่ชอบรวมตัวกันเอง (collector) จากคุณสมบัติที่ชอบรวมตัวกันเองของโลหะมีค่า ในการวิเคราะห์ทองคำที่มีปริมาณทองคำน้อยมากๆ จึงจำเป็นต้องมีการเติมเงินลงไปด้วย เพื่อไปจับทองคำในตัวอย่างให้หมด

เมื่อถลุงแร่ทองคำจนได้ lead button แล้ว นำไปทุบให้เป็นก้อนลูกบาศก์ (prill) แล้วนำไปหลอมในเบ้า cupel ซึ่งเบ้านี้ทำด้วยเถ้ากระดูก (bone ash) หรือ magnesium oxide ซึ่งเนื้อเบ้าจะมีความพรุน โดยโลหะตะกั่วและโลหะพื้นฐานตัวอื่นๆ ที่เจือปนจะถูกดูดซับด้วย cupel เหลือแต่เม็ดโลหะที่มีค่าอยู่ เรียกเม็ดนี้ว่า “dore bead” ขบวนการหลอม lead button จนได้ dore bead เรียกว่า “cupellation”

การวิเคราะห์ทองคำในทองแท่ง ทองรูปพรรณ หรือ โลหะทองคำผสมด้วยวิธี cupellation จะคล้ายกับการวิเคราะห์ทองคำในแร่ด้วยวิธี fire assay เพียงแต่ลดขั้นตอนการถลุงให้เป็นโลหะ เนื่องจากตัวอย่างเป็นโลหะอยู่แล้ว การจะทำให้เป็น lead button เหมือนการวิเคราะห์แร่จึงใช้แผ่นตะกั่ว (lead foil) มาห่อตัวอย่าง พร้อมเติมโลหะเงิน 2-3 เท่าของปริมาณทองคำ การเติมโลหะเงินก็เพื่อสกัดเงินออกในภายหลังทำได้ง่ายขึ้นและแผ่นทองคำไม่แตก นำก้อนตะกั่วที่ห่อตัวอย่างแล้วไปทำ cupellation ซึ่งตะกั่วและโลหะพื้นฐานที่เจือปนจะถูกดูดซับอยู่ใน cupel เหลือเม็ดโลหะมีค่า dore bead นำเม็ดโลหะมีค่าไปทุบให้แบนและสกัดเอาเงินออกด้วยกรดไนตริก (nitric acid) เรียกขั้นตอนนี้ว่า “parting” จะเหลือแผ่นทองคำบริสุทธิ์ นำไปอบ (anneal) และชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณปริมาณทองคำในตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐานที่ทำควบคู่ไปด้วย (proof assay correction)

1. เครื่องมืออุปกรณ์

- 1) เตาเผา (Muffle furnace) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 1,100 องศาเซลเซียส
- 2) เตาไฟฟ้า (hot plate)
- 3) Cupel ขนาด 1.5 นิ้ว

- 4) ค้อนและทั่งสำหรับทุบ
- 5) Porelain crucibles
- 6) Platinum tipped crucible tongs
- 7) เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 4 ตำแหน่ง (0.0001 กรัม)
- 8) เครื่องรีดโลหะ

2. สารเคมี

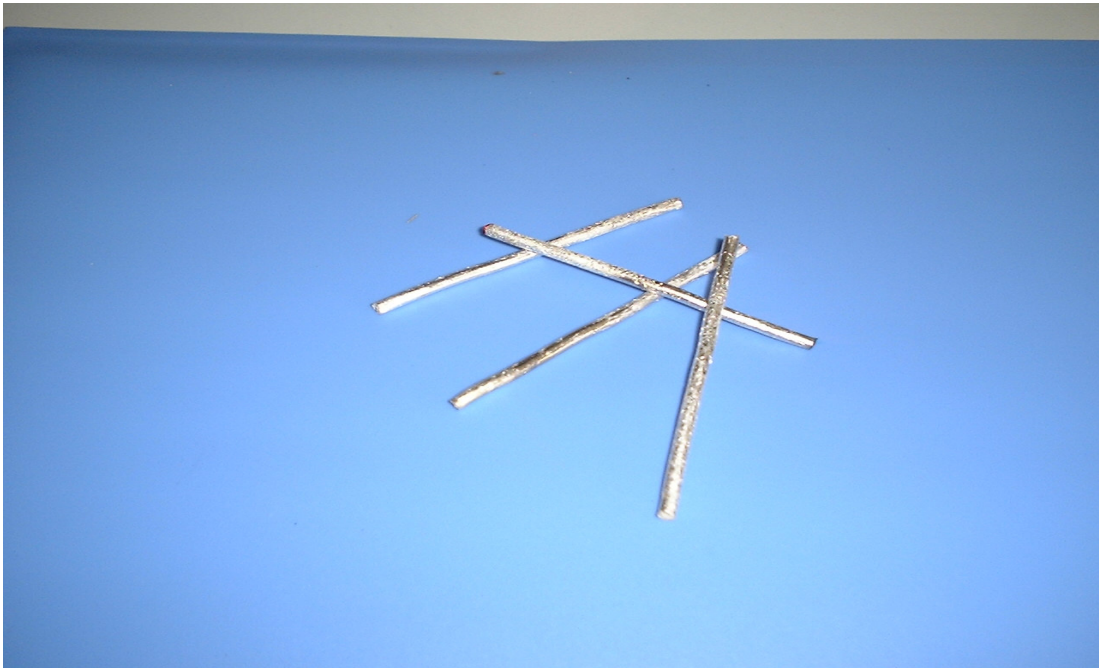
- 1) โลหะทองคำ ความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.99 %
- 2) โลหะเงิน ความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.9 % (Au 0.001% max)
- 3) โลหะทองแดง ความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.9 %
- 4) Pb foil ความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.9 % (Au 0.001% max)
- 5) กรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3) (sp.gr. 1.40)

3. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างโลหะทองคำผสม ใช้วิธีการเลื่อย (sawing) หรือเจาะ drilling or punching) โดยที่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ต้องเป็นตัวแทนของทุกส่วนของชิ้นโลหะ ถ้าใช้วิธีการเลื่อยให้ส้อมทุก 5 หรือ 10 แท่ง ต่อการหล่อหนึ่งครั้ง เลื่อยตัวอย่างตรงกลางแท่ง ผงฝุ่นที่เลื่อยได้นำมารวมกัน

ส่วนการเตรียมตัวอย่างด้วยการเจาะ ให้เจาะตรงผิวหน้าของแท่ง (bar) ถ้าการหล่อกมีหลายแท่งให้เจาะแท่งละหนึ่งหลุมแล้วรวมกัน กรณีตัวอย่างเป็นแท่งกลมที่มีขนาดเล็กหรือเป็นชิ้นขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถเจาะตัวอย่างได้ ใช้วิธีทุบให้แบนแล้วตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ

ในการเตรียมตัวอย่างโลหะทองคำผสมของบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด เป็นโลหะผสมระหว่างทองคำและเงิน ลักษณะตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์จะเป็นแท่งกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3 เซนติเมตร ยาวประมาณ 6-8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงลักษณะตัวอย่างโลหะทองคำผสม

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมีดังนี้

- 1) ชักตัวอย่าง (ดังรูปที่ 4) ด้วยการตัดตัวอย่างออกเป็นท่อนเล็กๆ เก็บเฉพาะส่วนที่แรงเงา
- 2) ทำความสะอาดทั้งและค้อนและเครื่องรีดโลหะด้วยกระดาษ (kimwipe) ชุบอะซิโตนเช็ดให้สะอาดและทิ้งให้แห้ง
- 3) นำตัวอย่างที่ตัดมาทุบจนทั้งให้แบนเล็กน้อย แล้วนำไปรีดด้วยเครื่องรีดโลหะให้บางจนสามารถตัดด้วยกรรไกรเป็นชิ้นเล็กๆ ได้



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งการชักตัวอย่างโลหะทองคำผสม

4. หลักการของวิธี Cupellation

ต้องทราบคร่าวๆ ก่อนว่าตัวอย่างมีปริมาณทองคำและเงินอยู่เท่าไร เพื่อประโยชน์คือ หนึ่งเพื่อเตรียมตัวอย่างมาตรฐานให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด สองเพื่อคำนวณดูว่าจะต้องเติมโลหะเงินลงในตัวอย่างอีกเท่าไร เพื่อให้ได้อัตราส่วน $\text{Au} : \text{Ag} = 1 : 2-2.5$ การเติมโลหะเงินก็เพื่อให้การสกัดเงิน (parting) เกิดได้ง่าย

เมื่อทราบคร่าวๆ แล้วให้ชั่งตัวอย่างสองชุด ชุดที่หนึ่งไม่ต้องเติมโลหะเงิน (กรณีต้องการวิเคราะห์เงินด้วย ถ้าไม่ต้องการวิเคราะห์เงินชุดที่หนึ่งไม่ต้องทำ) อีกชุดหนึ่งเติมโลหะเงิน ห่อตัวอย่างแต่ละชุดด้วยแผ่นตะกั่ว นำไปทำ cupellation เพื่อไล้โลหะพื้นฐานออก จะเหลือเม็ดโลหะมีค่า คือ Au และ Ag (dore bead) สำหรับชุดที่หนึ่งที่ไม่ต้องเติมโลหะเงิน ให้นำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณทองคำและเงินในตัวอย่างรวมกัน ส่วนชุดที่สองให้นำเม็ด dore bead ไปทุบเป็นแผ่นบาง นำไปสกัดเงินออกด้วยกรดไนตริก จะเหลือแต่โลหะทองคำบริสุทธิ์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณทองคำ ส่วนปริมาณเงินคำนวณจาก นำค่าปริมาณทองคำในชุดที่สองหักออกจากปริมาณทองคำและเงินรวมกันในชุดที่หนึ่ง

จุดสำคัญของการวิเคราะห์อยู่ที่ ต้องทำตัวอย่างมาตรฐานที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับตัวอย่างให้มากที่สุดทำควบคู่ไปด้วย แล้วคำนวณผลเปรียบเทียบ (proof correction) ทั้งนี้เนื่องจากในขณะทำ cupellation ทองคำและเงินมีการสูญหายไปบ้างบางส่วนจากปัจจัยหลายประการ เช่น การถูกดูดซับด้วย cupel การระเหย อุณหภูมิที่ใช้ ส่วนผสมของกรดไนตริกที่ใช้ทำ parting ปริมาณตะกั่วที่ใช้ อัตราส่วนของโลหะเงินที่เติมและเวลาในการทำ cupellation

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์

5.1 น้ำหนักตัวอย่าง

ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี cupellation นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของทองคำในตัวอย่าง หากปริมาณทองคำในตัวอย่างมีน้อยก็ชั่งตัวอย่างมาก ตามมาตรฐานของ ISO 11426 : 1993 จะใช้ตัวอย่าง 0.125–0.250 กรัม ซึ่งจะวิเคราะห์ทองปริมาณ 33.30%–99.30% ส่วน ASTM E 1335 : 1994 ใช้ตัวอย่าง 0.5000 กรัม

5.2 ปริมาณตะกั่ว

ตะกั่วที่นำไปห่อก็เพื่อเป็นตัวดูดซับ impurity ต่างๆ ออกจากตัวอย่าง ซึ่งถ้าในตัวอย่างมี impurity สูง ปริมาณตะกั่วที่ใช้ก็จะสูงตามไปด้วย การเติมตะกั่วยังใช้เพื่อหลอมส่วนผสมของตัวอย่างใหม่ เพื่อให้มีเงินหนักเป็น 2–3 เท่าของทองคำ เพื่อให้การสกัดเงินออกเกิดได้ง่าย นอกจากนี้ปริมาณตะกั่วยังมีผลต่อการสูญเสียทองคำ ยิ่งตะกั่วสูงการสูญเสียทองคำจะสูงตามไปด้วย

5.3 อัตราส่วนของเงินต่อทองคำ

เงินที่เติมลงในตัวอย่างก็เพื่อเป็นตัวช่วยลดการสูญเสียทองคำในกระบวนการ cupellation และเพื่อให้การสกัดเงินออกจากแผ่นทองคำผสมเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วน Ag : Au = 4 : 1 เป็นอัตราส่วนที่การทำ parting เกิดได้สมบูรณ์และแผ่นทองคำไม่แตก แต่ในทางปฏิบัติตามวิธีมาตรฐานต่างๆ นิยมเติมเงิน 2–2.5 เท่า เนื่องจากไม่ต้องการให้เม็ด dore bead มีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งจะทำให้ต้องใช้เวลานานในการตีทองให้บาง

5.4 อุดหนุน

อุดหนุนที่ใช้ในการทำ cupellation พบว่า ถ้าอุดหนุนสูงการสูญเสียทองคำและเงินจะสูงตามไปด้วย โดยเงินสูญเสียมากกว่าทองคำ ทั่วไปจะใช้อุดหนุนอยู่ระหว่าง 900-1,150 องศาเซลเซียส

5.5 เวลาในการทำ cupellation

โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 25-30 นาที เพราะถ้านานเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น ในทางปฏิบัติหลัง 30 นาทีแล้ว ควรปิดเตาแต่ไม่ควรนำ cupel ออกจากเตาในทันที ควรทิ้งให้เย็นในเตาประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำออก เพื่อให้เม็ด dore bead มีผิวเรียบไม่ขรุขระเป็นดอกกะหล่ำ

5.6 Cupel

Cupel เป็นเบ้าที่ทำด้วยวัสดุทนความร้อน มีรูปทรง ที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 ชนิด คือ bone ash cupel และ magnesia cupel ซึ่งในการดูดซับตะกั่ว bone ash cupel สามารถดูดซับ PbO ในปริมาณเกือบเท่าน้ำหนักของตัว cupel เอง ในขณะที่ magnesia cupel ดูดซับ PbO ได้ 3 ใน 4 ของน้ำหนัก cupel จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์พบว่า cupel ทั้งสองชนิดมีการสูญเสียทองคำไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับเงินแล้ว magnesia cupel ให้ค่าการสูญเสียเงินที่คงที่มากกว่า

5.7 การทำ parting

ความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ก็มีผลเช่นกัน หากใช้กรดไนตริกเข้มข้นมากเกินไป และใช้อุดหนุนสูง ปฏิกิริยาจะเกิดรุนแรง จะทำให้แผ่นทองคำแตก วิธีที่ดีจะใช้กรดไนตริกเจือจางก่อนแล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น

ตามมาตรฐาน ASTM จะใช้กรดไนตริกในอัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 1 : 2 ในตอนแรก แล้วเปลี่ยนเป็น $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 2 : 1 ในภายหลัง ส่วนของ ISO ใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 33% (มวล/มวล) ในตอนแรก แล้วเปลี่ยนเป็น 49% (มวล/มวล) ในภายหลัง

5.8 การเหลือโลหะพื้นฐานใน dore bead

สำหรับการวิเคราะห์ทองคำ การหลงเหลือโลหะพื้นฐานอื่นๆ เช่น ทองแดง เหล็ก สังกะสี จะไม่เป็นปัญหา เพราะสามารถดึงออกในตอนทำ parting แต่ในการวิเคราะห์เงินจะทำให้ปริมาณเงินสูงกว่าที่เป็นจริง แก้ไขโดยการทำตัวอย่างมาตรฐานให้มีส่วนผสมใกล้เคียงกับตัวอย่างให้มากที่สุด ถ้าตัวอย่างมีโลหะพื้นฐานมากจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณตะกั่วให้มากขึ้น

5.9 Proof assay sample correction

ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ทองคำด้วยวิธี cupellation จะเป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด แต่จากปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่กล่าวมา มีผลทำให้เกิดการสูญเสียทองคำและเงินได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงใช้วิธีเตรียมตัวอย่างมาตรฐานให้มีปริมาณทองคำและเงินให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด และดำเนินการวิเคราะห์ควบคู่ไปกับตัวอย่างทุกประการ เพื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบในภายหลัง ดังนั้น ก่อนทำการวิเคราะห์ต้องทราบคร่าว ๆ ก่อนว่าในตัวอย่างมีปริมาณทองคำ เงิน และโลหะอื่น ๆ อยู่เท่าไร เพื่อจะเตรียมตัวอย่างมาตรฐานให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด

6. ขั้นตอนการวิเคราะห์

6.1 การตรวจสอบตัวอย่างคร่าว ๆ

ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ละลายด้วย aqua regia ($\text{HCl} : \text{HNO}_3 = 3 : 1$) 20 มิลลิลิตร ทำให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวด volumetric flask วัดหาปริมาณ Au, Ag และ Cu ด้วยเครื่อง AAS เมื่อทราบปริมาณคร่าว ๆ แล้วให้วิเคราะห์อย่างละเอียดต่อไป

หากตัวอย่างมีเงินมาก สังเกตตัวอย่างมีสีขาว ก่อนละลายตัวอย่างให้รีดตัวอย่างเป็นแผ่นบางแล้วละลายเงินออกมาก่อนด้วย $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 2$ ทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวด volumetric flask ด้วยสารละลาย HNO_3 ที่ใช้ละลาย แล้วจึงนำโลหะส่วนที่เหลือไปละลายด้วย aqua regia เช่นเดียวกับตัวอย่างอื่นๆ นำแต่ละสารละลายไปวัดหาปริมาณ Au, Ag และ Cu ด้วยเครื่อง AAS แล้วนำมารวมกัน

6.2 การวิเคราะห์อย่างละเอียด

ในเอกสารฉบับนี้ขอเสนอการวิเคราะห์ตัวอย่างโลหะทองคำผสมเงินที่เก็บตัวอย่างจากบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ซึ่งมีโลหะทองคำประมาณร้อยละ 20-30 และโลหะเงินประมาณร้อยละ 70-80 ทำให้อัตราส่วนระหว่างทองคำและเงินจึงมีค่าอยู่ในช่วง 1 ต่อ 2.3-4 เท่า ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการทำ parting อยู่แล้ว ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงไม่จำเป็นต้องเติมโลหะเงินลงไปอีก โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 0.5000 กรัม ห่อด้วยแผ่นตะกั่วหนัก 4 กรัม ทำซ้ำ 3 ชุด ทำตัวอย่างมาตรฐาน 2 ชุด ให้มีส่วนผสมของทองคำและเงินใกล้เคียงกับตัวอย่าง โดยชั่งทองคำบริสุทธิ์และเงินบริสุทธิ์ ห่อด้วยแผ่นตะกั่วหนัก 4 กรัม
- 2) เปิดเตาเผา โดยตั้งอุณหภูมิที่ 950 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส ให้นำ cupel ไปอบไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ อบนานประมาณ 15-30 นาที
- 3) เปิดประตูเตาเผา วางเม็ดตะกั่วที่ห่อตัวอย่างแล้ว ลงบน cupel ดังรูปที่ 5 ปิดประตูเตา ช่วงนี้อุณหภูมิเตาจะลดลงไม่ถึง 950 องศาเซลเซียส ให้ทำ cupellation 30 นาที โดย

เริ่มนับเวลาตั้งแต่อุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส ปิดเตาและทิ้งให้ตัวอย่างเย็นในเตา 1 ชั่วโมง ก่อนนำออกจากเตา

4) นำเม็ด dore bead ออกจากเตา ทิ้งให้เย็น ลักษณะเม็ด dore bead ดังรูปที่ 6 ปิดฝุ่ที่ก้นเม็ด dore bead ออก นำไปชั่งน้ำหนัก

5) นำเม็ด dore bead ไปทุบให้แบน ช่วงที่ทุบให้เผาด้วยเปลวไฟเพื่อให้ทองอ่อนตัว แล้วนำไปรีดด้วยเครื่องรีดโลหะ ดังรูปที่ 7 ให้บางจนได้ความหนา 0.005-0.01 เซนติเมตร ดังรูปที่ 8 ม้วนแผ่นทองใส่ใน porcelain-crucible

6) เตรียมสารละลายกรดไนตริกอัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 2$ อุ่นให้ร้อน (ไม่เดือด) ตวงขณะร้อน 20 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวง เทใส่ลงใน porcelain-crucible ที่มีแผ่นทองคำอยู่ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดเป็นเวลา 45 นาที

7) เทกรดไนตริกทิ้ง ระวังอย่าให้ทองคำหลุดออกมา เปลี่ยนกรดไนตริกเป็นอัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 1$ จำนวน 20 มิลลิลิตร (ที่ร้อน) อุ่นต่อ 45 นาที

8) เทกรดออก ล้างแผ่นทองคำด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนหลายๆ ครั้ง จนหมดกรด ตั้งบน hot plate ให้ crucible ร้อนและน้ำระเหยหมด

9) นำแผ่นทองคำไปอบที่ 650-700 องศาเซลเซียส (anneal) เป็นเวลา 5 นาที นำออกจากเตา ทิ้งให้เย็น จะได้แผ่นทองคำสีอร่าม ดังรูปที่ 9 ชั่งน้ำหนักแผ่นทองคำ



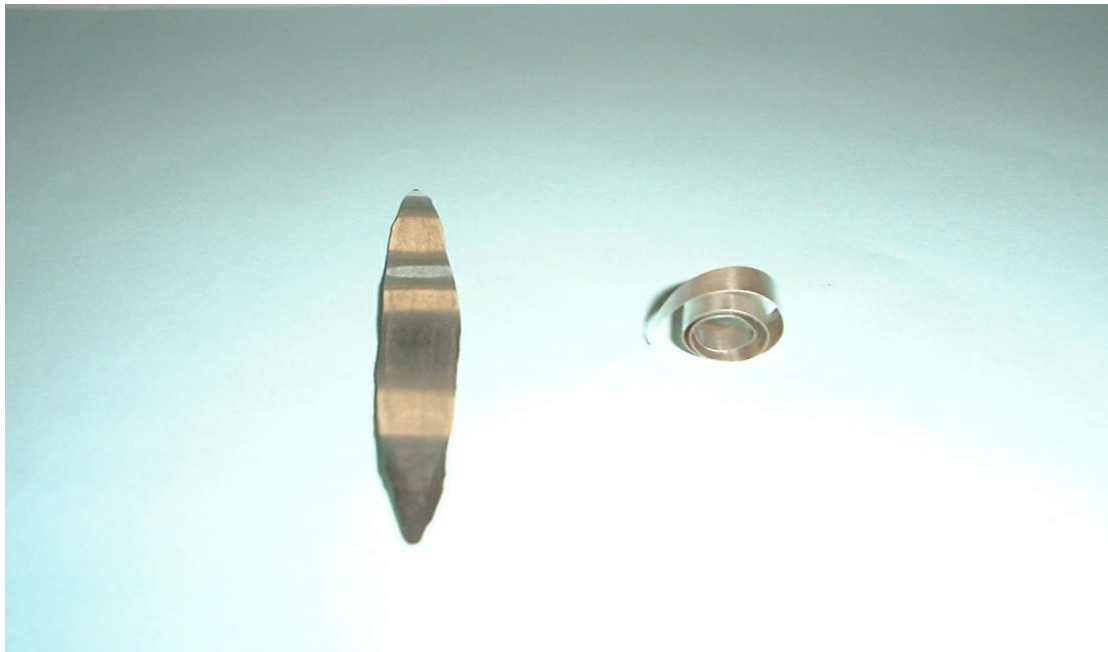
รูปที่ 5 การนำตัวอย่างที่ห่อตะกั่วแล้วใส่ในเบ้า cupel



รูปที่ 6 แสดงเม็ดโลหะมีค่าที่อยู่ในเบ้า Cupel



รูปที่ 7 แสดงการรีดตัวอย่างด้วยเครื่องรีดโลหะ



รูปที่ 8 ลักษณะตัวอย่างที่รีดบางและม้วน เพื่อนำไปทำ parting



รูปที่ 9 ลักษณะแผ่นทองคำที่ anneal แล้ว

6.3 การคำนวณ

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1) การคำนวณปริมาณทองคำและเงินรวมกัน

ให้คำนวณปริมาณทองคำและเงินรวมกัน ดังนี้

$$X_U = \frac{A \times 100}{B}$$

เมื่อ X_U = ปริมาณทองคำและเงินที่ยังไม่คำนวณเปรียบเทียบ, %
 A = น้ำหนัก dore bead ของตัวอย่าง, กรัม
 B = น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม
 $\overline{X}_U$ = ค่าเฉลี่ยที่ทำ 3 ครั้ง

$$P_1 = \frac{C}{D}$$

เมื่อ P_1 = Proof correction ของทองคำรวมกับเงิน
 C = น้ำหนักทองคำบริสุทธิ์รวมกับเงินบริสุทธิ์ที่ใช้ในการทำตัวอย่างมาตรฐาน, กรัม
 D = น้ำหนัก dore bead ของตัวอย่างมาตรฐาน, กรัม
 $\overline{P}_1$ = ค่าเฉลี่ยที่ทำ 2 ครั้ง

$$X_C = \overline{X}_U \times \overline{P}_1$$

เมื่อ X_C = ค่าที่ถูกต้องของปริมาณทองคำรวมกับเงิน, %

2) การคำนวณปริมาณทองคำ

ให้คำนวณปริมาณของทองคำ ดังนี้

$$Y_U = \frac{E}{F} \times 100$$

เมื่อ Y_U = ปริมาณทองคำที่ยังไม่ได้คำนวณเปรียบเทียบ, %
 E = น้ำหนักแผ่นทองคำของตัวอย่างที่ชั่งได้หลัง anneal, กรัม
 F = น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม
 $\overline{Y}_U$ = ค่าเฉลี่ยที่ทำ 3 ครั้ง

$$P_2 = \frac{G}{H}$$

เมื่อ P_2 = Proof correction ของทองคำ
 G = น้ำหนักของทองคำบริสุทธิ์ที่ใช้ทำตัวอย่างมาตรฐาน, กรัม
 H = น้ำหนักแผ่นทองคำของตัวอย่างมาตรฐานที่ได้หลัง anneal, กรัม
 $\overline{P}_2$ = ค่าเฉลี่ยที่ทำ 2 ครั้ง

$$Y_C = \overline{Y}_U \times \overline{P}_2$$

เมื่อ Y_C = ค่าที่ถูกต้องของปริมาณทองคำ, %

3) การคำนวณปริมาณเงิน

นำค่าปริมาณทองคำหักออกจากปริมาณทองคำและเงินรวมกัน ดังนี้

$$Z = X_C - Y_C$$

เมื่อ Z = ปริมาณเงิน, %

7. การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดสอบ โดยทั่วไปจะตรวจสอบจากค่าความแม่นยำ (accuracy) และค่าความเที่ยง (Precision) ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพห้องปฏิบัติการเคมี

7.1 ความแม่นยำ

ความแม่นยำในทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การวัดความใกล้เคียงของผลวิเคราะห์กับค่าที่ถูกต้องหรือค่าจริง ถ้าผลวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงก็แสดงว่ามีความแม่นยำดี แต่ถ้าห่างไกลจากค่าจริงก็มีความแม่นยำน้อย การควบคุมคุณภาพแบบนี้ต้องมีวัสดุอ้างอิงรับรอง (certified reference material, CRM) ที่ทราบค่าที่ถูกต้อง ทำการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงรับรองเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของกระบวนการวิเคราะห์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถหาวัสดุอ้างอิงรับรองได้เสมอ ดังนั้นจึงไม่มีโอกาสหาความแม่นยำในสารตัวอย่าง

7.2 ความเที่ยง

ความเที่ยงเป็นการวัดความเบี่ยงเบนของผลวิเคราะห์กับค่าเฉลี่ย การควบคุมคุณภาพแบบนี้ทำโดยการวิเคราะห์ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S) และค่าเปอร์เซ็นต์ของการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Standard Deviation, % RSD) จากสูตรดังต่อไปนี้ (Douglas and others, 1994)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X_i = ค่าที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละครั้ง
 $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของ X_i
N = จำนวนครั้งที่ทดสอบซ้ำ

$$\% RSD = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ % RSD = เปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนสัมพัทธ์

ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ตัวอย่างโลหะทองคำผสมเงินของ บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน การวิเคราะห์ต้องเตรียมตัวอย่างที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับตัวอย่างให้มากที่สุดทำควบคู่ไปด้วย โดยตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ส่วนตัวอย่างมาตรฐานทำซ้ำ 2 ครั้ง การตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์ ตรวจสอบได้เฉพาะความเที่ยง สำหรับความแม่นยำไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากไม่สามารถหาวัสดุอ้างอิงรับรองที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับตัวอย่างได้ การคำนวณค่าความเที่ยงของผลการวิเคราะห์ประเมินในรูปของเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนสัมพัทธ์

วิเคราะห์ครั้งที่	ปริมาณทองคำ, %	ปริมาณเงิน, %
1	25.42	73.48
2	25.22	73.81
3	25.33	73.94
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	25.32	73.74
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	0.1002	0.2371
เปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (% RSD)	0.40	0.32

การวิเคราะห์ตัวอย่างช่วง 3 ปี ที่ผ่านมา ประมาณ 600 ตัวอย่าง จากการสุ่มตรวจพบว่า ค่าความเที่ยงของทองและเงินในรูปเปอร์เซ็นต์ของการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 0.50% (N=3) ทั้งสองธาตุ เมื่อทองคำมีค่าอยู่ระหว่าง 18-35% และเงินมีค่าอยู่ระหว่าง 65-81% ดังแสดงในตารางที่ 5 ถึง ตารางที่ 7

ตารางที่ 5 ตัวอย่างผลวิเคราะห์โลหะทองคำผสมเงิน ปี พ.ศ. 2545

หมายเลขตัวอย่าง	ทองคำ		เงิน	
	ปริมาณ, %	% RSD	ปริมาณ, %	% RSD
M0195/2545	25.32	0.40	73.74	0.32
M0216/2545	19.16	0.10	80.28	0.11
M0298/2545	22.31	0.29	77.04	0.21
M0313/2545	18.08	0.28	80.98	0.10
M0348/2545	22.50	0.18	76.71	0.33
M0355/2545	26.46	0.20	73.06	0.27
M0380/2545	27.53	0.21	72.16	0.24
M0509/2545	20.38	0.24	79.23	0.08
M0535/2545	22.20	0.04	77.05	0.12
M0609/2545	27.06	0.15	72.16	0.03

ตารางที่ 6 ตัวอย่างผลวิเคราะห์โลหะทองคำผสมเงิน ปี พ.ศ. 2546

หมายเลขตัวอย่าง	ทองคำ		เงิน	
	ปริมาณ, %	% RSD	ปริมาณ, %	% RSD
M0030/2546	20.18	0.28	79.30	0.04
M0073/2546	24.26	0.31	75.22	0.13
M0137/2546	30.61	0.06	68.62	0.01
M0182/2546	22.75	0.01	76.31	0.22
M0255/2546	26.20	0.36	72.89	0.13
M0308/2546	24.14	0.09	75.32	0.31
M0450/2546	28.05	0.08	71.34	0.06
M0491/2546	20.11	0.16	79.33	0.07
M0545/2546	28.41	0.02	71.05	0.16
M0651/2546	26.66	0.06	72.52	0.11

ตารางที่ 7 ตัวอย่างผลวิเคราะห์โลหะทองคำผสมเงิน ปี พ.ศ. 2547

หมายเลขตัวอย่าง	ทองคำ		เงิน	
	ปริมาณ, %	% RSD	ปริมาณ, %	% RSD
M0067/2547	26.08	0.26	73.27	0.04
M0142/2547	30.76	0.26	68.32	0.21
M0287/2547	23.17	0.01	98.64	0.11
M0362/2547	26.61	0.04	73.01	0.24
M0455/2547	24.15	0.07	75.55	0.11
M0527/2547	27.02	0.09	72.84	0.18
M0614/2547	34.83	0.45	64.84	0.20
M0736/2547	30.42	0.03	69.00	0.30
M0807/2547	29.16	0.09	70.47	0.02
M0924/2547	32.60	0.09	66.99	0.09

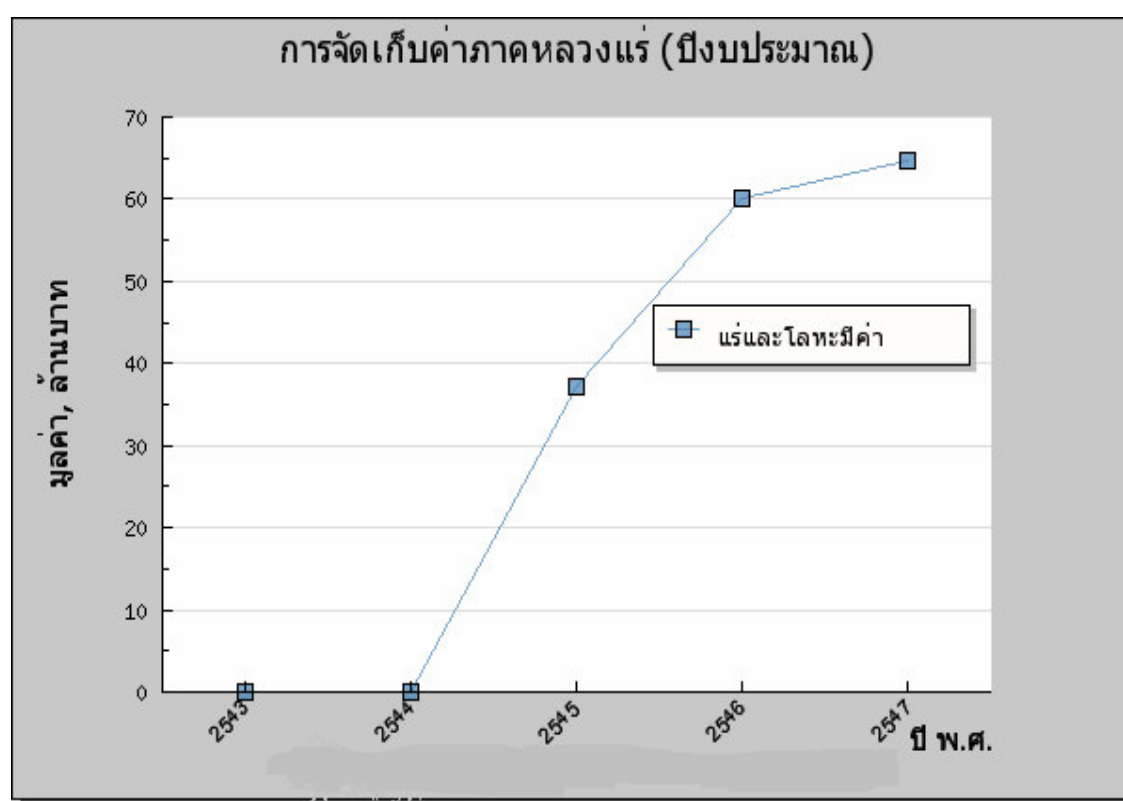
ประโยชน์ที่ได้จากผลวิเคราะห์

โลหะทองคำผสมเงินที่สกัดได้จากแหล่งแร่ทองคำภายในประเทศ จะต้องเสียค่าภาคหลวงแร่ สำหรับเหมืองแร่ทองคำของบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ทองคำจัดเก็บในอัตราร้อยละ 2.50 บาท ของราคาที่ยกขึ้นต่อหนึ่งกรัมของทองคำบริสุทธิ์ ในขณะที่เงินจัดเก็บในอัตราร้อยละ 10 บาท ของราคาที่ยกขึ้นต่อหนึ่งกรัมของเงินบริสุทธิ์ ดังนั้นในทุกล็อตของการถลุงโลหะทองคำผสมเงินที่ได้ออกมา จะต้องวิเคราะห์หาปริมาณทองคำและเงินเพื่อนำผลวิเคราะห์ไปคำนวณค่าภาคหลวงแร่ ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำจึงมีความสำคัญเพื่อความเป็นธรรมต่อผู้ประกอบการและรัฐได้รับประโยชน์สูงสุด

ความสำเร็จของการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำจนสามารถผลิตโลหะทองคำผสมเงินได้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา ทำให้รัฐสามารถจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่ได้มากขึ้น โดยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2545 จัดเก็บได้ 37.26 ล้านบาท ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 ได้ 60.04 ล้านบาท และปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 ได้ 64.63 ล้านบาท (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2548) ดังแสดงในตารางที่ 8 และ รูปที่ 10

ตารางที่ 8 จำนวนค่าภาคหลวงทองคำและเงินที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2545-2547
 คัดลอกจากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2548)

ชนิดแร่	ค่าภาคหลวงตามปีงบประมาณ (ล้านบาท)		
	ปี พ.ศ. 2545	ปี พ.ศ. 2546	ปี พ.ศ. 2547
ทองคำ	29.64	51.71	59.21
เงิน	7.61	8.33	5.41
รวม	37.26	60.04	64.63



รูปที่ 10 กราฟแสดงจำนวนค่าภาคหลวงแร่ทองคำและเงินที่จัดเก็บได้ตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ.2545-2547 คัดลอกจากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2548)

บทวิจารณ์และสรุป

การสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำจนถึงที่สุดสามารถเทแห่งโลหะทองคำผสมเงินออกมาได้นั้น เบื้องหลังความสำเร็จมาจากบุคลากร นักวิชาการหลายสาขาอาชีพ ได้แก่ นักบริหาร นักธรณีวิทยา วิศวกรเหมืองแร่ วิศวกรโลหการ นักวิทยาศาสตร์ นักเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น การทำเหมืองแร่ทองคำเป็นการลงทุนขนาดใหญ่ ผู้ประกอบการเอกชนที่ทำการสำรวจจะต้องประเมินศักยภาพความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ว่าคุ้มทุนจึงยื่นขอประทานบัตรการทำเหมืองแร่และประกอบโลหกรรม การนำทรัพยากรแร่ซึ่งถือว่าเป็นสมบัติของชาติมาใช้ประโยชน์ จึงต้องเสียภาษีให้รัฐในรูปค่าภาคหลวงแร่ การเก็บค่าภาคหลวงแร่ทองคำและเงินนั้น จะคำนวณจากเนื้อทองคำและเงินในแท่งโลหะทองคำผสมเงินที่เทออกมาได้จากการถลุง ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ด้านวิเคราะห์ทางเคมีจึงเข้ามาเกี่ยวข้องในส่วนของการวิเคราะห์ทองคำและเงินเพื่อเก็บค่าภาคหลวงแร่

การวิเคราะห์ปริมาณทองคำและเงินในตัวอย่างโลหะทองคำผสมเงินด้วยวิธี Cupellation ถือเป็นวิธีมาตรฐานสากลที่ใช้กันทั่วโลก เป็นที่ยอมรับว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด โดยเฉพาะในตัวอย่างที่มีทองคำและเงินปริมาณสูง ทั้งนี้จำเป็นต้องวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐานที่มีส่วนผสมของทองคำและเงินใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด จึงจะได้ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากกระบวนการ Cupellation มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์หลายประการ ได้แก่

1. น้ำหนักตัวอย่าง

น้ำหนักตัวอย่างไม่ควรมากหรือน้อยเกินไป ถ้ามากไปจะทำให้เม็ด dore bead มีขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาในการทุบและรีด แต่ถ้าน้อยเกินไปก็จะทำให้ได้แผ่นทองคำน้ำหนักน้อยซึ่งจะมีความถูกต้องของเครื่องชั่ง วิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ แผ่นทองคำที่ได้หลัง anneal แล้ว ต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม

2. ปริมาณตะกั่ว

ตะกั่วช่วยให้การดูดซับ impurity ต่างๆ ออกจากตัวอย่างได้ดี แต่จากการทดลองพบว่าตะกั่วที่สูง การสูญเสียทองคำและเงินจะสูงตามไปด้วย (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2540)

3. อัตราส่วนของเงินต่อทองคำ

เงินที่ผสมอยู่กับทองคำจะทำให้ลดการสูญเสียทองคำในกระบวนการ Cupellation ยิ่งเงินสูงการสูญเสียทองคำจะยิ่งต่ำ อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการทำ parting คือ เงินมากกว่าทองคำอยู่ 2-6 เท่า ซึ่งจะทำให้การสกัดเงินออกจากทองคำด้วยกรดไนตริกเกิดได้สมบูรณ์ โดยที่แผ่นทองคำไม่แตก ในทางปฏิบัตินิยมให้เงินมากกว่าทองคำอยู่ 2-2.5 เท่า เนื่องจากไม่ต้องการให้เม็ด dore bead มี

ขนาดใหญ่เกินไป เพื่อสะดวกต่อการรีด อีกทั้งเงินมากเกินไปจะเกิดลักษณะผิวเม็ด dore bead ไม่เรียบ เหมือนดอกกะหล่ำได้ (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2540)

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ Cupellation อยู่ที่ 900–1,150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิยิ่งสูงการสูญเสียทองคำและเงินจะสูงตามไปด้วย

5. Cupel

วัสดุที่ใช้ทำเบ้า cupel มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีการดูดซับแตกต่างกัน ทองคำที่สูญหายในกระบวนการ Cupellation มาจากการถูกดูดซับด้วย cupel มากกว่าการระเหยถึง 400–500 เท่า (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2540)

6. อัตราส่วนของกรดในทริกในการทำ parting

การสกัดเงินออกจากแผ่นทองคำไม่ควรใช้กรดในทริกเข้มข้นมากเกินไป และไม่ควรรใช้อุณหภูมิสูง เพราะจะทำให้เงินหลุดออกมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้แผ่นทองคำแตก วิธีที่ดีจึงใช้กรดในทริกเจือจางก่อนแล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นของกรดในภายหลัง

7. การหลงเหลือโลหะพื้นฐานใน dore bead

ตัวอย่างที่มี impurity สูงๆ หากใช้แผ่นตะกั่วน้อยเกินไป จะทำให้การดูดซับ impurity ไม่หมด ทำให้หลงเหลือโลหะพื้นฐานอยู่ในเม็ด dore bead ซึ่งจะมีผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์เงินแต่ไม่ปัญหาสำหรับการวิเคราะห์ทองคำ เนื่องจากโลหะพื้นฐานจะถูกสกัดออกตอนทำ parting

ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนแก้ไขให้ลดลงได้โดยการทำตัวอย่างมาตรฐานที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับตัวอย่างทำควบคู่ไปด้วย แล้วนำค่าแฟคเตอร์มาคำนวณในภายหลัง ซึ่งจะทำให้ได้ผลวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวในตัวอย่างของบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน ได้ประเมินค่าความเที่ยงของผลการทดสอบในรูปร้อยละของการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ พบว่ามีค่า % RSD ของการวิเคราะห์ทองคำและเงินมีค่าน้อยกว่า 0.50% (N=3) ทั้งสองธาตุเมื่อทองคำมีค่าอยู่ระหว่าง 18–35% และ เงินมีค่าอยู่ระหว่าง 65–81% ซึ่งถือว่าวิธี Cupellation ให้ค่าความเที่ยงที่ค่อนข้างสูง

ผลวิเคราะห์ทองคำและเงินในตัวอย่างโลหะทองคำผสมเงินที่ซื้อมาจากบริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด ใช้เป็นข้อมูลคำนวณค่าภาคหลวงแร่ตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ. 2545 ถึง 2547 รัฐสามารถเก็บค่าภาคหลวงแร่ทองคำและเงินได้รวมเป็นเงิน 161.93 ล้านบาท

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี, 2543, การสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทย ใน ธรณีวิทยาและแหล่งแร่ประเทศไทย : กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, หน้า 125-142.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2548, การจัดเก็บค่าภาคหลวงแร่รายชนิดแร่ : ส่วนควบคุมสัมปทานและจัดเก็บรายได้, สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ([http : www.dpim.go.th](http://www.dpim.go.th)), 2 มิถุนายน 2548, 4 หน้า.
- กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา, 2545, ทองคำ ตอน แหล่งแร่ทองคำและการทำเหมืองทองคำ การดูแลสิ่งแวดล้อมของการทำเหมืองแร่ทองคำ : สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน, 22 หน้า.
- คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมธรณีวิทยา, 2530, พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาอังกฤษ-ไทย (พิมพ์ครั้งที่1) : กรุงเทพฯ, จัดพิมพ์โดยคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ, หน้า 54.
- นันทนา กันยานุวัฒน์, 2540, การวิเคราะห์ทองคำและเงินในทองแท่ง ทองผสม และทองรูปพรรณ : กองวิเคราะห์, กรมทรัพยากรธรณี, 38 หน้า.
- _____, 2545, เทคนิคการวิเคราะห์ทองคำด้วยวิธี Cupellation ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่จากกรมธรณีศาสตร์และบ่อแร่ : กลุ่มวิเคราะห์, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน, 13 หน้า.
- บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด, ไม่ระบุปีที่พิมพ์, กระบวนการสกัดแร่ทองคำและเงิน ใน แผ่นพับประชาสัมพันธ์ของบริษัท : บริษัท อัครา ไมนิ่ง จำกัด, 2 หน้า.
- พงศ์ศักดิ์ วิจิต, 2529, ทองคำ : กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 56 หน้า.
- Douglas A. Skoog and others, 1994, Analytical Chemistry An Introduction (sixth edition) : Saunders College Publishing, p 52-95.
- World Gold Council, 2003, Jewellery Technology : world gold council web site (<http://www.gold.org/discover/sci-indu/assaying/index.htm>), 20 Jan 2003, 3 p.