



จลนศาสตร์ของการละลายสินแร่ทองคำแบบซัลไฟด์ด้วยไซยาไนด์
สำหรับเหมืองทุ่งคำ จังหวัดเลย

Leaching Kinetics of Sulfide Gold Ores from Tungkum Mine, Loei Province

วันสนันท์ เพ็ญทอง

Wanussanun Penthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Materials Engineering
Prince of Songkla University**

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	จลนศาสตร์ของการละลายสินแร่ทองคำแบบซัลไฟด์ด้วยไซยาไนด์ สำหรับเหมืองทุ่งคำ จังหวัดเลย
ผู้เขียน	นางสาว วนัสนันท์ เพ็ญทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เป็นการศึกษาจลนศาสตร์ของการละลายสินแร่ทองคำจากโซนแร้ซัลไฟด์ สำหรับเหมืองทุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเก็บจากโซนแร้ซัลไฟด์แล้วนำมาบดผสมเก็บไว้ใช้ตลอดการศึกษาครั้งนี้ โดยตัวอย่างแร้มีทองคำ (Au) 1.19 ppm ทองแดง (Cu) 19,487 ppm และเหล็ก (Fe) 42.5%

การทดลองการชะละลายด้วยไซยาไนด์กระทำในหม้อหมุนโดยทดลองกับสินแร่ 3 ขนาด คือ 85% ละเอียดกว่า 75, 53 และ 38 ไมครอน และที่อัตราส่วนของแข็ง (%Solids) 3 ค่า คือ 35, 40 และ 45% โดยน้ำหนัก แต่การทดลองจะควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 11.5 และปริมาณไซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) ที่ 500 ppm และมีการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงๆที่เวลาต่างๆกันจนถึงชั่วโมงที่ 60 ซึ่งในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะทำการวัดค่า Dissolved Oxygen (DO) ค่า pH และปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือในสารละลาย รวมทั้งการวิเคราะห์ปริมาณทองคำ ทองแดงและเหล็กทั้งในส่วนของแข็งและสารละลาย

จากการประเมินทางด้านจลนศาสตร์พบว่ากระบวนการชะละลายเป็นไปตามสมการจลนศาสตร์ทั้งแบบ First order และ Second order ผลการประเมินอัตราการละลาย (%Extraction) พบว่าสินแร่ที่หยาบกว่ากลับถูกละลายในอัตราที่สูงกว่าแร้ที่ขนาดละเอียดกว่า โดยขนาดแร้ที่ 85% ละเอียดกว่า 75 μm พบว่ามีอัตราการละลายสูงถึง 87% ในขณะที่แร้ขนาด 38 μm มีอัตราการละลายเพียง 57-68% เท่านั้น ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นเพราะสินแร่ที่บดละเอียดกว่า ทำให้แร้เหล็กแตกหลุดเป็นอิสระมากขึ้นจึงใช้ไซยาไนด์ไปมากทำให้เหลือปริมาณไซยาไนด์ไม่เพียงพอสำหรับการละลายทองคำ

คำหลัก : จลนศาสตร์ กระบวนการละลายด้วยไซยาไนด์ และสินแร่ซัลไฟด์

Thesis Title Leaching Kinetics of Sulfide Gold Ores from Tungkum Mine, Loei Province

Author Miss Wanussanun Penthong

Major Program Materials Engineering

Academic Year 2011

Abstract

The objective of this research was to study the kinetics of cyanide leaching of sulfides gold ore from Tungkum mine of Tungkum Co.,Ltd in Loei Province. Gold ore samples collected from sulfide ores zones were crushed, blended and stocked for the entire study uses. The stocked ore sample contained 1.19 ppm Au, 19487 ppm Cu and 42.5% Fe. Cyanide leaching tests were done in a rolling bottle. Leaching of 3 different sizes of ground ore were studied being 85% passing 75, 53 and 38 microns. Initial pH and cyanide concentration were 11.5 and 500 ppm respectively. Samples were taken at various leaching time intervals up to 60 hours. Dissolved oxygen, pH and residual CN^- concentration in the liquid fraction were monitored. Au, Cu and Fe contents were analyzed for both solids and liquid fraction. The leaching tests were done at 3 different %solids; 35, 40 and 45% by weight. Kinetics evaluation showed that the leaching process conformed well to both first and second order rate equation. Coarser ground ore was found to be leached at a higher rate than was the finer ores. Percent extraction of gold was also surprisingly found to be higher for the coarser ground ore. Up to 84% gold extraction could be achieved for the 85% passing 75 microns ore whereas only 56-70% extraction was for the 85%passing 38 microns. Au content in liquid fraction was higher for the leaching at higher percent solids. Highly liberated iron exposed to cyanide for finer ground ore was suspected to cause cyanide deficiency for gold extraction due to high cyanide consuming by iron.

Key words : Kinetics, Cyanide leaching and Sulfide gold ores.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมีได้ออกนาม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์กัลยาณี คุปตานนท์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำดูแลตลอดช่วงการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ รัตนกวิน ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กรรมการสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่คอยให้คำแนะนำและเป็นທີ່ปรึกษาเกี่ยวกับการทำปฏิบัติการและงานด้านเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย และบริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัททุ่งคำจำกัด สำหรับการอนุเคราะห์ตัวอย่างแร่ซัลไฟด์และเอื้อเพื่อการใช้วัสดุอุปกรณ์ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างตลอดช่วงการศึกษาและขอบคุณคุณธีรยุทธ ว่องวิริยะสกุลและคุณทิพดี เพ็ชร โชติ ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดช่วงการทำวิจัย รวมทั้งพนักงานทุกท่านที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างและการทำวิจัยที่เหมืองทอง บริษัททุ่งคำ จำกัด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อยู่เบื้องหลังคอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วันสนั่นที่ เพ็ญทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สถานที่ทำวิจัย	2
1.5 แหล่งแร่ทองคำซัลไฟด์	2
1.6 ธรณีวิทยาแหล่งแร่เหมืองทอง บริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย	3
1.6.1 สภาพธรณีวิทยาโดยทั่วไป	3
1.6.2 ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่	4
1.6.3 โชนแร่	6
1.7 กระบวนการแต่งแร่ทองคำ	7
1.7.1 การแต่งแร่โดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ	7
1.7.2 การแยกจับด้วยปรอท (Amalgamation)	8
1.7.3 การละลายแร่ทองคำด้วยสารละลายไซยาไนด์ (Cyanidation)	8
1.8 กระบวนการแต่งแร่ทองคำ บริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย	10
1.9 หลักการของกระบวนการไซยาไนด์	12
1.9.1 ผลของการมีแร่ทองแดงและแร่เหล็กเจือปน ต่อการละลายแร่ทองคำ	15
1.10 จลนศาสตร์ของการละลาย (Leaching Kinetics)	17
1.10.1. กรณีระดับจลนศาสตร์ที่ศูนย์	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.10.2 กรณีระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่ง	19
1.10.3 กรณีระดับจลนศาสตร์ที่สอง	20
1.11 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2. วิธีการดำเนินการวิจัย	
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	24
2.1.1 เครื่องมือหลักที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุในงานวิจัย	24
2.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการละลายทองคำออกจากสินแร่ ซัลไฟด์	24
2.2 สารเคมี	26
2.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
2.3.1 การเตรียมตัวอย่างสินแร่เพื่อใช้ในการทดลอง	26
2.3.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาเวลาในการบดละเอียดสินแร่ให้ได้ตามกำหนด ในตัวแปรต่างๆของการศึกษาการละลายแร่	28
2.3.3 วิธีการศึกษาการละลายแร่	29
2.3.4 วิธีการละลายแร่ซัลไฟด์	29
2.3.5 วิธีการประเมินผล	31
3. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย	
3.1 ผลการวิเคราะห์สินแร่ที่ใช้ในการศึกษา	32
3.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเตรียมสินแร่ก่อนเข้ากระบวนการละลาย	32
3.3 การศึกษากระบวนการชะละลายแร่	33
3.3.1 การชะละลายแร่ที่ 35% Solids	33
3.3.2 การชะละลายแร่ที่ 40% Solids	42
3.3.3 การชะละลายแร่ที่ 45% Solids	51
4. การวิเคราะห์ผลการศึกษา	
4.1 %Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็ก	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การประเมินผลการชะละลายแร่ทองคำ	64
4.2.1 การชะละลายแร่ทองคำที่ 35%Solids	64
4.2.2 การชะละลายแร่ทองคำที่ 40%Solids	66
4.2.3 การชะละลายแร่ทองคำที่ 45%Solids	68
4.3 การประเมินการชะละลายทองแดงและเหล็ก	70
4.3.1 การชะละลายทองแดงและเหล็กที่ 35%Solids	70
4.3.2 การชะละลายทองแดงและเหล็กที่ 40%Solids	72
4.3.3 การชะละลายทองแดงและเหล็กที่ 45%Solids	73
4.4 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบอัตราการชะละลายของทองคำ ทองแดง และเหล็ก	75
4.5 การวิเคราะห์อิทธิพลของโลหะทองแดงและเหล็กที่มีต่อการชะละลายทองคำ	80
4.6 จลนศาสตร์ของการชะละลายทองคำออกจากสินแร่ซัลไฟด์	84
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	97
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์	106
ประวัติผู้เขียน	114

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารเคมี	26
2.2 ปริมาณน้ำและแร่ที่ใช้สำหรับการบดโดยเตรียมตัวอย่างที่ 60%Solids	28
3.1 ผลจากการวิเคราะห์หาค่าทองคำ ทองแดง และ เหล็ก	32
3.2 เวลาที่ใช้ในการบดสำหรับการทดลอง (นาที)	33
3.3 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)	34
3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลัก การชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)	35
3.5 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)	37
3.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลัง การชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)	38
3.7 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)	40
3.8 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลัง การชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)	41
3.9 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)	43

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.10 วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)	44
3.11 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์,ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)	46
3.12 วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)	47
3.13 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์,ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)	49
3.14 วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)	50
3.15 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์,ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)	52
3.16 วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)	53
3.17 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์,ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)	55

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.18 วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)	56
3.19 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)	58
3.20 วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)	59
4.1 % Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็ก สำหรับการชะละลายที่ 35 % Solids	61
4.2 % Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็ก สำหรับการชะละลายที่ 40 % Solids	62
4.3 % Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็ก สำหรับการชะละลายที่ 45 % Solids	63
4.4 เปรูเซ็นต์การชะละลายที่ %Solids และสินแร่ขนาดต่างๆ	78
4.5 %Extraction ของการชะละลายทองคำ	79
4.6 ข้อมูลจลนศาสตร์ของการชะละลายทองคำที่ 35%Solids 85%passing ขนาด 38 53 และ 75 ไมครอน ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่งและสอง	86
4.7 ข้อมูลจลนศาสตร์ของการละลายทองคำที่ 40%Solids 85%passing ขนาด 38 53 และ 75 ไมครอน ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่งและสอง	87
4.8 ข้อมูลจลนศาสตร์ของการละลายทองคำที่ 45%Solids 85%passing ขนาด 38 53 และ 75 ไมครอน ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่งและสอง	88
4.9 ค่า k (Rate constant) ของจลนศาสตร์ของการละลายทองคำระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่ง และสอง	89

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของเหมืองทองคำ	6
1.2 ผังการละลายแร่แบบ CIP (Carbon-in-Pulp) ของเหมืองทองคำ จ.พิจิตร	9
1.3 แผนผังกระบวนการผลิตแร่ทองคำด้วยวิธีการ Carbon-in-Pulp (CIP) ของบริษัททุ่งคำ จำกัด จ.เลย	11
1.4 Eh-pH diagram สำหรับระบบ CN-H ₂ O ที่อุณหภูมิ 25°C	13
1.5 Eh-pH diagram สำหรับระบบ Au-CN-H ₂ O ที่อุณหภูมิ 25°C	14
1.6 Eh-pH diagram สำหรับระบบ Fe-CN-H ₂ O ที่อุณหภูมิ 25°C	16
1.7 Eh-pH diagram สำหรับระบบ Cu-CN-H ₂ O ที่อุณหภูมิ 25°C	16
1.8 ภาพเปรียบเทียบ Eh-pH diagram ของทองคำ ทองแดงและเหล็กที่สมดุลกับสารละลายไซยาไนด์	17
1.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่ศูนย์	19
1.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่หนึ่ง	20
1.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่สอง	21
1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดทองคำและเงินและเวลาที่ใช้ในการละลาย	22
2.1 (ก) pH meter และ (ข) DO Meter	25
2.2 ขวดพลาสติก ใช้เป็นหม้อหมุนละลายแร่	25
2.3 กองแร่ซัลไฟด์	27
2.4 (ก) Jaw crusher และ (ข) Roller Crusher	27
2.5 (ก) ตะแกรงมาตรฐาน และ (ข) เครื่องแบ่งตัวอย่าง Jone's riffle	27
2.6 การเก็บแร่ตัวอย่าง	28
2.7 บดละเอียดด้วย Rod mill และ วัดค่า DO และปรับค่า pH โดยการเติมปูนขาว	30
2.8 (ก) Conditioning และ (ข) กรองตัวอย่าง	30
2.9 (ก) ตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์เป็นของเหลว และ (ข) ตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์เป็นของแข็ง	31

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การชะละลายของทองคำที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน	64
4.2 การชะละลายของทองคำ ที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน	65
4.3 การชะละลายของทองคำ ที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน	65
4.4 การชะละลายของทองคำ ที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน	66
4.5 การชะละลายของทองคำ ที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน	67
4.6 การชะละลายของทองคำ ที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน	67
4.7 การชะละลายของทองคำ ที่ 45%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน	68
4.8 การชะละลายของทองคำ ที่ 45%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน	69
4.9 การชะละลายของทองคำ ที่ 45%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน	69
4.10 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 38 ไมครอน 35%Solids	71
4.11 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 53 ไมครอน 35%Solids	71
4.12 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 75 ไมครอน 35%Solids	71
4.13 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 38 ไมครอน 35%Solids	71
4.14 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 53 ไมครอน 35%Solids	71
4.15 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 75 ไมครอน 35%Solids	71
4.16 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 38 ไมครอน 40%Solids	72
4.17 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 53 ไมครอน 40%Solids	72
4.18 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 75 ไมครอน 40%Solids	73
4.19 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 38 ไมครอน 40%Solids	73
4.20 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 53 ไมครอน 40%Solids	73
4.21 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 75 ไมครอน 40%Solids	73
4.22 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 38 ไมครอน 45%Solids	74
4.23 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 53 ไมครอน 45%Solids	74
4.24 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด 75 ไมครอน 45%Solids	74

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 38 ไมครอน 45%Solids	74
4.26 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 53 ไมครอน 45%Solids	75
4.27 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด 75 ไมครอน 45%Solids	75
4.28 การชะละลายทองคำ ที่ 35%Solids	76
4.29 การชะละลายทองคำ ที่ 40%Solids	76
4.30 การชะละลายทองคำ ที่ 45%Solids	77
4.31 การชะละลายทองแดง ที่ 35 %Solids	81
4.32 การชะละลายทองแดง ที่ 40 %Solids	82
4.33 การชะละลายทองแดง ที่ 45 %Solids	82
4.34 การชะละลายเหล็ก ที่ 35 %Solids	83
4.35 การชะละลายเหล็ก ที่ 40 %Solids	83
4.36 การชะละลายเหล็ก ที่ 45 %Solids	84
4.37 First order ของทองคำ 38 ไมครอน 35%Solids	89
4.38 Second order ของทองคำ 38 ไมครอน 35%Solids	89
4.39 First order ของทองคำ 53 ไมครอน 35%Solids	90
4.40 Second order ของทองคำ 53 ไมครอน 35%Solids	90
4.41 First order ของทองคำ 75 ไมครอน 35%Solids	90
4.42 Second order ของทองคำ 75 ไมครอน 35%Solids	90
4.43 First order ของทองคำ 38 ไมครอน 40%Solids	90
4.44 Second order ของทองคำ 38 ไมครอน 40%Solids	90
4.45 First order ของทองคำ 53 ไมครอน 40%Solids	91
4.46 Second order ของทองคำ 53 ไมครอน 40%Solids	91
4.47 First order ของทองคำ 75 ไมครอน 40%Solids	91
4.48 Second order ของทองคำ 75 ไมครอน 40%Solids	91
4.49 First order ของทองคำ 38 ไมครอน 45%Solids	91

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.50 Second order ของทองคำ 38 ไมครอน 45%Solids	91
4.51 First order ของทองคำ 53 ไมครอน 45%Solids	92
4.52 Second order ของทองคำ 53 ไมครอน 45%Solids	92
4.53 First order ของทองคำ 75 ไมครอน 45%Solids	92
4.54 Second order ของทองคำ 75 ไมครอน 45%Solids	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย

ทองคำเป็นโลหะธรรมชาติ เกิดผสมกับธาตุเงินหรือธาตุอื่นๆ เช่น ทองแดงและเหล็ก ทองคำสามารถละลายในกรดกัดทอง เนื่องจากทองคำเป็นแร่ที่หายาก กว่าจะได้ทองคำมาหนึ่งออนซ์ (31.167 กรัม) ต้องถลุงแร่ที่มีทองคำอยู่หลายตัน มีค่าใช้จ่ายที่สูง เป็นเหตุให้ทองคำมีราคาแพงตามต้นทุนในการผลิต

เหมืองแร่ทองคำที่เปิดทำการเหมืองในปัจจุบันในประเทศไทยมีทั้งแหล่งที่เป็นแร่ในสายควอร์ตเช่นที่เหมืองทองของอัคราไมนิ่ง จำกัด จังหวัดพิจิตร (แผนผังโครงการทำเหมืองแร่ทองคำ โดยวิธีเหมืองหาบ 2541) และแหล่งที่ทองคำเกิดปนอยู่กับแร่ซัลไฟด์ (เหมืองทองคำของบริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย และบริษัทภูเบ็ญ มายนิง จำกัด ประเทศลาว) โดยกระบวนการแต่งแร่เป็นการละลายแร่ด้วยสารละลายไซยาไนด์

สำหรับแหล่งแร่ทองคำที่เกิดร่วมกับ แร่ทองแดงซัลไฟด์และแร่เหล็กซัลไฟด์นั้น ทองแดงและเหล็กจะเป็นตัวรบกวนกรรมวิธีกระบวนการละลายแร่ทอง (Nicol M.J. et al., 1987) อาจทำให้กระบวนการละลายช้าลงและสูญเสียทองไปกับหางแร่ การศึกษาจลนศาสตร์ ของการละลายแร่ทองคำที่เกิดปนกับหางแร่ซัลไฟด์จึงเป็นหัวข้อที่เป็นประโยชน์สำหรับเป็นข้อมูลฐานสำหรับการปรับปรุงกระบวนการแต่งแร่ทองในแหล่งแร่ซัลไฟด์ในประเทศไทยต่อไป

ดังนั้นจุดประสงค์หลักของงานวิจัยในครั้งนี้จึงเป็น การศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่ออัตราเร็วในการละลายด้วยกระบวนการไซยาไนด์ชัน (Cyanidation) ของสินแร่ทองคำแบบซัลไฟด์ โดยเลือกตัวอย่างจากเหมืองแร่ทองคำของบริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย เพื่อเป็นข้อมูลฐานในการปรับปรุงกระบวนการแยกทองคำด้วยกระบวนการละลายสินแร่ทองคำแบบซัลไฟด์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาการชะละลายแร่ทองคำจากสินแร่ซัลไฟด์ด้วยไซยาไนด์ซึ่งมีแร่ทองแดงและเหล็กประกอบด้วย และ ศึกษาจลนศาสตร์ของการละลาย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาจลนศาสตร์ของการละลายแร่ทองคำในสินแร่ซัลไฟด์ที่เก็บจากเหมืองทุ่งคำ จังหวัดเลย

1.4 สถานที่ทำวิจัย

1.4.1 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.4.2 เหมืองแร่ทองคำทับฟ้า จังหวัดเลย

1.5 แหล่งแร่ทองคำซัลไฟด์

แหล่งแร่ทองคำแบบนี้เป็นแหล่งแร่ที่ทองคำเกิดปนกับแร่ซัลไฟด์ต่างๆ เช่น Pyrite (FeS_2), Pyrrhotite (FeS), Chalcopyrite (CuFeS_2) และ Chalcocite (Cu_2S) เป็นต้น ดังเช่นที่ บริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย (บริษัททุ่งคำ จำกัด, 2552 และ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552) และแหล่งแร่ในต่างประเทศ เช่น Goldcorp Red Lake Mine (Deschenes G. et al., 2003) และ Abitibi, Quebec ประเทศแคนาดา (Deschenes G. et al., 1997) Boddington, Western Australia (Vukcevic S., 1997) เป็นต้น

อนึ่ง ในแหล่งแร่ซัลไฟด์นี้ทางโซลนตอนบนของแหล่งแร่จะเป็น โซลนของแร่ออกไซด์ที่เกิดจากการออกซิไดซ์ของแร่ซัลไฟด์ เช่น ที่แหล่งทองคำบริษัททุ่งคำ จำกัด

1.6 ธรณีวิทยาแหล่งแร่เหมืองทอง บริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย

1.6.1 สภาพธรณีวิทยาโดยทั่วไป ในพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ บริษัท ทุ่งคำ จำกัด และพื้นที่โดยรอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินตะกอนของหมวดหินผาเตี๋ย (Pha Dua Formation) ในกลุ่มหินสระบุรี มีอายุในช่วงล่าง-ช่วงกลางยุคเพอร์เมียน (Lower-Middle Permian) หินหน่วยนี้ถูกแทรกดันโดยหินอัคนี (Igneous Rock) ซึ่งมีอายุในช่วงเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic) ทำให้หินเดิมบางส่วนแปรสภาพเป็นหินแปร (Metamorphic Rock) และกึ่งหินแปร ชนิดของหินหลัก ๆ มีดังนี้ (บริษัททุ่งคำ จำกัด, 2552 และมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552)

1.6.1.1 หินตะกอน (Sedimentary Rock)

หินตะกอนที่พบประกอบด้วยหินทรายแป้ง (Siltstone) สีเทาถึงเทาเข้ม หินดินดาน (Shale) สีเทาถึงเทาดำ หินทราย (Sandstone) ขนาดเม็ดละเอียด สีเทาขาว สีน้ำตาลอ่อน แสดงชั้นบางจนถึงไม่แสดงชั้นชัดเจน และยังพบหินปูนสีเทาลักษณะเป็นเลนส์ (Limestone Lense) ซึ่งมีลักษณะเนื้อลึกลับ เนื่องจากเกิดการแปรสภาพมีการตกผลึกใหม่ (Re-crystallisation) โดยสาเหตุมาจากการดันตัวขึ้นมาของลำหินอัคนีเป็นแห่งๆ หินตะกอนบริเวณนี้มีลักษณะการวางตัวของชั้นหิน (Bedding) ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเท (Dip) ประมาณ 30° ถึง 90° ไปทางตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมักมีมุมเทเกือบเป็นแนวตั้ง

1.6.1.2 หินอัคนี (Igneous Rock)

หินอัคนีที่พบเป็นชนิดแกรโนไดโอไรท์ (Granodiorite) สีเทาจนถึงเทาเข้ม ขนาดเม็ดแร่หายปานกลางและมีเศษหินแปรกลบกลม (Xenolith) แร่ประกอบหินหลัก ๆ ได้แก่ควอตซ์ (Quartz), เฟลสปาร์ (Feldspar), ฮอร์นเบลนด์ (Hornblende) และ ไบโอไทต์ (Biotite) หินแกรโนไดโอไรต์นี้เป็นลำหินอัคนี (Stock) ที่แทรกดันเข้ามาในชั้นหิน หินชนิดนี้มีการผุพังสูงเมื่ออยู่ใกล้ผิวดิน จะเหลือเพียงบางส่วนที่แข็งแสดงลักษณะเป็นก้อนกรวดใหญ่ (Boulder) นอกจากนี้ยังพบเกิดเป็นผนังหินสีเทาเขียว (Dike/Sill) และเนื้อหินเป็นชนิดหินเนื้อดอก (Porphyry) เป็นแร่เฟลสปาร์และฮอร์นเบลนด์ หินเนื้อดอกนี้จะแทรกอยู่ทั้งในหินตะกอนและหินสการ์น หินอัคนี

เหล่านี้สันนิษฐานว่ามีอายุในช่วงไทรแอสซิก ถึงเพอร์ม-ไทรแอสซิกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสะสมตัวของแร่ทองคำ แร่เงิน และแร่ทองแดง

1.6.1.3 หินแปร (Metamorphic Rock)

หินแปรที่พบส่วนใหญ่เป็นหินสการ์น (Skarn) สีเขียวแกมเทา สีน้ำตาลปนแดง และสีน้ำตาล ประกอบด้วยแร่หลัก ได้แก่ การ์เน็ต (Garnet) และไพรอกซีน (Pyroxene) เนื้อละเอียดมาก ถึงเนื้อหยาบ บางครั้งแสดงรูปผลึกสมบูรณ์ (Euhedral Crystal) นอกจากนี้ยังพบหินฮอร์นเฟลส์ (Hornfels) ในบริเวณที่มีหินเนื้อดอก เกิดแทรกตัวอยู่ในหินตะกอน เนื่องจากหินเดิมถูกแปรสภาพกลายเป็นเนื้อละเอียดแน่นและแข็งมากขึ้น หินแปรเหล่านี้มักพบเกิดแทรกสลับกับหินกอสแซน และ มวลซัลไฟด์เนื้อแน่น

1.6.1.4 หินกอสแซน (Gossan) และ มวลซัลไฟด์เนื้อแน่น

หินกอสแซน ประกอบด้วยแร่เหล็กออกไซด์ชนิดไลโมนิต (Limonite) ฮีมาไทต์ (Hematite) และมีแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) ปนอยู่เล็กน้อย โดยทั่วไปมีสีน้ำตาลปนเหลือง เหลืองน้ำตาลปนแดง ไปจนถึงน้ำตาลดำ เนื้อหินมีลักษณะเนื้อพรุน ไปจนถึงเนื้อแน่นละเอียด และพบเศษหินชนิดอื่น (Rock Fragment) อยู่ในเนื้อหินกอสแซนด้วย หินกอสแซนนี้เกิดจากการผุพังทางเคมี (Chemical Weathering) ของแร่ชนิดซัลไฟด์ซึ่งเกิดแบบฝังประ (Disseminated) และเป็นสายแร่เล็กๆ (Vein) ไปจนถึงเป็นมวลเนื้อแน่น (Massive) อยู่ในหินเดิม

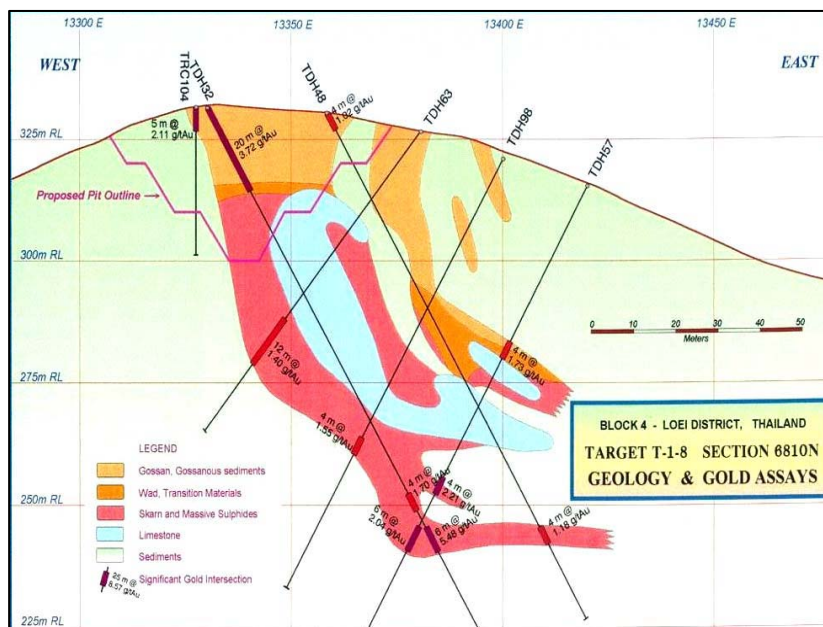
1.6.2 ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่

โดยทั่วไปแล้วแหล่งแร่ต่าง ๆ ในจังหวัดเลย เช่น แหล่งแร่ทองแดง เหล็ก ตะกั่วและสังกะสี มักจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับลำหินแกรโนไดออไรต์ (Granodiorite Stock) ซึ่งเป็นตัวนำน้ำแร่โลหะต่าง ๆ ขึ้นมาและทำให้เกิดการสะสมอยู่ตามรอยแตก เกิดเป็นสายแร่ เช่น สายควอทซ์ หรือน้ำแร่อาจเข้าไปแทนที่ในหินข้างเคียงที่อยู่ติดกับแกรโนไดออไรต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของหินข้างเคียงนั้น แหล่งแร่ทองคำในบริเวณคำขอประทานบัตรกลุ่มนี้ก็มีลักษณะการเกิดที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ลำหินแกรโนไดออไรต์ที่ดันแทรกเข้ามาในหินชั้นพวกหินทราย และหินปูน ในรูปของสารละลายที่มีความร้อนจะไปทำให้หินข้างเคียงเหล่านี้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงขึ้น หินปูนซึ่งเกิดเป็นเลนส์และเป็นชั้นบาง ๆ แทรกอยู่ในหินชั้นชนิดอื่น ๆ นี้จัดเป็นหินที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นเมื่อเกิดมี Fluids ที่ร้อนและมีความดันพอควรแทรกเข้าไปในหินปูนพวกนี้จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแปรสภาพเป็นหินแปรชนิดสการ์นซึ่งมีแร่การ์เนต เป็นส่วนประกอบหลัก ในขณะเดียวกันแร่ต่าง ๆ ที่มากับสารละลายเหล่านี้ก็จะเกิดการตกผลึกตามไปด้วย เช่น แร่พิไรโทท์ (Pyrrhotite) แร่ทองแดงซัลไฟด์ ชนิด ชาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite), บอร์ไนท์ (Bornite) และมีแร่ทองคำอีกเล็กน้อย นอกจากหินปูน (Limestone) แล้ว หินชั้นชนิดอื่น เช่น หินทรายแป้ง (Siltstone), หินเชลล์ (Shale) ที่มีคุณสมบัติเป็นแคลคาเรียล (Calcareous) เล็กน้อย ก็สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารละลายร้อนเหล่านี้ได้อีกด้วย ในระยะเวลาช่วงหลัก ๆ ของกิจกรรมนี้จะมีของไหลซึ่งค่อนข้างเจือจางดันแทรกตัวตามมาอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งของไหลนี้จะเป็นตัวนำแร่ทองคำ ทองแดงและบิสมัทขึ้นมาและแทรกเข้าไปในสการ์นและแร่ซัลไฟด์ต่าง ๆ อีกครั้งหนึ่ง ส่วนที่ตกผลึกเป็นสายแร่จะมีพวก Quartz-Calcite Veins ที่มีแร่ทองคำไพไรท์ ชาลโคไพไรท์ โมลิบดีไนท์ (Molybdenite) และ อาร์ซีนไพไรท์ (Arsenopyrite) อีกเล็กน้อย ในส่วนที่เข้าไปแทนที่ในสการ์น ก็จะช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของทองคำขึ้น เมื่อแร่ซัลไฟด์เหล่านี้ไหลขึ้นสู่ผิวโลกก็เกิดการผุพังและการออกซิเดชันเปลี่ยนสภาพไปเป็นแร่ออกไซด์ เหล่านี้เรียกว่ากอสแซน (Gossan) ซึ่งเมื่อไหลอยู่บนผิวโลกนานเข้าก็จะเกิดการผุพังลงมาสะสมตัวในชั้นดินอันเป็นผลให้แร่ทองคำบางส่วนหลุดมาสะสมกันอยู่ในชั้นดินตามไปด้วย (บริษัททุ่งคำ จำกัด, 2552 และมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552)

1.6.3 โชนแร่

โชนแร่มี 3 แบบ ได้แก่ แร่ออกไซด์ อยู่ชั้นบนสุด ถัดลงมาจะเป็นแร่ทรานซิชัน และแร่ซัลไฟด์



รูปที่ 1.1 ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของเหมืองทองคำ

(ที่มา : บริษัททุ่งคำ จำกัด, 2552 และมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552)

1.6.3.1 แร่ออกไซด์ (Oxide Ore)

ลักษณะของแร่ออกไซด์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินกอสแซน ที่เกิดจากการผุพังทางเคมีของแร่ซัลไฟด์ หินสการ์นผุ (Oxidised Skarn) และหินตะกอนผุที่มีแร่เหล็กออกไซด์ปน (Gossanous Sediment) เนื่องจากการผุพังและการพัดพาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้เกิดการสะสมของชั้นแร่บริเวณใกล้ผิวดินตามที่ลาดเขาติดกับแนวสายแร่หลักเป็นลักษณะคล้ายดอกเห็ด (Mushroom Shape)

ที่เหมืองแร่ทองคำ บริษัททุ่งคำ จังหวัดเลย จะพบว่าลักษณะของแร่ออกไซด์เป็นชนิดแหล่งแร่พัดพาเชิงเขา (Eluvial Deposit) ซึ่งเกิดจากการผุพังและสะสมตัวของหินเดิมตามบริเวณที่ลาดเชิง

เขา ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียวปนเศษหินและชั้นกรวดของหินควอร์ตซ์ หินตะกอน และหินกอสแซนปนดิน

1.6.1.2 แร่ทรานซิชัน (Transition Ore)

แร่ทรานซิชันเป็นชั้นแร่ที่อยู่ระหว่างชั้นแร่ออกไซด์และชั้นแร่ซัลไฟด์ กล่าวคือ เป็นชั้นแร่ซัลไฟด์ที่มีการผุพังทางเคมีและทางกายภาพ (Oxidization and Weathering) ยังไม่สมบูรณ์ จึงมีทั้งแร่ออกไซด์และแร่ซัลไฟด์ปะปนกันอยู่ ชั้นแร่ทรานซิชันนี้ส่วนใหญ่วางตัวเกือบขนานกับสภาพภูมิประเทศ

1.6.1.3 แร่ซัลไฟด์ (Sulphide Ore)

แร่ซัลไฟด์แยกจากแร่ออกไซด์ตามการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป กล่าวคือ แร่ซัลไฟด์ชนิดต่าง ๆ ในแร่ซัลไฟด์ยังไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจึงไม่มีส่วนประกอบของแร่ชนิดออกไซด์อยู่ ซึ่งประกอบด้วยหินสการ์นชนิดการ์เนต-ไพรอกเซน (Garnet-pyroxene Skarn, Pyrrhotite Skarn) หรือ (Massive Sulfide) และหินตะกอนซิลิซิไฟด์ (Silicified Sediment) ตามแนวขอบสายแร่ จากการเจาะสำรวจพบแร่ซัลไฟด์ตั้งแต่ความลึก 5 เมตรใต้ผิวดินลงไปถึงระดับความลึกมากกว่า 250 เมตร แต่โดยเฉลี่ยระดับความลึกของชั้นไพรอกเซน และ ไพโรไทท์ แร่ที่พบเกิดร่วมและมีเป็นส่วนน้อย เช่น ควอทซ์ แคลไซต์ ซาลโคไพไรท์ ไพไรท์ แมกนีไทท์ อาซิโนไพไรท์ และ เฟลสปาร์ เป็นต้น แร่ซัลไฟด์ชนิดอื่นที่พบเกิดร่วมในหินสการ์น ได้แก่ ไพไรต์ ซาลโคไพไรต์ บิสมัท บิสมัท-เทลลูไรด์ และแร่ที่พบเป็นส่วนน้อยเช่น อาร์ซีนไพไรต์และแมกนีไทต์ เป็นต้น

1.7 กระบวนการแต่งแร่ทองคำ

1.7.1 การแต่งแร่โดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Gravity Concentration)

การแต่งแร่โดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ เป็นวิธีที่ใช้กันมาตั้งแต่โบราณ และได้รับการพัฒนามาตลอด โดยเฉพาะในแหล่งลานแร่ซึ่งความสมบูรณ์ของแร่ทองคำค่อนข้างต่ำไม่คุ้มค่ากับการลงทุนแต่งแร่ โดยวิธีอื่นนอกจากนี้ยังใช้กับแหล่งแร่ทองคำในสายแร่ที่เป็นแร่หายากส่วนแร่ละเอียดจะใช้วิธีอื่นต่อไป แร่ทองคำมีความถ่วงจำเพาะสูงจึงเป็นข้อดีสำหรับการ

แต่งแร่ด้วยวิธีการนี้ ขณะเดียวกันในแหล่งแร่หลายแห่งมักพบแร่ละเอียดและมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ หรือมีรูพรุนทำให้ ประสิทธิภาพในการเก็บแร่ต่ำลง อย่างไรก็ตามแหล่งแร่ทองคำขนาดเล็กจำนวนมากได้ใช้วิธีการนี้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ วิธีการที่ใช้กัน โดยทั่วไปได้แก่ การร่อนเลียง ซึ่งทำโดยชาวบ้านท้องถิ่นตามลำห้วยหรือแหล่งลานแร่คั้นๆ การใช้รางกู่แร่การใช้จี้ก หรือโต๊ะแยกแร่

1.7.2 การแยกจับด้วยปรอท (Amalgamation)

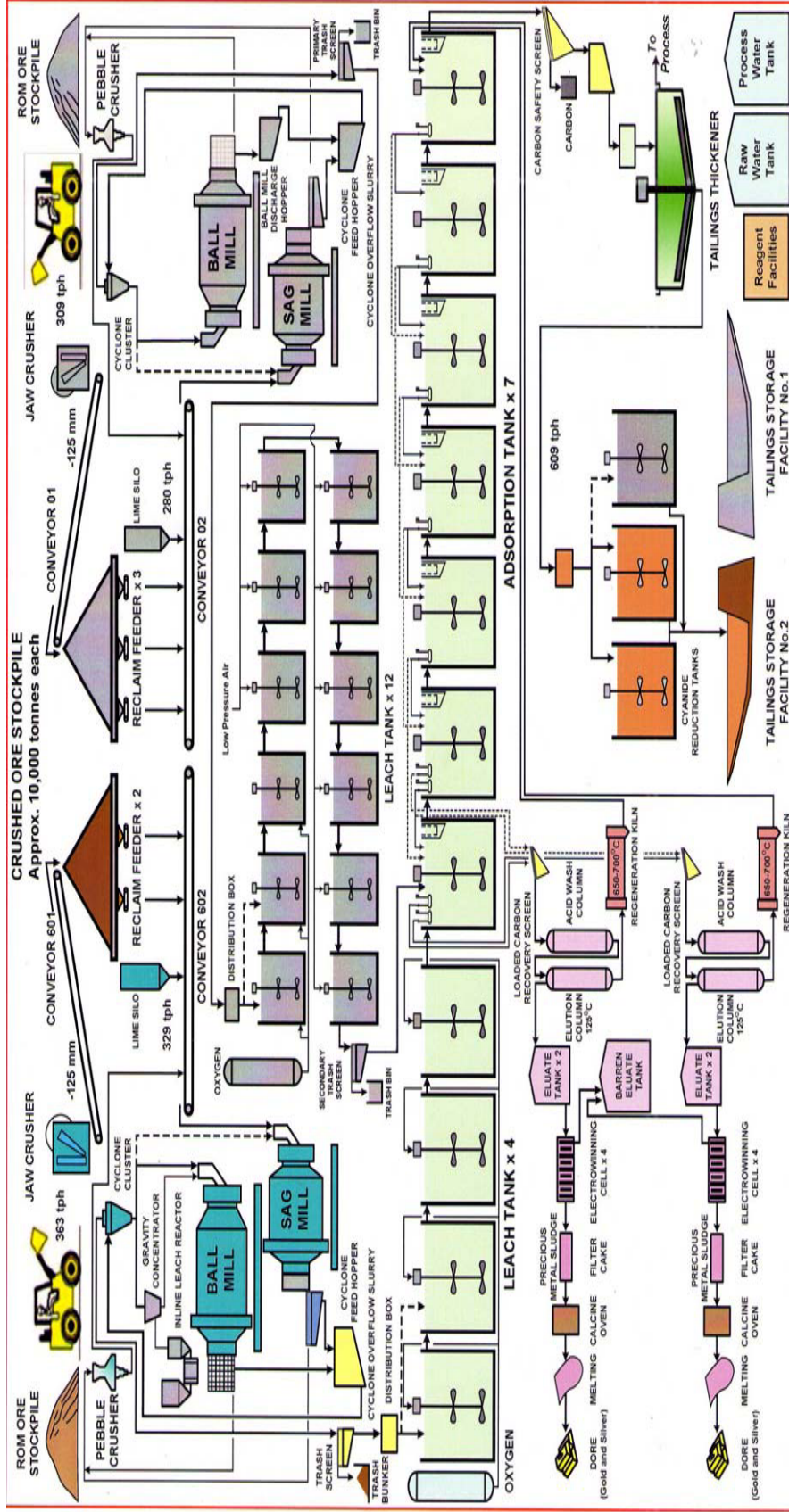
การแยกจับด้วยปรอทเป็นวิธีการใช้ปรอทเลือกจับเฉพาะทองคำแยกออกจากมลทิน โดยทองคำจะละลายได้ดีในปรอท โดยเกิดเป็น โลหะผสมทองคำ-ปรอท ทำให้ได้สารประกอบ Au_2Hg และ $AuHg_2$ จึงสามารถแยกทองออกจากมลทินได้ แต่จะต้องนำทำการกลั่นแยกปรอทออกไปจากทองอีกครั้ง

วิธีการจับโลหะด้วยปรอทอาจทำได้โดยการใส่ปรอทลงไปในแร่ขณะบด เพื่อให้แร่มีค่าได้สัมผัสกับปรอทโดยตรงหรือโดยการผสมปรอทลงไปนในสารละลาย ในลักษณะเป็นฝอยเล็กๆ วิธีนี้เหมาะกับแร่ที่ละเอียดมาก

1.7.3 การชะละลายแร่ทองคำด้วยสารละลายไซยาไนด์ (Cyanidation)

การชะละลายแร่ทองคำ เป็นวิธีการที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการทำเหมืองแร่ทองคำในแหล่งขนาดใหญ่ วิธีการนี้เป็นการชะละลายทองคำด้วยสารละลายไซยาไนด์ (โซเดียมไซยาไนด์หรือโพแทสเซียมไซยาไนด์) ออกจากแร่ชนิดอื่น ซึ่งในกระบวนการละลายนั้นจะใช้ปูนขาวเป็นตัวควบคุมสภาพความเป็นด่าง

ในกระบวนการชะละลายสินแร่จะเริ่มจากนำแร่ที่บดและคัดขนาดแล้วมารวมไว้ในถังที่มีสารละลายไซยาไนด์ แร่ทองคำจะถูกละลายออกมาในรูปของสารละลายผ่านเม็ดถ่านกัมมันต์สวนทางกับ Slurry เพื่อดูดซับทองคำที่อยู่ในสารละลายเอาไว้ที่ผิวเม็ดถ่านกระบวนการนี้เรียกว่า Carbon-in-leach (CIL) ส่วนกระบวนการ Carbon-in-Pulp (CIP) เป็นการเติมเม็ดถ่านกัมมันต์ในสารละลายอุ้มทอง (Pregnant Solution) ที่แยกเอาส่วนที่ไม่ละลายออกไปแล้ว เช่นที่เหมืองแร่ทองคำชาติ บริษัทอัคราไมนิ่งจังหวัดพิจิตร (รูปที่ 1.2)



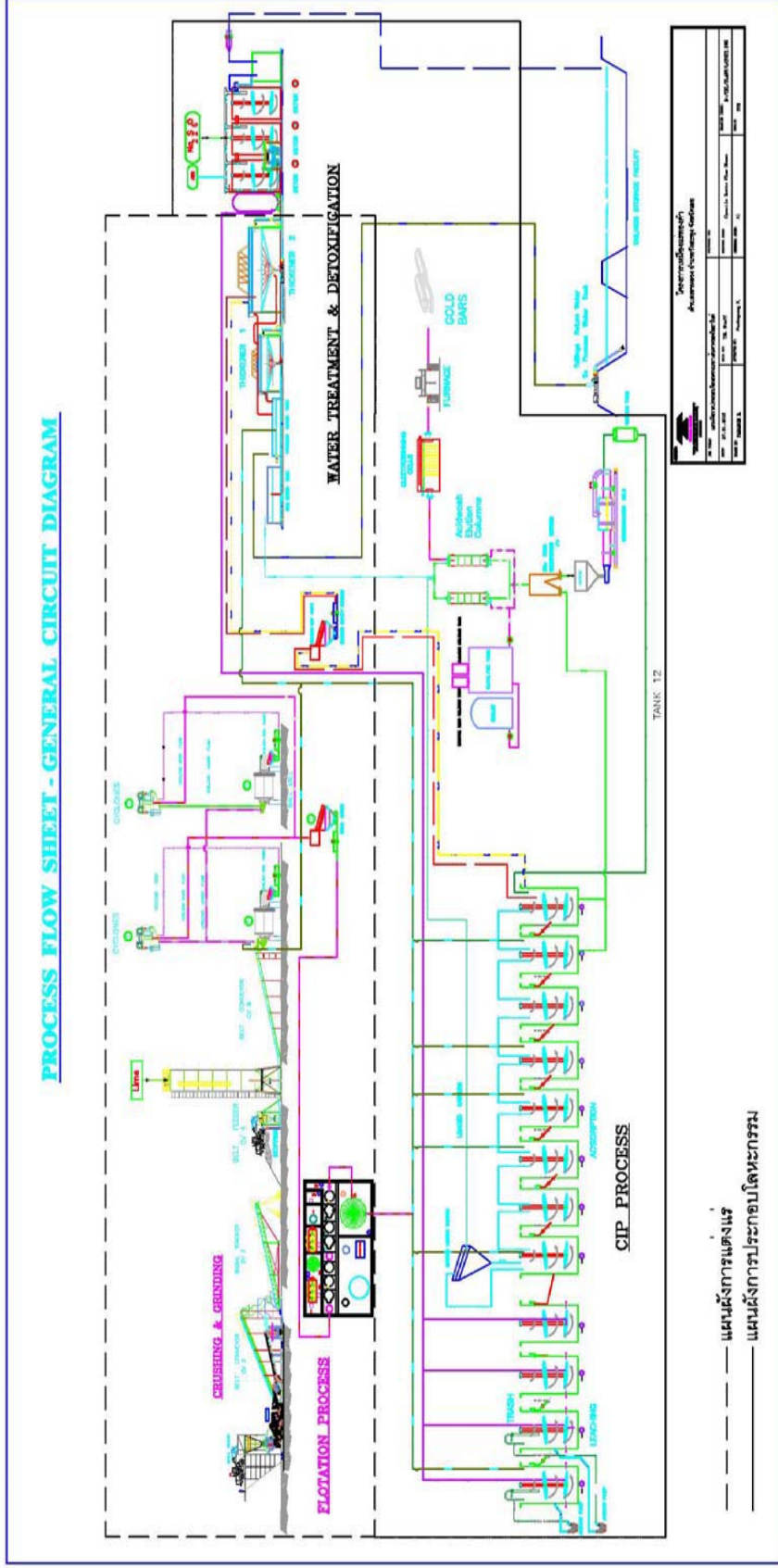
รูปที่ 1.2 ผังการละลายแร่แบบ CIP (Carbon-in-Pulp) ของเหมืองทองคำ จ.พิจิตร

(ที่มา : บริษัทอัครา ไมนิ่ง จำกัด, 2555)

1.8 กระบวนการแต่งแร่ทองคำ บริษัททุ่งคำ จำกัด จังหวัดเลย

การแต่งแร่ทองคำที่บริษัททุ่งคำ จำกัด นี้จะเป็นการละลายแร่ด้วยกระบวนการไซยาไนด์ และจับแร่ทองคำด้วยถ่านกัมมันต์ในรูปแบบของ CIP (Carbon-in-Pulp) ดังในรูปที่ 1.3

ในกรณีที่เป็นแร่จากไซนซัลไฟด์นั้นในปัจจุบันได้มีการเพิ่มกระบวนการลอยแร่โดยลอยเอาหัวแร่ทองแดงออกไปซึ่งมีทองคำปนอยู่ในหัวแร่ด้วยแล้วจึงนำหางแร่เข้ากระบวนการ CIP เพื่อเก็บทองคำที่เหลือต่อไป



รูปที่ 1.3 แผนผังกระบวนการผลิตแร่ทองคำด้วยวิธีการ Carbon-in-Pulp (CIP) ของ บริษัททุ่งคำ จำกัด จ.เลย

(ที่มา : บริษัททุ่งคำ จำกัด, 2552)

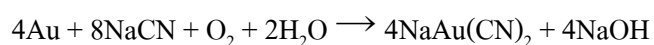
1.9 หลักการของกระบวนการไซยาไนด์

กระบวนการไซยาไนด์เป็นวิธีการที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการทำเหมืองแร่ทองคำในแหล่งขนาดใหญ่ซึ่งขนาดของแร่จะละเอียดมากแทรกตัวอยู่ในแร่ชนิดอื่น วิธีการนี้อาศัยคุณสมบัติของสารละลายเจือจางโซเดียมไซยาไนด์หรือโพแทสเซียมไซยาไนด์หรือแคลเซียมไซยาไนด์ ซึ่งสามารถละลายแร่ทองคำออกจากแร่ชนิดอื่น เป็นต้น

การชะละลายแร่ด้วยสารละลายไซยาไนด์ ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0.001-0.25% ส่วนปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแร่ชนิดต่างๆที่เกิดอยู่ร่วมกัน การบดต้องให้ขนาดแร่ได้ตามความเหมาะสมเพื่อให้การละลายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ปูนขาวในการควบคุมสภาพความเป็นด่างป้องกันการเกิดกรดไซยานิกของสารละลายไซยาไนด์ การออกแบบเครื่องมือในการกวนเพื่อให้การละลายมีประสิทธิภาพสูงสุดเหล่านี้เป็นสิ่งที่ต้องศึกษา ก่อนการดำเนินการ การที่แร่ทองคำเกิดร่วมกับแร่บางชนิดเช่น คาร์บอนหรือ ซัลไฟด์ของเหล็ก สังกะสี ทองแดง หรือพลวง สารหนูจะทำให้ปริมาณของไซยาไนด์ที่ใช้สูงมากหรือการชะละลายของทองคำต่ำลงและอาจตกตะกอนกลับลงไปอีก

กระบวนการไซยาไนด์ (Cyanidation) เป็นการใส่สารละลายไซยาไนด์ มาละลายทองคำในรูปของสารประกอบทองคำ – ไซยาไนด์เชิงซ้อน (Gold-Cyanide Complex) แยกออกจากมลทินต่างๆ (Habashi, 1967 and Daha Sonra Bodlander, 1896)

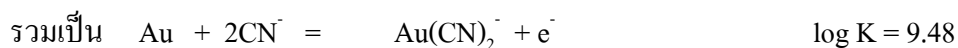
ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องคือ



ซึ่งเขียนในรูปของปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีเป็นปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอน (ออกซิเดชัน) และปฏิกิริยารับอิเล็กตรอน (รีดักชัน) ดังนี้

ก. ปฏิกิริยาการละลาย (ให้อิเล็กตรอน)

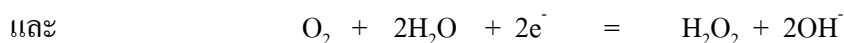
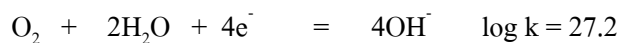




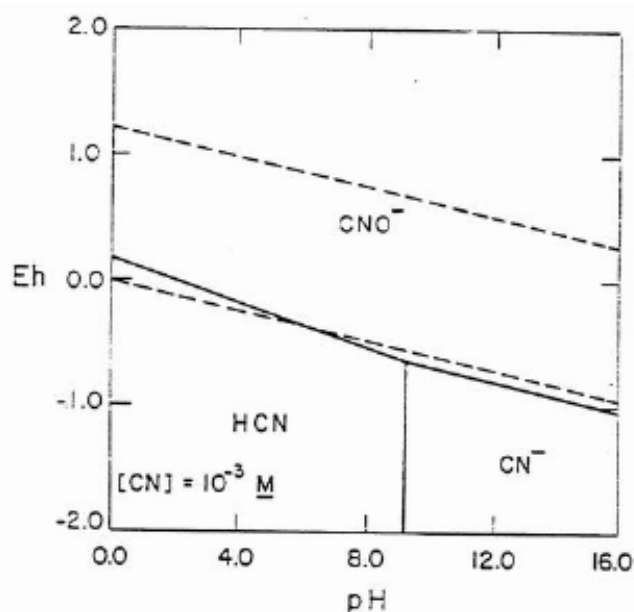
ข. ปฏิกริยารับอิเล็กตรอน (รีดักชัน)

เนื่องจากการชะละลายทองคำด้วยไซยาไนด์จะได้อิเล็กตรอนออกมา ดังนั้นปฏิกิริยาจะเกิดได้สมบูรณ์จะต้องมีปฏิกิริยาที่รับอิเล็กตรอนไปหรือ ปฏิกริยารีดักชัน (Reduction)

ปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนนี้นิยมใช้การพ่นอากาศหรือออกซิเจนเข้าไปในระบบเพื่อรับอิเล็กตรอน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันสำหรับการชะละลายแร่ทองคำด้วยสารไซยาไนด์นี้ จะเกิดที่พีเอชที่มีค่าเป็นด่าง คือ พีเอชประมาณ 9.5 ขึ้นไป ซึ่งสารประกอบไซยาไนด์อยู่ในรูปของไอออนไซยาไนด์ (CN^-) ดังในรูปที่ 1.4

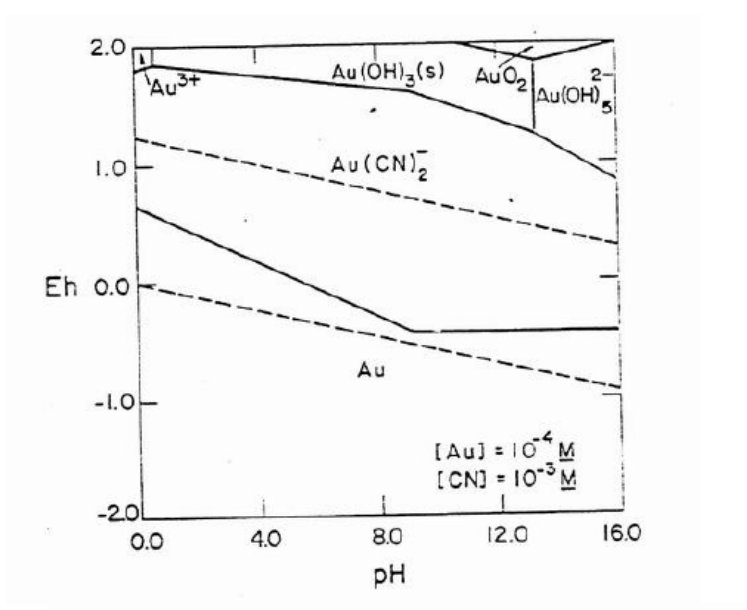


รูปที่ 1.4 Eh-pH diagram สำหรับระบบ $\text{CN}-\text{H}_2\text{O}$ ที่อุณหภูมิ 25°C หมายเหตุ Eh มีหน่วยเป็น Volts

(ที่มา : Osseo-Asare et al., 1984)

กราฟสมมูล (Stability Diagram) ที่แสดงให้เห็นสถานะที่เสถียรของทองคำและสารประกอบเชิงซ้อนทองคำไซยาไนด์ ได้แก่ Eh-pH Diagram (รูปที่ 1.5) ซึ่งหากมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมากขึ้น ค่า Eh หรือ Redox Potential ของระบบจะสูงขึ้น นั่นคือหากต้องการให้ Eh สูงขึ้นต้องเติมอากาศหรือออกซิเจนเข้าไปในระบบมากขึ้นนั่นเองเพื่อรับอิเล็กตรอนและเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการละลายที่ให้อิเล็กตรอนออกมา เช่น ตามเงื่อนไขในรูปที่ 1.5 ทองคำ (Au) จะถูกละลายด้วยสารละลายไซยาไนด์กลายเป็น $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ได้ต้องอัดออกซิเจนเข้าไปในระบบมากขึ้นจนค่า Eh สูงกว่า -0.4 Volts เป็นต้น

ในขณะเดียวกันนอกจากไซยาไนด์จับเป็นสารประกอบเชิงซ้อน กับทองคำแล้ว ยังจับเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) ด้วย (Osseo-Asare, K. et al., 1984)



รูปที่ 1.5 Eh-pH diagram สำหรับระบบ Au-CN-H₂O ที่อุณหภูมิ 25°C

(ที่มา : Osseo-Asare et al., 1984)

จะเห็นว่าใน Eh – pH Diagram ที่ผ่านมาจะเป็น Diagram ที่กำหนดค่าความเข้มข้นของ โลหะ [M] และไซยาไนด์ [CN]_{Total} ค่าหนึ่ง (หน่วยเป็น M หรือ mole/L) ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ควบคุม ในกระบวนการ เช่นที่ [CN] เท่ากับ 10^{-3} M

ดังนั้นในการทำงานจริงหากควบคุมปริมาณความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ 10^{-3} M ดังใน Diagram ต่าง ๆ เราจะสามารถตรวจดูได้ว่าในช่วงใดของ pH และของ Eh ที่สามารถละลายทองคำ และเงินได้ และมีโลหะอื่นใดที่ละลายด้วยอย่างไร หรือจะมีช่วงใดบ้างที่โลหะอื่น ๆ ไม่ละลาย

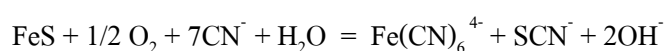
จากความรู้ดังกล่าวทำให้เราสามารถวางแผนกระบวนการได้ เช่น วางแผนกำจัดโลหะอื่น ออกก่อนเข้ากระบวนการ หรือกำหนดว่าต้องปรับ Eh สูงขึ้นถึงเท่าใด โดยการเติมอากาศหรือ ออกซิเจนลงไปในระบบเพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งเป็นการเพิ่มช่วง Eh เป็นต้น

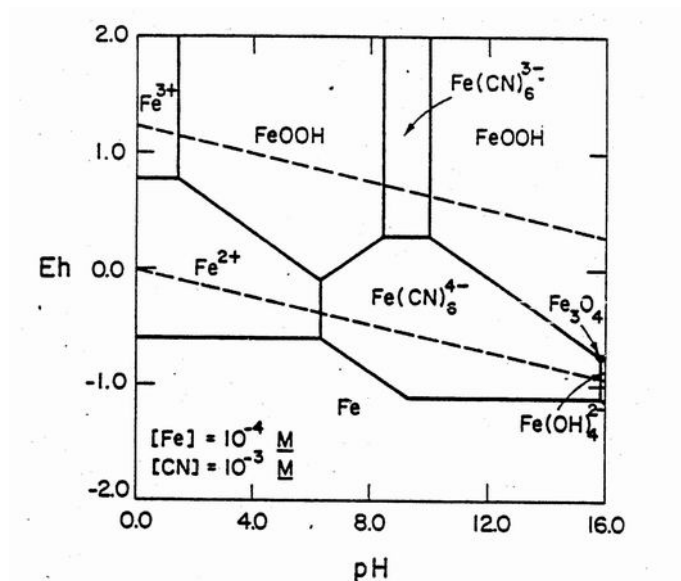
ข้อที่น่าสังเกต คือ หากโลหะอื่น เช่น เหล็ก ทองแดง ละลายด้วยย่อมหมายถึงการสิ้นเปลือง สารไซยาไนด์ และอาจเกิดปัญหาไซยาไนด์ไม่เพียงพอที่จะละลายทองคำ ทำให้ความสามารถในการเก็บแร่ทอง (% Recovery) ลดลงได้

1.9.1 ผลของการมีแร่ทองแดงและแร่เหล็กเจือปน ต่อการชะละลายแร่ทองคำ

สำหรับแร่ซัลไฟด์นั้นจะมีทองคำ ทองแดง เหล็กและแร่ชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยทำให้ กระบวนการละลายทองคำออกจากแร่ซัลไฟด์นั้นทำได้ยากขึ้น ดังนั้นอาจจะต้องเติมออกซิเจน Lead Nitrate หรือฟรีไซยาไนด์ การเติม Lead Nitrate จะทำให้ Recovery ของทองคำสูงขึ้น เช่นเดียวกับการเติมออกซิเจน (Deschenes G. et al., 2003)

เหล็กที่เป็นส่วนผสมในแร่ซัลไฟด์จะถูกชะละลายด้วยไซยาไนด์ด้วยเช่นกันตาม Eh-pH Diagram ในรูปที่ 1.6 โดยความเร็วจากการละลายต่างกันซึ่งเรียงจากช้าไปเร็วคือ Pyrite < Marcasite < Pyrrhotite ดังนั้นสารไซยาไนด์จะละลาย Pyrite และ Pyrrhotite ได้สารประกอบ เิงซ้อนเหล็ก – ไซยาไนด์ ตามปฏิกิริยา

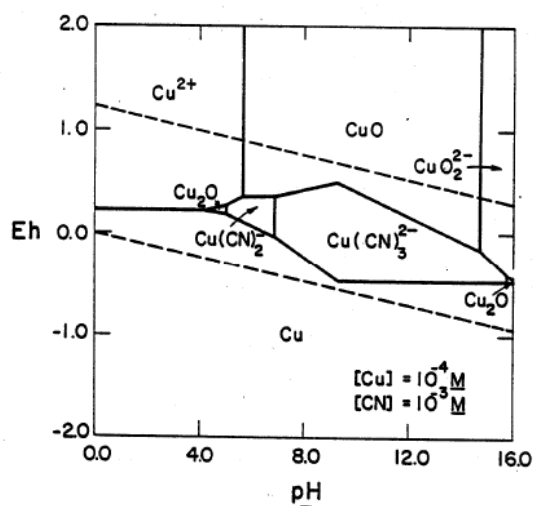




รูปที่ 1.6 Eh-pH diagram สำหรับระบบ Fe-CN-H₂O ที่อุณหภูมิ 25°C

(ที่มา : Osseo-Asare et al., 1984)

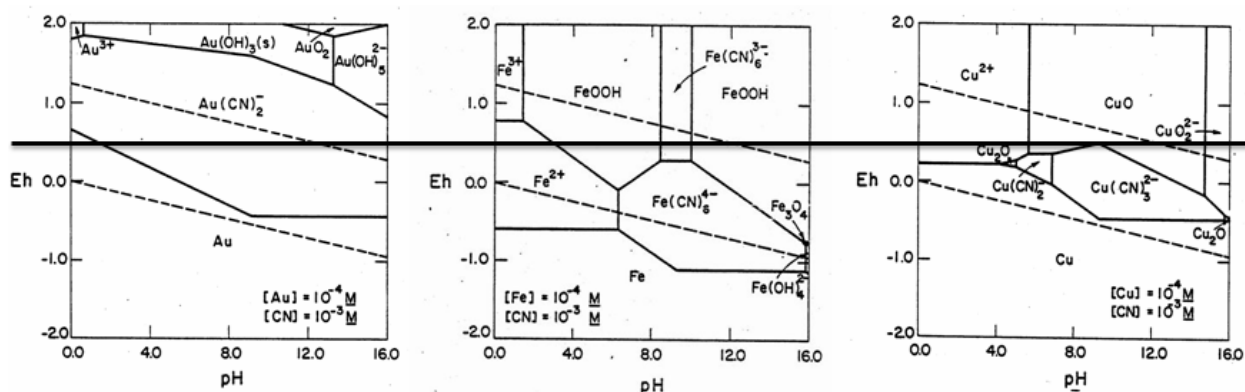
สำหรับทองแดงซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น Chalcopyrite และ Chalcocite ก็จะถูกละลายด้วยสารละลายไซยาไนด์ด้วยเช่นกันได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนทองแดง - ไซยาไนด์ ดังในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 Eh-pH diagram สำหรับระบบ Cu-CN-H₂O ที่อุณหภูมิ 25°C

(ที่มา : Osseo-Asare et al., 1984)

ดังนั้นเมื่อนำรูปที่ 1.5 - 1.7 มาเรียงในสเกลเดียวกันดังรูปที่ 1.8 ก็สามารรถเห็นได้ชัดว่าต้องละลายทองที่ค่า Eh ไคจึงจะสามารถกันไม่ให้ทองแดงและเหล็กถูกละลายด้วยสารละลายไซยาไนด์



รูปที่ 1.8 ภาพเปรียบเทียบ Eh-pH diagram ของทองคำ ทองแดงและเหล็ก

ที่สมดุลกับสารละลายไซยาไนด์

1.10 จลนศาสตร์ของการละลาย (Leaching Kinetics)

ในการใช้ Stability Diagram ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น พึงตระหนักว่า Stability Diagram เป็นกราฟสมดุลของระบบ ซึ่งเป็นไปได้ตามหลักของ Thermodynamics เท่านั้น แต่ในกระบวนการจริงแล้วจะมีเงื่อนไขของเวลา (Kinetics) มาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นเรื่องของอัตราการละลายหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขึ้นกับแฟคเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ขนาดของเม็ดแร่ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ และ Au^+ ในสารละลาย Cyanide Strength การถ่ายโอนมวล (Mass Transfer) และเหตุผลสนับสนุนทาง Thermodynamics (Driving Force) อื่น ๆ

สมการที่เกี่ยวข้องกับจลนศาสตร์ของกระบวนการหนึ่งๆอาจแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$\frac{dC}{dt} = kC^n$$

เมื่อ k = Rate constant

C = Concentration of a specified species in solution

C_0 = Initial concentration of a specified species in solution

n = Order of reaction

หมายเหตุ สมการนี้สามารถใช้เครื่องหมายบวก เนื่องจากในการละลายของค่าปริมาตรของค่าในสารละลายจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาการละลายมากขึ้น

ระดับ (Order) ของจลนศาสตร์ของกระบวนการต่างๆ อาจเป็นระดับที่ศูนย์ หนึ่ง หรือ สอง (Zero, First or Second Order) ตามค่าของ n ซึ่งแยกพิจารณาแต่ละระดับ ได้ดังนี้

1.10.1. กรณีระดับจลนศาสตร์ที่ศูนย์ (Zero Order, $n=0$)

สมการจลนศาสตร์จะเขียนเป็น

$$\frac{dC}{dt} = kC^0$$

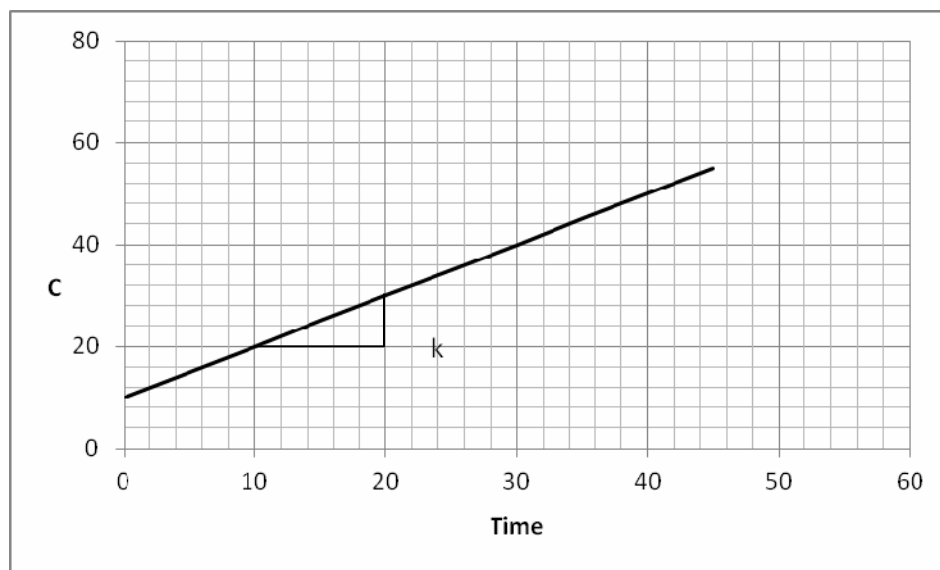
$$dC = kdt$$

$$\int_{C_0}^C dC = k \int_0^t dt$$

$$C - C_0 = k(t)$$

$$C = kt + C_0$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าเป็นสมการเส้นตรง (Linear equation) ที่มี slope เท่ากับ k และตัดแกนตั้งที่ค่า C_0 (รูปที่ 1.9)



รูปที่ 1.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่ศูนย์

1.10.2 กรณีระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่ง (First Order, $n=1$)

สมการจลนศาสตร์จะเขียนเป็น

$$\frac{dC}{dt} = kC$$

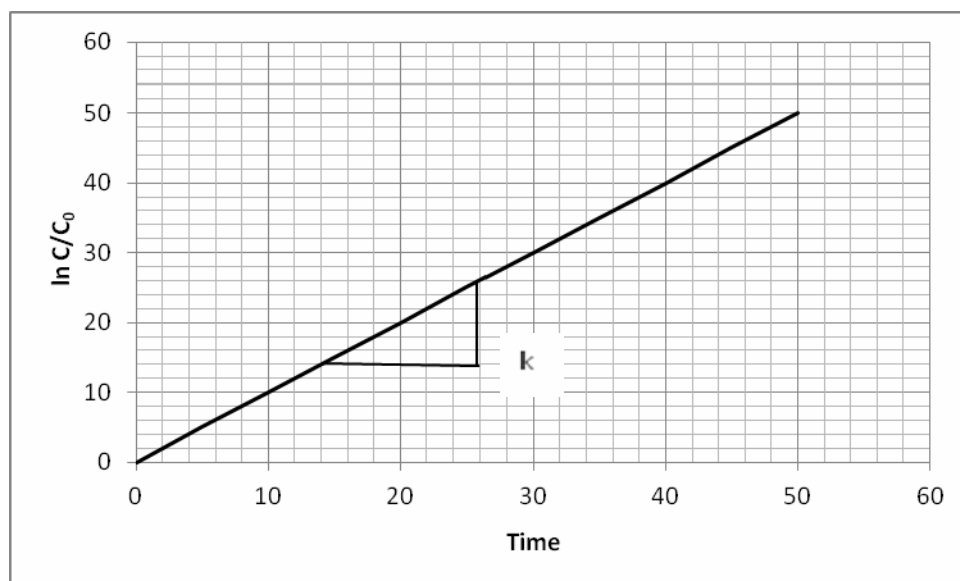
$$\frac{dC}{C} = kdt$$

$$\int_{C_0}^C \frac{1}{C} dC = k \int_0^t dt$$

$$\ln C - \ln C_0 = kt$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = kt$$

จากสมการสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในกรณีระดับที่หนึ่ง (รูปที่ 1.10)



รูปที่ 1.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่หนึ่ง

1.10.3 กรณีจลนศาสตร์รับที่สอง (Second Order, n=2)

สมการจลนศาสตร์จะเขียนเป็น

$$\frac{dC}{dt} = kC^2$$

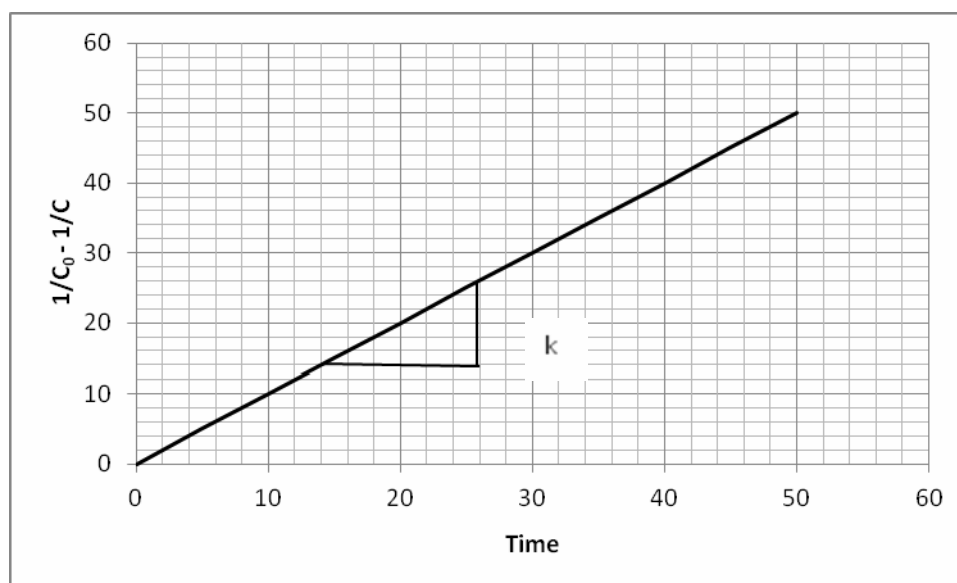
$$\int_{C_0}^C C^{-2} dC = k \int_0^t dt$$

$$\frac{C^{-2+1}}{-2+1} - \frac{C_0^{-2+1}}{-2+1} = kt$$

$$-\frac{1}{C} + \frac{1}{C_0} = kt$$

$$\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C} = kt$$

จากสมการสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่สอง (รูปที่ 1.11)



รูปที่ 1.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่อเวลาในระดับที่สอง

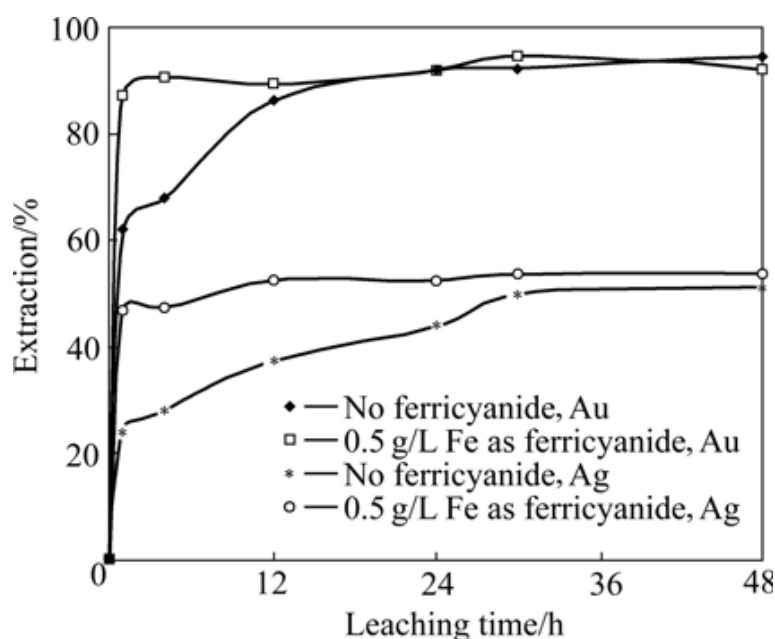
1.11 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G.Deschenes and P.J.H. Prudhomme (1997) ทำการศึกษาเรื่องกระบวนการละลายทองคำและทองแดงด้วยไซยาไนด์ โดยมีแร่ทองแดงผสมอยู่ 0.4% (ชาร์ล โคไฟไรท์) พบว่าถ้าเติม Lead Nitrate จะละลายทองได้เพิ่มขึ้นอีก 1.5% เมื่อเทียบกับการไม่เติม

G.Deschenes, S.Lacasse and M.Fulton (2003) ทำการศึกษาที่เหมือง Goldcorp Red Lake ซึ่งเป็นแร่ทองคำที่มีเกรดสูงมาก คือ ทองคำ (Au) 77.8 g/t, As 1.9% , FeS₂ 1.7% บดจาก 77% ผ่านตะแกรง 37 ไมครอนและได้ศึกษากระบวนการชะละลาย (Cyanidation) โดยหาเวลาในการละลาย พบว่าผลของจลนศาสตร์ดีขึ้นอย่างมากเมื่อใช้ตะกั่วไนเตรทในอัตรา 100-200 กรัม/ตัน ตลอดเวลาที่ทำกรทดลอง 1 เดือน (กระบวนการละลาย 6 ชั่วโมง) ซึ่งยืนยันว่าตะกั่วไนเตรทเป็นส่วนสำคัญสำหรับการชะละลายโดยสกัดทองคำได้ถึง 87.1-87.4% เมื่อใช้ไซยาไนด์ 0.7 kg/t. นอกจากนี้ยังพบว่า การชะละลายทองคำให้มีประสิทธิภาพต้องใช้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ประมาณ 400 ppm ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการควบคุมไซยาไนด์ที่ใช้ในโรงแต่งที่ 700 ppm ความ

เข้มข้นของโซเดียมไซยาไนด์ที่ปรับใหม่จะอยู่ระหว่าง 500 ppm ในถังแรก และ 300 ppm ในส่วนท้ายของการละลาย

F. Xie และ D. B. Dreisinger (2009) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้เฟอร์ริกไซยาไนด์ ในการละลายทองคำและเงิน โดยกำหนดค่า pH ที่ 11.5 และได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่าง ตัวอย่าง A คือ Au และตัวอย่าง B คือ Ag ผลจากการทดลองพบว่า การเติมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ทำให้การละลายทองคำและเงินทำได้รวดเร็วขึ้น โดยสามารถละลาย Au ได้ประมาณ 90% และ Ag ได้ประมาณ 50% ในเวลา 1 ชั่วโมง เทียบเท่ากับอัตราการละลายของกระบวนการที่ไม่เติมเฟอร์ริกไซยาไนด์ที่จะต้องใช้เวลาถึง 12 ชั่วโมงเพื่อให้ได้การสกัดเท่ากัน (รูปที่ 1.12)



รูปที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดทองคำและเงินและเวลาที่ใช้ในการละลาย (ที่มา : Xie F. and Dreisinger D. B., 2009)

S.Vukcevic (1997) ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบของ Cyanide-ammonia เป็นระบบสำหรับแร่ทองคำและทองแดง การวิจัยทางอุณหพลศาสตร์ในสารประกอบที่มีทองคำและทองแดงผสมอยู่ โดยจะพบว่าในกระบวนการละลายด้วยไซยาไนด์ ทองแดงจะละลายได้เร็วกว่าทองคำซึ่งจะทำให้

ปริมาณไซยาไนด์ลดลงและเกิดการละลายทองคำช้าลง การควบคุมปริมาณออกซิเจนในระบบจะทำให้ระบบอุณหพลศาสตร์เสถียร CuCN and CuO/Cu(OH)_2 โดยผลจากการวิจัยด้านจลนศาสตร์พบว่าองค์ประกอบต่างๆจะเสถียรภายใต้แอมโมเนียที่เหมาะสมและความเข้มข้นของออกซิเจนก็ยังเป็นส่วนสำคัญอีกด้วย

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาจลนศาสตร์ของการละลายแร่ทองคำจากสินแร่ซัลไฟด์ โดยพิจารณาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ % Solids และขนาดของสินแร่ ทั้งนี้ในการประเมินจะนำผลของการมีแร่ทองแดงและเหล็กมาพิจารณาประกอบด้วย การวิจัยจะประกอบด้วยการเตรียมตัวอย่างสินแร่ การบดละเอียดและการละลายแร่ในหม้อหมุน ตามรายละเอียดและขั้นตอนดังนี้

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องมือหลักที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุในงานวิจัย

1) Atomic Absorption Spectrometer (AAS) จะใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของทองคำทองแดงและเหล็ก ที่มีอยู่ในสินแร่ซัลไฟด์

2) X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) จะใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของทองแดงเหล็กและกำมะถันที่มีอยู่ในสินแร่ซัลไฟด์

2.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการละลายทองคำออกจากสินแร่ซัลไฟด์

- 1) pH meter เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเป็นกรด-เป็นด่าง (รูปที่ 2.1 ก)
- 2) DO (Dissolved Oxygen) meter เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (รูปที่ 2.1 ข)
- 3) บีกเกอร์ ขนาด 1000, 500 และ 100 มิลลิลิตร
- 4) เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 5) กรวยและกระดาษกรอง
- 6) ปิเปตต์ (Pipette)

7) บิวเรตต์ (Burette)

8) ขวดพลาสติกใช้เป็นหม้อหมุนสำหรับการทดลอง ขนาด 4.5 ลิตร (รูปที่ 2.2)

9) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

10) กระจกบอกตวง (Graduated cylinder)



รูปที่ 2.1 (ก) pH meter และ (ข) DO meter



รูปที่ 2.2 ขวดพลาสติก ใช้เป็นหม้อหมุนละลายแร่

2.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการละลายทองคำออกจากสินแร่ซัลไฟด์ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ความเข้มข้น	ลักษณะงานที่ใช้
Sodium cyanide (NaCN)	98%	ใช้ละลายทองคำออกจากสินแร่
Silver nitrate (AgNO ₃)	99.8%	เป็นสารเคมีที่ใช้ในการไตเตรทเพื่อหาปริมาณไซยาไนด์
Rhodanine indicator 5-(4-Dimethylamino benzylidene)	99%	เป็นตัวบ่งชี้สีในการไตเตรทเพื่อหาปริมาณไซยาไนด์
Lime [Ca(OH) ₂]	88% min.	สารที่ใช้ในการปรับค่า pH ให้มีค่า 10.5 ใช้ในกระบวนการละลาย

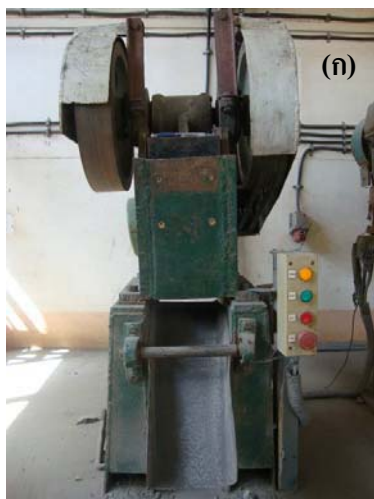
2.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างสินแร่เพื่อใช้ในการทดลอง

- 1) เก็บตัวอย่างสินแร่ซัลไฟด์จากกองแร่ซัลไฟด์ (รูปที่ 2.3)
- 2) นำตัวอย่างสินแร่ที่เก็บได้มาทำการบดหยาบโดยใช้ Jaw crusher จากนั้นนำสินแร่ที่ผ่านการบดหยาบมาแล้ว มาบดซ้ำโดยใช้เครื่อง Roller crusher เพื่อให้แร่มีขนาดเล็กลง (รูปที่ 2.4)
- 3) นำสินแร่ซัลไฟด์ที่ผ่านการบดในข้อที่ 2) มาคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร
- 4) นำสินแร่ที่ผ่านการคัดขนาดมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำการแบ่งตัวอย่างให้ได้ปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณที่ใช้ในการทดลอง (2.3.2)
- 5) นำสินแร่ที่ทำการแบ่งตัวอย่างแล้ว ใส่ถุงพลาสติก ทำการปิดปากถุงเพื่อป้องกันการออกซิเดชัน (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.3 กองแร่ซัลไฟด์



รูปที่ 2.4 (ก) Jaw Crusher และ (ข) Roller Crusher



รูปที่ 2.5 (ก) ตะแกรงมาตรฐาน และ (ข) เครื่องแบ่งตัวอย่าง Jones's Riffle



รูปที่ 2.6 การเก็บแร่ตัวอย่าง

2.3.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาเวลาในการบดละเอียดดินแร่ให้ได้ตามกำหนดในตัวแปรต่างๆ ของการศึกษการละลายแร่

เพื่อให้สามารถกำหนดเวลาการบดละเอียดในเครื่องบดแร่แบบ Rod mill สำหรับให้ได้แร่ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่กำหนด 85% (d85) จึงต้องทำการศึกษาทดลองเบื้องต้นก่อนโดยการทดลองบดแร่ตามเวลาที่สุ่มเลือกแล้วนำแร่ไปวิเคราะห์ขนาด เพื่อตรวจสอบว่าได้ขนาดตามที่ต้องการหรือไม่ แล้วปรับเพิ่มหรือลดเวลาการบดจนได้ตามขนาดที่ต้องการ

ในการบดแร่จะบดที่ 60 %Solids โดยน้ำหนัก โดยจะใช้ปริมาณแร่และน้ำสำหรับเตรียมแร่เพื่อการศึกษาการชะละลายแร่ที่ %Solids เท่ากับ 35, 40 และ 45% (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำและแร่ที่ใช้สำหรับการบดโดยเตรียมตัวอย่างที่ 60%Solids

% Solids	ปริมาณแร่ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
35	1382	921
40	1654	1103
45	1952	1301

2.3.3 วิธีการศึกษาการละลายแร่

ในกระบวนการละลายแร่ทองคำนั้นจะใช้โซเดียมไซยาไนด์ เพื่อละลายทองคำออกจากสินแร่ซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้การละลายที่ 60 ชั่วโมง ใช้โซเดียมไซยาไนด์ 500 ppm วิธีการชะละลายนั้นจะทำเหมือนกันทุกๆตัวอย่างที่กำหนด โดยใช้ปริมาณแร่และน้ำตามตารางที่ 2.2

ค่า pH, DO, ไซยาไนด์ (CN), ปูนขาว (Limes) และ โซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) ที่ใช้ในการทดลอง จากการศึกษาผลของกระบวนการละลายแร่ นั้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแข็งและขนาดของแร่ โดยจะกำหนด pH ต่ำสุดที่ 10.5 และ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ เริ่มต้นที่ 500 ppm และมีการเติมปูนขาวเพื่อทำการปรับค่า pH ให้ได้ตามที่กำหนดในภาคผนวกได้แสดงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ไว้แล้ว

ในการวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบความเข้มข้นของไซยาไนด์เพื่อทำการคำนวณปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ทุกชั่วโมงเพื่อตรวจสอบว่าปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ที่อยู่ในสารละลายในการทดลองนั้นเพียงพอสำหรับการชะละลายสินแร่หรือไม่ ตัวอย่าง เช่น สินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 38 ไมครอน มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการทดลองซึ่งจะกำหนดให้มีอัตราส่วนของสินแร่ที่เป็นของแข็งอยู่ในน้ำโคลน 35 เปอร์เซ็นต์

2.3.4 วิธีการละลายแร่ซัลไฟด์

- 1) นำแร่ที่เก็บไว้ตามขั้นตอนในหัวข้อ 2.3.1 มาบดละเอียดด้วย Rod mill โดยใช้เวลาในการบดตามที่คำนวณไว้
- 2) นำตัวอย่างสินแร่ที่บดแล้วมาเทใส่ขวด ขนาดความจุ 4.5 ลิตร ใส่น้ำลงไปให้ครบ 3 ลิตร
- 3) วัดค่า DO โดยใช้เครื่อง DO meter
- 4) ปรับค่า pH ให้ได้ 10.5 โดยการเติมปูนขาวเข้าไปเพื่อให้ค่า pH ปรับขึ้น
- 5) เมื่อได้ค่า pH ตามที่ต้องการแล้วนำไป Condition ด้วยเครื่อง Roller Machine โดยหมุนไว้ 4 ชั่วโมง
- 6) เมื่อครบเวลา 4 ชั่วโมง เติมโซเดียมไซยาไนด์ ที่ความเข้มข้น 500 ppm
- 7) วัดค่า DO และวัดค่า pH และหาค่าความเข้มข้นของไซยาไนด์ ในสารละลายโดยการไตเตรทด้วย AgNO_3 และใช้ Rhodanine เป็น Indicator
- 8) ปรับค่า pH ไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 10.5 โดยการเติมปูนขาว และเติมโซเดียมไซยาไนด์ ทุกๆ ชั่วโมง

9) เก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ตามเวลาที่กำหนด โดยนำ Slurry มากรอง จะได้เป็นของแข็งและของเหลว ส่งวิเคราะห์หา Au, Cu และ Fe โดยใช้เครื่อง AAS และ XRF

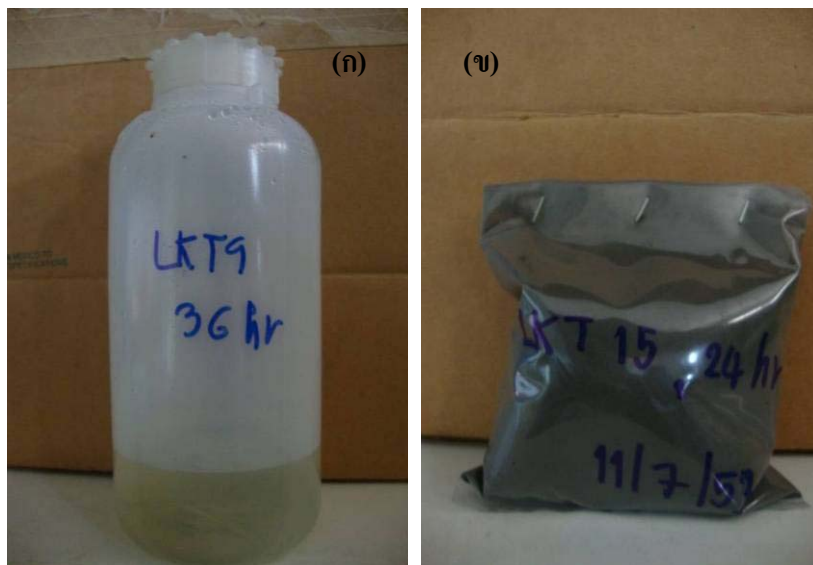
10) เวลาในการเก็บตัวอย่าง นาทีที่ 15, 30, 45 ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 8, 20, 32, 44 และ 56 โดยเริ่มนับตั้งแต่เติมโซเดียมไซยาไนด์ลงไปรวมเวลาในการทดลองทั้งหมด 60 ชั่วโมง



รูปที่ 2.7 บดละเอียดด้วย Rod Mill และ วัดค่า DO และปรับค่า pH โดยการเติมปูนขาว



รูปที่ 2.8 (ก) Conditioning และ (ข) กรองตัวอย่าง



รูปที่ 2.9 (ก) ตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์เป็นของเหลว และ (ข) ตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์เป็นของแข็ง

2.3.5 วิธีการประเมินผล

การประเมินผลจะนำผลการวิเคราะห์ปริมาณทองคำ ทองแดงและเหล็กในของแข็ง และสารละลายที่เวลาต่างๆมาประเมิน % Extraction ที่เวลาการละลายต่างๆ วิเคราะห์ผลเชิงเปรียบเทียบและประเมินจลนศาสตร์ของการละลายโลหะทั้งตาม Zero, First และ Second Order Rate Equation

บทที่ 3

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยนี้ประกอบด้วยผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเบื้องต้นของสินแร่ซัลไฟด์ และผลการศึกษาการชะละลาย โดยรายงานเป็นหัวข้อ ดังต่อไปนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์สินแร่ที่ใช้ในการศึกษา

จากการนำสินแร่ซัลไฟด์จากบริเวณหน้าเหมืองมาทำการคัดขนาดและส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) เพื่อหาปริมาณของทองคำ (Au) และ X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) เพื่อหาปริมาณของทองแดง (Cu) และเหล็ก (Fe) พบปริมาณทองคำ ทองแดง และเหล็กตามตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าเป็นสินแร่ทองคำที่มีเหล็กปนอยู่ 42.5% ซึ่งถือว่าสูงมาก

ตารางที่ 3.1 ผลจากการวิเคราะห์หาค่าทองคำ ทองแดง และ เหล็ก

ทองคำ (ppm)	ทองแดง (ppm)	เหล็ก (%)
1.19	19487	42.5

3.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเตรียมสินแร่ก่อนเข้ากระบวนการละลาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาวิธีการเตรียมเพื่อให้ได้สินแร่ที่มีขนาด 85% (d85) เล็กกว่า 38,53 และ 75 ไมครอน เพื่อใช้ในการทดลองซึ่งจะกำหนดให้มีอัตราส่วนของสินแร่ที่เป็นของแข็งอยู่ในน้ำโคลน (Slurry) ที่ 35, 40 และ 45% Solids โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าจะต้องใช้เวลาในการบด ปริมาณของสินแร่ และ ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการทดลองต่างกัน (ตารางที่ 3.2) โดยที่เงื่อนไขเหล่านี้จะใช้เป็นมาตรฐานในทุกการทดลอง

ตารางที่ 3.2 เวลาที่ใช้ในการบดสำหรับการทดลอง (นาที)

d85 (Microns) % Solids	38	53	75
35	34	27	24
40	49	36	25
45	71	49	28

3.3 การศึกษากระบวนการชะละลายแร่

ในการศึกษากระบวนการชะละลายทองคำออกจากสินแร่จะแสดงผล และประเมินผลแยกตามลำดับของอัตราส่วนของแข็งในแต่ละขนาดของสินแร่ซึ่งกำหนดไว้ที่ 38, 53 และ 75 ไมครอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การชะละลายแร่ที่ 35% Solids

3.3.1.1 สินแร่ขนาด 85% ละเอียดกว่า 38 ไมครอน

สำหรับตารางที่ 3.3 เป็นการแสดงค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ (CN) ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในการศึกษาการชะละลายสินแร่ขนาด 85% ละเอียดกว่า 38 ไมครอน โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลองมีหน่วยเป็นชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวและโซเดียมไซยาไนด์ สำหรับการเติมโซเดียมไซยาไนด์จะเริ่มเติมตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 เติมโซเดียมไซยาไนด์ประมาณ 2 กรัม

ตารางที่ 3.3 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.51		0.9				2.66	
1.00	9.87	11.57	0.8				0.98	
2.00	11.43		1.0					
3.00	11.13		0.7					
4.00	10.78		0.8		500			2
4.25	11.19		0.9		400			
4.50	11.25		1.1		260			0.98
4.75	11.31		0.9		490			
5.00	11.32		0.9		400			
6.00	11.14		1.0		260			0.81
7.00	11.04		0.9		240			0.11
8.00	10.83		1.0		160			1
12.00	10.53	11.75	0.7		70		1.29	4.04
24.00	11.43		0.9		340			0.89
36.00	10.42	11.86	0.9		90		0.53	2.47
48.00	10.14	11.68	1.1		80		0.31	1.15
60.00	10.45		0.9		70			

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาแสดงดังตารางที่ 3.4 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลาย (Solution) และของแข็ง (Solid) สำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ปริมาณทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือเพียง 0.7 ppm

ตารางที่ 3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35% Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Start	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.04	23.91	0.001	1.38	13580	37.62
30 min	30	0.07	41.85	0.001	1.47	11998	39.24
45 min	45	0.08	62.45	0.002	1.16	11582	40.05
1 hrs	60	0.10	76.28	0.002	1.06	12864	40.91
2 hrs	120	0.14	83.77	0.011	0.91	11590	36.43
3 hrs	180	0.17	92.57	0.016	1.05	11669	37.49
4 hrs	240	0.19	103.43	0.018	1.15	10907	39.43
8 hrs	480	0.28	114.00	0.023	1.29	12077	39.75
20 hrs	1200	0.46	119.21	0.037	1.22	11245	42.46
32 hrs	1920	0.42	128.00	0.076	0.91	10460	42.64
44 hrs	2640	0.39	137.62	0.073	1.23	11194	42.62
56 hrs	3360	0.45	139.04	0.16	0.7	11270	43.94

3.3.1.2 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาด 85% ละเอียดกว่า 53 ไมครอน

ตารางที่ 3.5 เป็นการแสดงค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในงานวิจัย โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลองมีหน่วยเป็น ชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.18 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมงซึ่งวัดค่า DO ได้ประมาณ 0.5 ppm ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาแสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลาย และในของแข็ง สำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือเพียง 0.3 ppm

ตารางที่ 3.5 ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.9		0.5				2.42	
1.00	10.54	11.5	0.3				0.69	
2.00	11.26		0.6					
3.00	10.89		0.5					
4.00	10.28	11.5	0.4		500		0.46	1.91
4.25	11.48		0.4		490			
4.50	11.45		0.3		210			1.13
4.75	11.45		0.2		490			
5.00	11.40		0.3		330			0.63
6.00	11.17		0.7		270			1.44
7.00	11.32		0.5		620			
8.00	11.21		0.6		490			0.55
12.00	10.50	12.23	0.5		40		0.75	2.54
24.00	10.81		0.9		550			3.10
36.00	10.24	11.71	1.3		230		0.34	1.50
48.00	10.79	11.71	0.6		150		0.42	2.61
60.00	10.18		0.5		180			

ตารางที่ 3.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของการละลายและในของแข็งหลังการละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Start	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.03	16.77	0.002	1.36	12419	38.68
30 min	30	0.05	13.22	0.004	1.17	12928	35.85
45 min	45	0.08	17.49	0.007	1.1	11940	33.68
1 hrs	60	0.06	19.98	0.006	1.10	13302	37.77
2 hrs	120	0.08	24.54	0.010	1.16	12393	38.19
3 hrs	180	0.15	33.86	0.012	1.22	11774	33.04
4 hrs	240	0.20	41.88	0.021	0.88	12411	38.91
8 hrs	480	0.22	68.92	0.024	1.04	12020	42.42
20 hrs	1200	0.47	220.65	0.015	0.74	12384	41.86
32 hrs	1920	0.51	345.82	0.021	0.47	11063	40.16
44 hrs	2640	0.46	284.04	0.123	0.91	9283	42.06
56 hrs	3360	0.46	254.34	0.151	0.3	9558	43.48

3.3.1.3 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาด 85% ละเอียดกว่า 75 ไมครอน

ในการศึกษาการชะละลายสินแร่ที่มีขนาด 85% ละเอียดกว่า 75 ไมครอน แสดงผลดังตารางที่ 3.7 ซึ่งเป็นการแสดงค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.48 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาแสดงดังตารางที่ 3.8 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลาย และในของแข็ง สำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในสารละลายทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือเพียง 0.55 ppm สำหรับทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 11456 ppm

ตารางที่ 3.7 ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 35%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.47		0.5				2.56	
1.00	9.62	11.54	0.4				0.98	
2.00	10.5		0.5					
3.00	9.73	11.5	0.3				0.84	
4.00	10.07	11.55	0.6		500		0.62	1.94
4.25	11.52		0.5		460			
4.50	11.48		0.5		310			
4.75	11.24		0.4		240			0.32
5.00	11.35		0.4		330			0.18
6.00	11.15		0.3		150			0.69
7.00	11.03		0.6		300			0.33
8.00	11.11		0.5		260			1.33
12.00	10.59	11.85	0.6		70		0.44	2.65
24.00	10.80	11.91	0.9		110		0.32	3.81
36.00	10.78	11.72	0.8		110		0.20	1.76
48.00	10.71	11.94	0.5		90		0.30	1.82
60.00	10.48		0.4		60			

ตารางที่ 3.8 วิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีในส่วนของการละลายและในของแข็ง หลังการ
ชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่
35%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Start	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.04	18.90	0.001	1.33	14548	41.48
30 min	30	0.05	19.56	0.002	1.72	13563	39.47
45 min	45	0.1	20.26	0.002	1.28	11952	39.43
1 hrs	60	0.10	21.98	0.003	1.22	12751	39.26
2 hrs	120	0.13	29.03	0.004	1.63	12436	38.29
3 hrs	180	0.12	37.73	0.007	1.29	12025	35.9
4 hrs	240	0.23	54.12	0.011	0.97	12451	40.41
8 hrs	480	0.27	63.29	0.010	0.86	12432	37.34
20 hrs	1200	0.53	97.53	0.014	1.01	12235	42.38
32 hrs	1920	0.51	150.60	0.020	0.77	11735	42.43
44 hrs	2640	0.56	115.02	0.027	0.76	11630	41.02
56 hrs	3360	0.52	157.88	0.03	0.55	11456	43.02

3.3.2 การชะละลายแร่ที่ 40%Solids

3.3.2.1 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 38 ไมครอน มากกว่า 85%

ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณ โซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในการศึกษาการชะละลายที่ขนาดเล็กกว่า 38 ไมครอน มากกว่า 85% แสดงไว้ในตารางที่ 3.9 โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.03 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติม โซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาแสดงดังตารางที่ 3.10 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะจากสารละลายและของแข็งสำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % จากตารางที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือเพียง 0.53 ppm สำหรับการชะละลายทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 11394 ppm

ตารางที่ 3.9 ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added		
	Hour	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
	0.00	11.52		0.5				3.63	
	1.00	10.01	11.62	0.2				1.15	
	2.00	11.51		0.3					
	3.00	11.3		0.4					
	4.00	11.00		0.4		500			2.10
	4.25	11.37		0.4		410			
	4.50	11.3		0.5		210			1.24
	4.75	11.43		0.5		490			
	5.00	11.46		0.4		320			
	6.00	11.35		0.5		180			0.82
	7.00	11.17		0.6		220			0.85
	8.00	11.18		0.3		340			4.69
	12.00	11.71		0.4		1030			
	24.00	10.08	12.10	0.5		10		0.83	1.33
	36.00	10.23	11.63	0.6		50		0.31	2.08
	48.00	9.77	11.77	0.4		30		0.63	1.04
	60.00	10.03		0.4		80			

ตารางที่ 3.10 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็ง หลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน อัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Times	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.04	29.47	0.001	1.57	11985	40.4
30 min	30	0.07	49.70	0.002	1.04	10954	41.78
45 min	45	0.09	72.51	0.002	1.72	11501	42.36
1 hrs	60	0.10	86.62	0.003	1.43	11489	41.92
2 hrs	120	0.14	95.32	0.012	0.80	11381	41
3 hrs	180	0.15	102.66	0.017	1.54	11402	41.71
4 hrs	240	0.20	123.43	0.021	0.95	11061	39.11
8 hrs	480	0.34	128.55	0.044	1.23	12095	41.54
20 hrs	1200	0.39	135.96	0.052	1.16	11266	40.51
32 hrs	1920	0.39	159.00	0.090	0.92	10184	41.12
44 hrs	2640	0.43	168.82	0.081	1.42	10382	41.62
56 hrs	3360	0.47	165.33	0.138	0.53	11394	42.98

3.3.2.2 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 53 ไมครอน มากกว่า 85%

สำหรับตารางที่ 3.11 เป็นการแสดงค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในการศึกษาการชะละลายสินแร่ขนาด 53 ไมครอน มากกว่า 85% โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.22 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาแสดงดังตารางที่ 3.12 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะจากสารละลายและในของแข็ง สำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลงเนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในสารละลาย ทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจากตารางที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือ 0.67 ppm ค่าทองคำในแต่ละเวลาจะค่อนข้างไม่เสถียร สำหรับทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 10765 ppm จะเห็นได้ชัดเจนว่าทองแดงละลายออกมาเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 3.11 ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.57		0.3				3.40	
1.00	9.71	11.59	0.6				0.78	
2.00	10.13	11.72	0.6				0.74	
3.00	11.57		0.5					
4.00	9.24	11.54	0.3		500		0.93	2.05
4.25	11.52		0.4		500			
4.50	11.46		0.5		350			
4.75	11.30		1.0		260			0.41
5.00	11.38		0.3		340			
6.00	11.00		0.4		150			0.67
7.00	11.13		0.3		280			0.35
8.00	11.03		0.5		250			0.33
12.00	10.78	11.80	0.5		130		0.50	2.24
24.00	10.68	11.56	0.7		150		0.27	1.32
36.00	10.36	12.05	0.5		40		0.59	3.10
48.00	10.02	11.61	0.6		50		0.26	1.50
60.00	10.22		0.3		50			

ตารางที่ 3.12 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็ง หลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Time	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.05	24.89	0.001	1.23	13700.00	42.14
30 min	30	0.09	35.83	0.003	1.05	15414.00	51.84
45 min	45	0.1	53.94	0.004	1.13	10911.00	40.63
1 hrs	60	0.14	76.39	0.007	0.90	12918.00	37.05
2 hrs	120	0.16	73.55	0.004	1.14	12384.00	38.26
3 hrs	180	0.19	85.93	0.005	0.96	11977.00	41.66
4 hrs	240	0.24	107.38	0.007	0.87	12676.00	39.92
8 hrs	480	0.32	138.64	0.013	0.77	12578.53	41.11
20 hrs	1200	0.59	180.27	0.033	0.90	12025.19	44.62
32 hrs	1920	0.59	170.21	0.049	0.45	11078.02	44.88
44 hrs	2640	0.68	237.08	0.069	0.63	10311.18	44.28
56 hrs	3360	0.7	241.52	0.085	0.67	10764.04	42.76

3.3.2.3 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน มากกว่า 85%

สำหรับการศึกษาการชะละลายของสินแร่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน มากกว่า 85% แสดงในตารางที่ 3.13 ซึ่งเป็นการแสดงค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.67 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาใส่ตารางดังตารางที่ 3.14 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลายและของแข็งสำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในสารละลายทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือ 0.43 ppm เห็นได้ชัดเจนว่าในแต่ละช่วงเวลาทองคำมีการละลายออกอย่างต่อเนื่อง สำหรับทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 10169 ppm ในขณะที่เหล็กจะมีค่าเริ่มต้นที่ 42% และวัดค่าสุดท้ายของเหล็กในของแข็งได้ 38.31%

ตารางที่ 3.13 ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.49		0.5				2.89	
1.00	10.13	11.92	0.3				1.19	
2.00	11.55		0.6					
3.00	11.21		0.5					
4.00	10.30	11.75	0.5		500		0.90	2.05
4.25	11.74		0.6		420			
4.50	11.7		0.7		340			
4.75	11.56		0.7		260			0.37
5.00	11.51		0.6		160			0.8
6.00	11.52		0.6		260			0.52
7.00	11.43		0.5		450			
8.00	11.32		0.4		280			1.49
12.00	10.97	12.02	0.3		150		0.49	2.49
24.00	10.87	11.93	0.4		200			3.10
36.00	10.69	11.66	0.5		110		0.18	1.48
48.00	10.70	11.50	0.5		90		0.15	1.55
60.00	10.67		0.6		80			

ตารางที่ 3.14 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็ง หลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 40%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Times	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.04	16.02	0.001	1.49	12861.00	41.48
30 min	30	0.06	18.72	0.002	1.00	12633.00	39.47
45 min	45	0.09	19.78	0.002	1.41	12173.00	39.43
1 hrs	60	0.05	20.61	0.002	1.11	12143.00	39.26
2 hrs	120	0.09	33.30	0.004	1.07	12804.00	36.57
3 hrs	180	0.22	44.05	0.007	1.13	12680.00	37.63
4 hrs	240	0.33	40.20	0.010	0.87	11150.00	40.48
8 hrs	480	0.45	65.86	0.011	0.95	12992.00	38.11
20 hrs	1200	0.64	142.81	0.019	0.98	12916.00	41.35
32 hrs	1920	0.64	199.64	0.028	0.70	11648.00	41.47
44 hrs	2640	0.65	204.76	0.032	0.54	11630.00	40.22
56 hrs	3360	0.64	223.21	0.047	0.43	10169	38.31

3.3.3 การชะละลายแร่ที่ 45% Solids

3.3.3.1 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 38 ไมครอน มากกว่า 85%

ตารางที่ 3.15 เป็นการแสดงค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในการศึกษาการชะละลายของสินแร่ขนาดเล็กกว่า 38 ไมครอน มากกว่า 85% โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.10 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาแสดงดังตารางที่ 3.16 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลายและของแข็งสำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในสารละลายทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือ 0.40 ppm เห็นได้ชัดเจนว่าในแต่ละช่วงเวลาทองคำมีการละลายออกมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 8996 ppm ในขณะที่เหล็กจะมีค่าเริ่มต้นที่ 42%

ตารางที่ 3.15 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45% Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added		
	Hour	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.67		0.5					3.63	
1.00	10.74		0.3						
2.00	10.33	11.54	0.6					0.62	
3.00	10.8		0.5						
4.00	10.35	11.54	0.4		500			0.71	2.15
4.25	11.48		0.2		280				
4.50	11.39		0.2		100				0.56
4.75	11.30		0.4		150				0.4
5.00	11.20		0.3		90				0.66
6.00	10.87		0.5		60				0.81
7.00	11.05		0.4		160				0.53
8.00	11.02		0.7		180				2.08
12.00	10.76	11.52	0.7		50			0.59	3.610
24.00	11.09		0.5		110				3.650
36.00	10.48	11.70	0.6		100			0.42	1.690
48.00	10.59		0.5		60				3.320
60.00	10.10		0.6		70				

ตารางที่ 3.16 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็งหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Times	0	0	0	0	1.19	19487	42.5
15 min	15	0.06	9.72	0.005	1.51	13842.88	42.11
30 min	30	0.08	10.97	0.007	1.42	12441.24	42.12
45 min	45	0.1	14.09	0.008	1.06	11775.79	42.35
1 hrs	60	0.07	16.23	0.007	1.19	11063.25	40.11
2 hrs	120	0.10	21.23	0.012	1.38	11692.54	41.45
3 hrs	180	0.14	23.97	0.017	1.35	11585.36	42.49
4 hrs	240	0.20	31.42	0.018	1.30	12361.89	41.91
8 hrs	480	0.29	37.41	0.034	1.03	12969.16	41.69
20 hrs	1200	0.56	156.02	0.018	0.58	11059.70	39.86
32 hrs	1920	0.59	165.78	0.020	0.85	12606.09	40.59
44 hrs	2640	0.53	177.86	0.117	0.49	8142.63	42.44
56 hrs	3360	0.56	145.97	0.186	0.4	8996.09	42.49

3.3.3.2 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 53 ไมครอน มากกว่า 85%

ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในการศึกษาการชะละลายของสินแร่ขนาดเล็กกว่า 53 ไมครอน มากกว่า 85% แสดงในตารางที่ 3.17 โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 10.64 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาใส่ตารางดังตารางที่ 3.18 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลายและของแข็งสำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลงเนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในสารละลายทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.18 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือ 0.62 ppm เห็นได้ชัดเจนว่าในแต่ละช่วงเวลาทองคำมีการละลายออกอย่างต่อเนื่อง สำหรับทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 10808 ppm เมื่อดูตารางของทองแดงในสารละลายจะเห็นได้ชัดว่าทองแดงละลายออกมาจำนวนมาก

ตารางที่ 3.17 ค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.56		0.4				3.60	
1.00	10.39	11.91	0.6				1.20	
2.00	10.44	11.96	0.5				0.84	
3.00	10.84		0.5					
4.00	9.86	11.61	0.4		500		0.64	2.12
4.25	11.57		0.5		480			
4.50	11.54		0.3		370			
4.75	11.54		0.8		240			0.59
5.00	11.52		0.4		390			
6.00	11.30		0.4		260			0.85
7.00	11.33		0.4		300			0.49
8.00	11.32		0.7		300			1.50
12.00	10.84	11.84	0.8		130		0.18	2.73
24.00	11.02	11.63	0.8		230		0.24	1.38
36.00	10.33	11.96	0.6		50		0.36	3.45
48.00	10.23	11.57	0.5		100		0.24	1.54
60.00	10.64		0.4		60			

ตารางที่ 3.18 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็ง หลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Times	0	0	0	0	1.19	19487.00	42.5
15 min	15	0.07	29.66	0.002	1.42	12295.00	42.27
30 min	30	0.09	51.42	0.004	1.41	11995.00	43.04
45 min	45	0.13	56.85	0.005	1.47	12659.00	41.32
1 hrs	60	0.13	71.97	0.006	1.44	11669.00	41.92
2 hrs	120	0.18	79.74	0.005	1.42	11473.00	41.72
3 hrs	180	0.21	90.82	0.008	1.05	12951.00	41.76
4 hrs	240	0.24	109.23	0.011	0.85	11805.00	41.51
8 hrs	480	0.43	154.65	0.020	1.32	12127.27	41.66
20 hrs	1200	0.61	184.41	0.040	0.83	12208.00	43.41
32 hrs	1920	0.62	172.92	0.066	0.65	11111.38	44.04
44 hrs	2640	0.62	229.67	0.091	0.62	10554.18	44.83
56 hrs	3360	0.69	246.55	0.11	0.62	10808.00	42.56

3.3.3.3 การชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน มากกว่า 85%

สำหรับตารางที่ 3.19 เป็นการแสดงค่า pH, DO ความเข้มข้นไซยาไนด์ ปริมาณปูนขาว และปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ที่ใช้ในการชะละลายสินแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน มากกว่า 85%

โดยคอลัมน์แรกจะแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะแสดงค่า pH ซึ่งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 11.5 และหลังจากการชะละลายแล้วค่า pH สุดท้ายวัดค่าได้ 11.02 คอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า DO ที่วัดได้ ในแต่ละชั่วโมง ส่วนคอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ที่คำนวณได้จากการวิจัย สำหรับคอลัมน์สุดท้ายจะเป็นค่าการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่า pH และเติมโซเดียมไซยาไนด์เพื่อการชะละลาย

เมื่อวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาใส่ตารางดังตารางที่ 3.20 ซึ่งจะเป็นค่าการวิเคราะห์โลหะในสารละลายและของแข็งสำหรับทองคำและทองแดงจะมีหน่วยเป็น ppm แต่เหล็กนั้นจะมีหน่วยเป็น % ซึ่งทองคำในของแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากทองคำละลายออกมาอยู่ในสารละลายทำให้ทองคำในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าทองคำในของแข็งเริ่มต้นที่ 1.19 ppm หลังจากทำการชะละลายแล้วทองคำในของแข็งเหลือ 0.51 ppm เห็นได้ชัดเจนว่าในแต่ละช่วงเวลาทองคำมีการละลายออกมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับทองแดงในของแข็งนั้นจะมีค่าเริ่มต้นที่ 19487 ppm และมีทองแดงเหลืออยู่ในของแข็ง 11455 ppm เมื่อดูตารางของทองแดงในสารละลายจะเห็นได้ชัดว่าทองแดงละลายออกมาจำนวนมาก

ตารางที่ 3.19 ค่า pH, DO, ความเข้มข้นไซยาไนด์, ปริมาณปูนขาว และ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ ของการละลาย (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45% Solids)

Times	pH		DO, ppm		CN, ppm		Reagents Added	
	start	end	start	end	start	end	Lime (g)	NaCN (g)
0.00	11.65		0.4				3.55	
1.00	9.76	11.61	0.3				0.76	
2.00	10.11	11.66	0.3				0.73	
3.00	11.06		0.5					
4.00	10.68	11.52	0.3		500		0.13	2.15
4.25	11.43		0.4		490			
4.50	11.38		0.6		330			0.79
4.75	11.29		0.8		500			
5.00	11.14		0.5		320			0.64
6.00	11.20		0.6		460			
7.00	10.59		0.8		180			0.96
8.00	10.97		0.7		390			0.57
12.00	9.76	12.06	0.4		30		0.77	4.70
24.00	10.96	11.63	0.5		180		0.15	4.01
36.00	10.61	11.49	0.3		80		0.13	4.13
48.00	9.93	11.65	0.6		70		0.31	2.03
60.00	11.02		0.4		10			

ตารางที่ 3.20 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของสารละลายและในของแข็ง หลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ (สินแร่ที่มีขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน มีอัตราส่วนของสินแร่ 45%Solids)

Sample		Solution			Solid		
		Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)
Times	0	0	0	0	1.19	19487.00	42.5
15 min	15	0.04	15.91	0.002	1.62	16597.00	40.8
30 min	30	0.06	20.27	0.003	1.36	15095.00	36.12
45 min	45	0.08	25.53	0.004	1.27	14989.00	36.66
1 hrs	60	0.16	26.16	0.006	1.25	15118.16	36.69
2 hrs	120	0.25	34.71	0.008	1.08	14870.00	36.39
3 hrs	180	0.30	46.16	0.009	0.86	14794.00	33.33
4 hrs	240	0.36	61.07	0.009	1.03	13234.00	29.36
8 hrs	480	0.40	59.97	0.009	0.95	13089.52	32.44
20 hrs	1200	0.80	183.03	0.056	0.82	12326.00	35.43
32 hrs	1920	0.90	180.30	0.046	0.53	10830.00	37.84
44 hrs	2640	0.86	188.90	0.052	0.50	11428.00	40.4
56 hrs	3360	0.83	207.26	0.068	0.51	11454.90	41.1

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการศึกษา

บทนี้เป็นการนำข้อมูลบทที่ 3 มาสังเคราะห์และวิเคราะห์ใหม่ เช่นการนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหา %Extraction และการประเมินจลนศาสตร์ของการชะละลายแร่ เป็นต้น

4.1 %Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็ก

ในการคำนวณหา %Extraction ของโลหะ หลังการชะละลายที่เวลาหนึ่งๆ ประเมินโดยใช้ปริมาณทองคำละลายออกมาในสารละลายเทียบกับปริมาณทองคำที่ใส่เข้าไปในระบบ ดังสมการ

$$\%Extraction = \frac{100 Li}{Ff}$$

L = น้ำหนักสารละลายในหม้อหมุน

l = ปริมาณทองคำ (หน่วยเป็น ppm) ในสารละลาย

F = น้ำหนักของสารละลายและสินแร่ ในหม้อหมุน

f = ปริมาณทองคำ (หน่วยเป็น ppm) ทั้งหมดในหม้อหมุน

$$= \frac{Ss}{S+L}$$

S = น้ำหนักของสินแร่ในหม้อหมุน

s = ปริมาณทองคำ (หน่วยเป็น ppm) ในสินแร่เริ่มต้น

ผลการประเมิน %Extraction สำหรับการชะละลายที่ % Solids ต่างๆและขนาดสินแร่ต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

ตารางที่ 4.1 % Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็กสำหรับการชะละลายที่ 35 % Solids

Leaching time (minutes)	% Extraction								
	85% passing 38 μ m			85% passing 53 μ m			85% passing 75 μ m		
3360	Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	6.22	0.23	0.004	4.43	0.15	0.008	6.09	0.18	0.004
30	10.88	0.40	0.009	7.38	0.12	0.017	7.61	0.18	0.004
45	12.44	0.59	0.009	11.81	0.16	0.029	15.22	0.19	0.009
60	15.55	0.72	0.013	8.86	0.18	0.025	15.22	0.20	0.009
120	21.77	0.80	0.017	11.81	0.22	0.041	19.79	0.27	0.048
180	26.43	0.88	0.030	22.15	0.31	0.050	18.26	0.35	0.070
240	29.54	0.98	0.047	29.53	0.38	0.087	35.01	0.50	0.078
480	43.53	1.08	0.043	32.48	0.62	0.099	41.09	0.59	0.100
1200	71.52	1.13	0.060	69.39	1.99	0.062	80.66	0.91	0.161
1920	65.30	1.22	0.085	75.30	3.12	0.087	77.62	1.40	0.331
2640	60.64	1.31	0.115	67.92	2.56	0.508	85.23	1.07	0.318

ตารางที่ 4.2 % Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็กสำหรับการชะละลายที่ 40 % Solids

Leaching time (minutes)	% Extraction								
	85%passing 38 μ m			85%passing 53 μ m			85%passing 75 μ m		
	Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	5.19	0.23	0.004	6.23	0.19	0.003	4.96	0.12	0.003
30	9.09	0.39	0.007	11.21	0.27	0.010	7.44	0.14	0.007
45	11.69	0.58	0.006	12.46	0.41	0.014	11.16	0.15	0.007
60	12.99	0.69	0.011	17.44	0.58	0.024	6.20	0.16	0.007
120	18.18	0.76	0.044	19.94	0.56	0.014	11.16	0.25	0.014
180	19.48	0.81	0.062	23.67	0.65	0.017	27.29	0.33	0.024
240	25.97	0.98	0.076	29.91	0.82	0.024	40.93	0.30	0.035
480	44.15	1.02	0.160	39.87	1.05	0.045	55.81	0.50	0.038
1200	50.65	1.08	0.189	73.52	1.37	0.115	79.38	1.08	0.066
1920	50.65	1.26	0.327	73.52	1.30	0.171	79.38	1.51	0.097
2640	55.84	1.34	0.295	84.73	1.80	0.241	80.62	1.55	0.111
3360	61.03	1.31	0.502	87.22	1.84	0.297	79.38	1.69	0.163

ตารางที่ 4.3 % Extraction ของทองคำ ทองแดงและเหล็กสำหรับการชะละลายที่ 45 % Solids

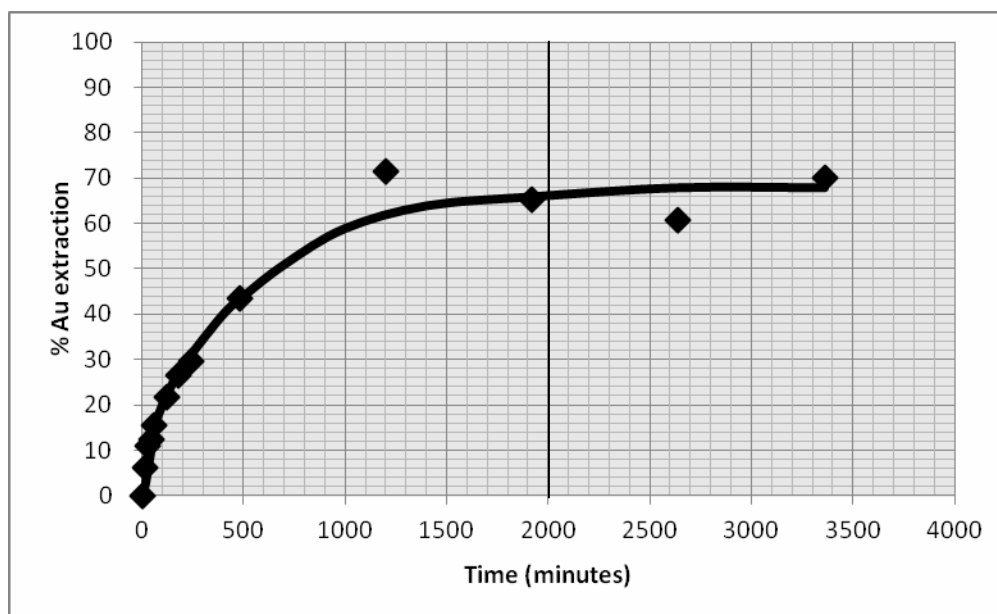
Leaching time (minutes)	% Extraction								
	85%passing 38 μ m			85%passing 53 μ m			85%passing 75 μ m		
	Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	6.04	0.06	0.006	6.92	0.18	0.006	4.04	0.10	0.014
30	8.05	0.07	0.008	8.89	0.31	0.011	6.05	0.12	0.020
45	10.07	0.09	0.011	12.85	0.34	0.014	8.07	0.16	0.023
60	7.05	0.10	0.017	12.85	0.43	0.017	16.14	0.16	0.020
120	10.07	0.13	0.023	17.79	0.48	0.014	25.23	0.21	0.034
180	14.09	0.15	0.025	20.75	0.55	0.022	30.27	0.28	0.048
240	20.13	0.19	0.025	23.72	0.66	0.030	36.32	0.38	0.051
480	29.20	0.23	0.025	42.49	0.93	0.055	40.36	0.37	0.096
1200	56.38	0.96	0.158	60.28	1.11	0.111	80.72	1.13	0.051
1920	59.40	1.02	0.130	61.26	1.04	0.183	90.81	1.11	0.056
2640	53.36	1.09	0.147	61.26	1.39	0.252	86.78	1.16	0.330
3360	56.38	0.90	0.192	68.18	1.49	0.304	83.75	1.28	0.524

4.2 การประเมินผลการชะละลายแร่ทองคำ

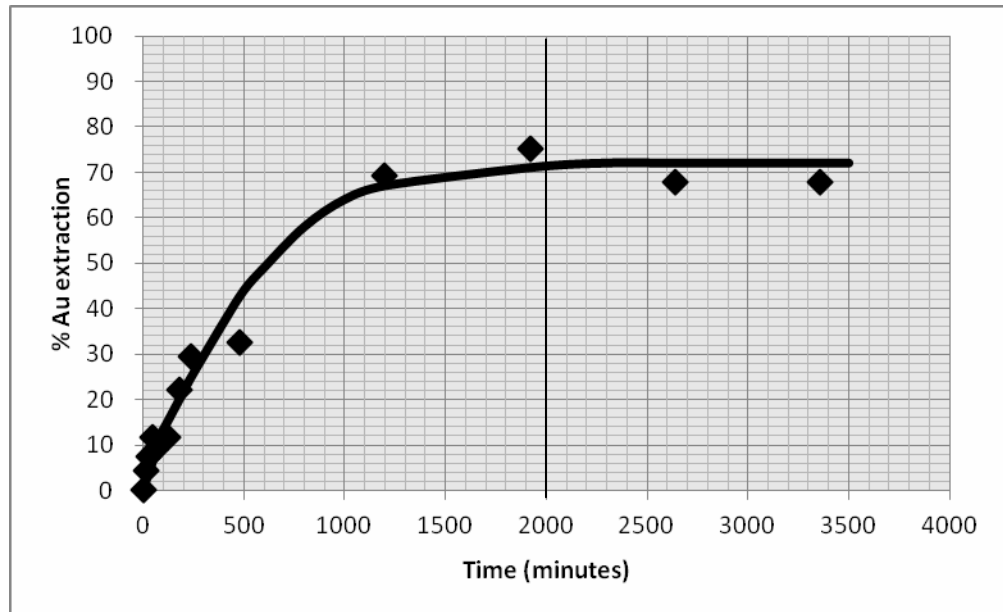
4.2.1 การชะละลายแร่ทองคำที่ 35%Solids

ในการชะละลายแร่ทองคำ ขนาด 85% เล็กกว่า 38 μm ทองคำสามารถละลายได้ดีอย่างเห็นได้ชัด โดยที่เวลา 1500 นาที (รูปที่ 4.1) ละลายได้ 65% และเวลา 2000 นาที ละลายได้ 68% โดยที่เมื่อเวลาการชะละลายนานกว่า 2000 นาที การชะละลายไม่ได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ขนาด 53 μm (รูปที่ 4.2) ในช่วงต้นของการชะละลายค่อนข้างละลายได้รวดเร็ว โดยที่เวลา 2000 นาที สามารถละลายได้สูงถึง 72% แต่สำหรับขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (รูปที่ 4.3) ละลายได้รวดเร็วกว่า โดยที่เวลา 1000 นาทีสามารถละลายแร่ได้ถึง 70% และที่เวลา 2000 นาทีสามารถละลายแร่ได้สูงสุดถึง 81%

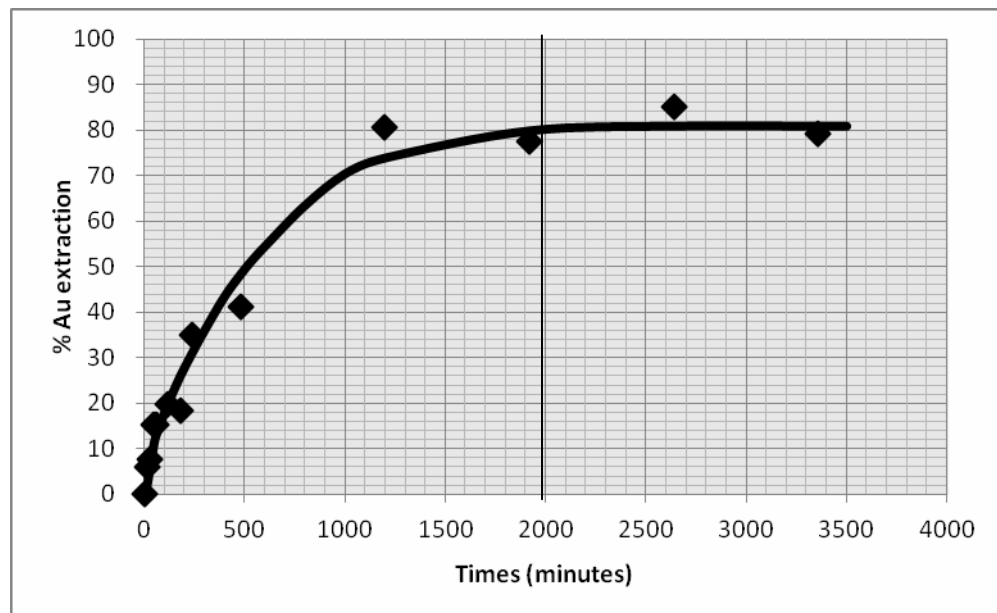
ในการชะละลายทองคำนั้นเป็นที่น่าสังเกตว่าสินแร่ที่หยาบ (75 μm) สามารถละลายแร่ได้ดีกว่าสินแร่ที่ละเอียด



รูปที่ 4.1 การชะละลายของทองคำที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน



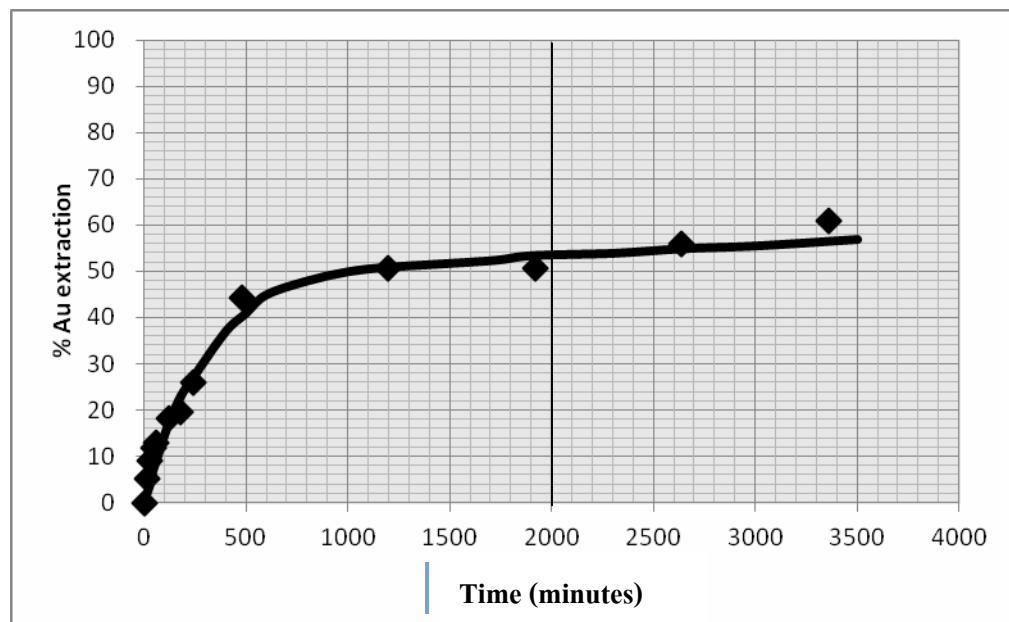
รูปที่ 4.2 การชะละลายของทองคำ ที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน



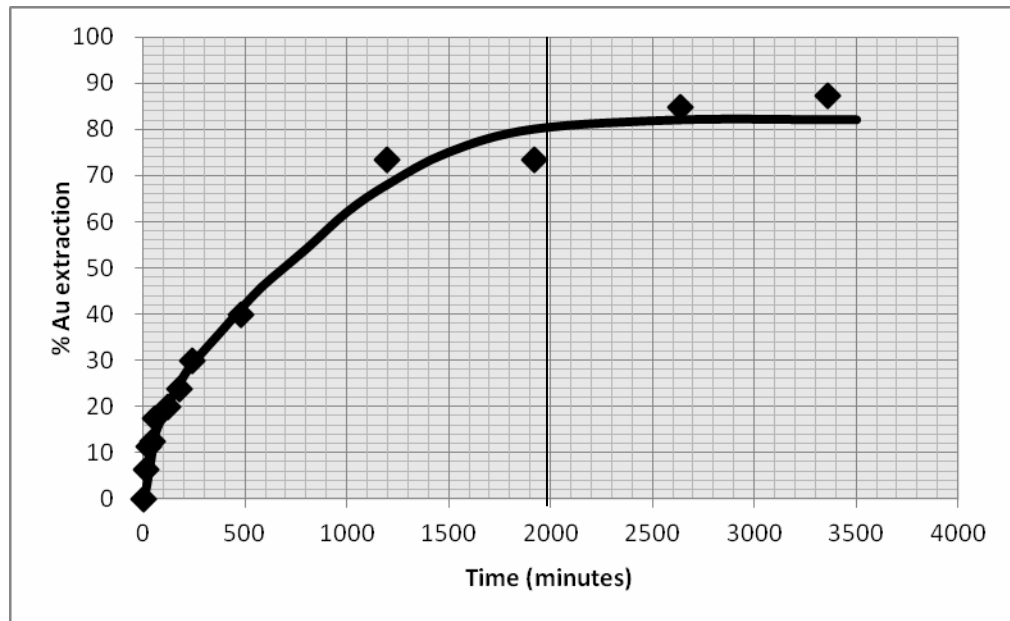
รูปที่ 4.3 การชะละลายของทองคำ ที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน

4.2.2 การชะละลายแร่ทองคำที่ 40%Solids

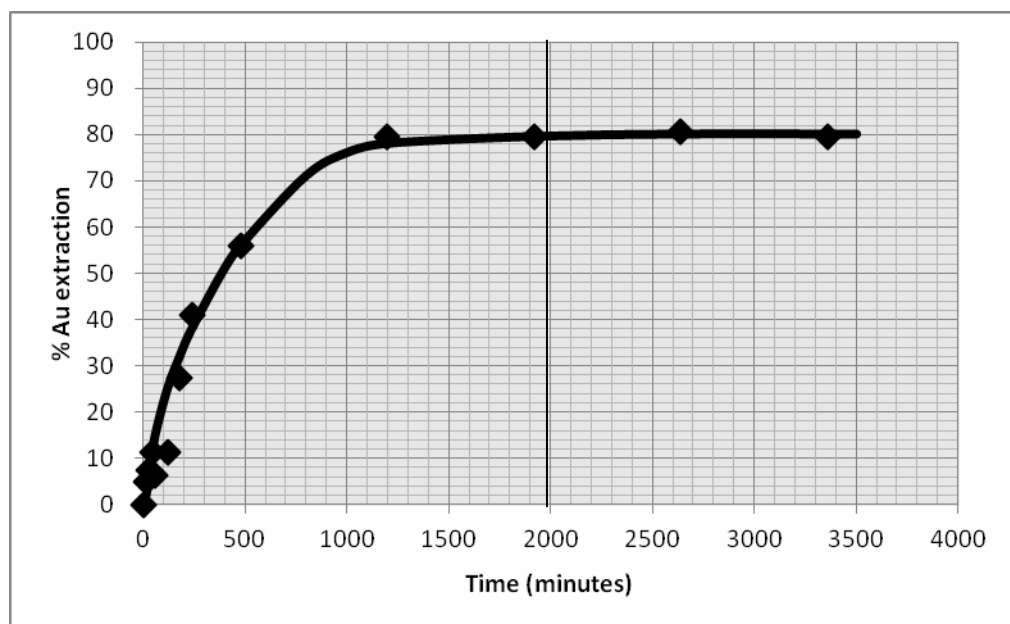
การชะละลายแร่ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน (รูปที่ 4.4) ในช่วงต้นจะละลายแร่อย่างรวดเร็วจนถึงที่เวลา 1000 นาที ละลายทองคำได้ 50% และสำหรับเวลา 2000 นาที สามารถละลายแร่ทองคำได้ 55% ซึ่งหลังจาก 2000 นั้นการชะละลายจะไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับขนาด 53 ไมครอน (รูปที่ 4.5) ในช่วงต้นของการชะละลายแร่ทองคำค่อนข้างละลายได้รวดเร็วและอ่านค่าได้ชัดเจนที่เวลา 1500 นาที สามารถละลายทองคำได้ 76% และที่เวลา 2000 นาทีสามารถละลายได้สูงถึง 80% ในขณะที่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (รูปที่ 4.6) ในช่วงต้นของการชะละลายทองจะละลายได้รวดเร็วโดยที่เวลา 1000 นาทีสามารถละลายแร่ได้ถึง 76% และที่เวลา 2000 นาทีสามารถละลายแร่ทองคำได้สูงสุดถึง 80% ซึ่งหลังจาก 2000 นาทีการชะละลายแร่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.4 การชะละลายของทองคำ ที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน



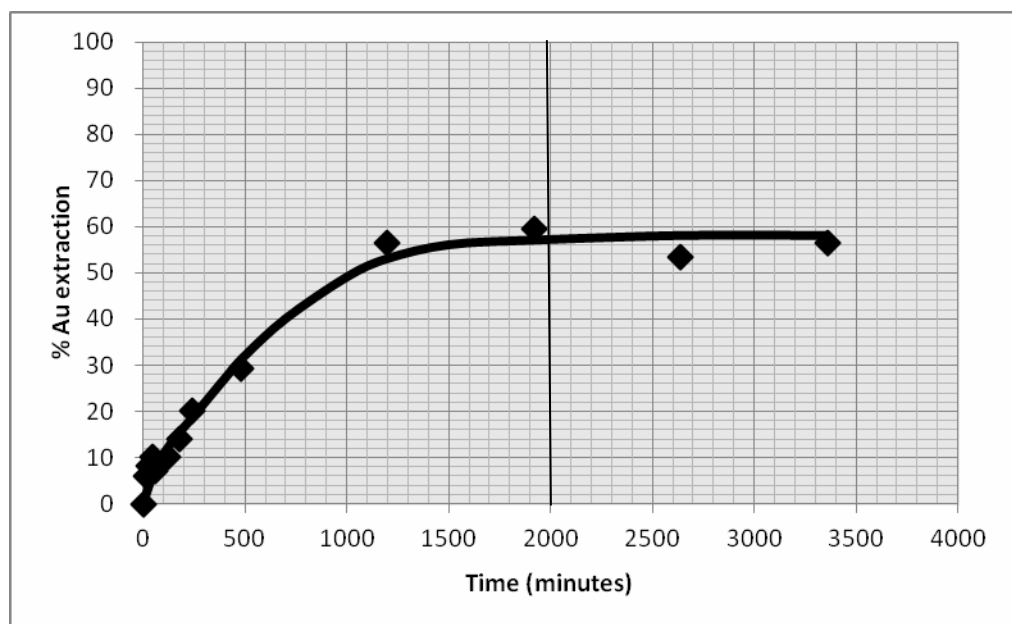
รูปที่ 4.5 การชะละลายของทองคำ ที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน



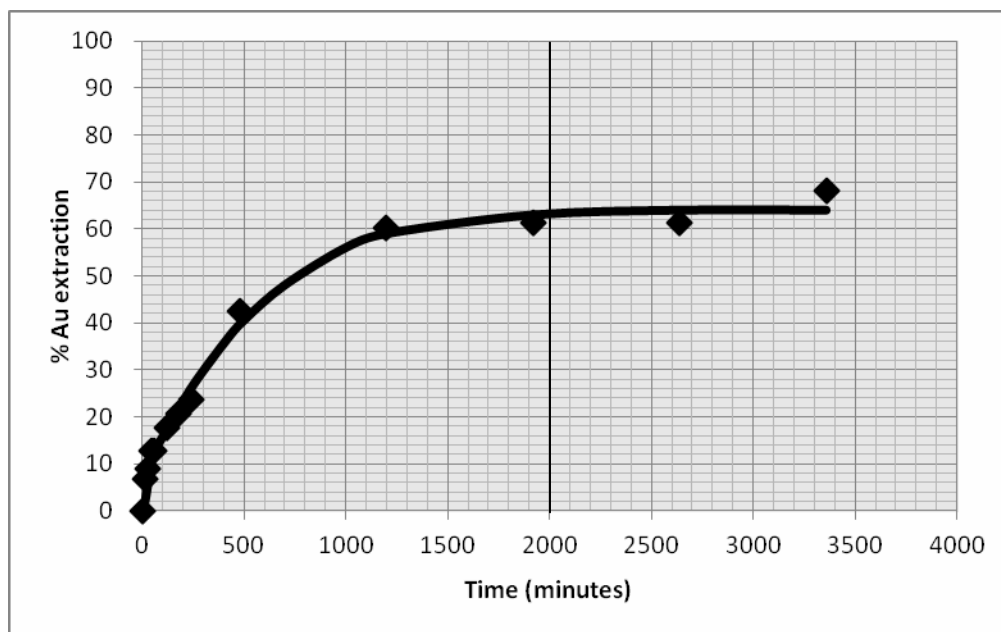
รูปที่ 4.6 การชะละลายของทองคำ ที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน

4.2.3 การชะละลายแร่ทองคำที่ 45%Solids

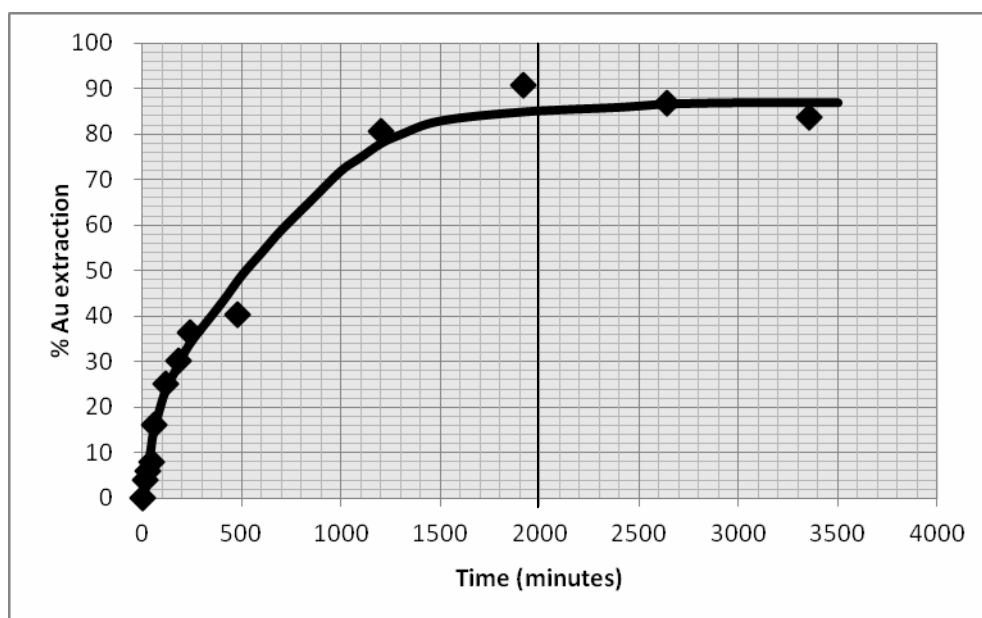
การชะละลายแร่ที่ ขนาด 85% เล็กกว่า 38 μm (รูปที่ 4.7) ในช่วงต้นของการชะละลายจะเห็นได้ชัดว่าแร่ละลายได้อย่างรวดเร็วที่เวลา 1000 นาที ทองคำละลายได้คืออย่างเห็นได้ชัด ซึ่งละลายได้ 50% และที่เวลา 1500 นาทีสามารถละลายได้ 58% เมื่อถึงเวลา 2000 นาที การชะละลายไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ขนาด 53 μm (รูปที่ 4.8) ในช่วงต้นของการชะละลายค่อนข้างละลายได้รวดเร็วและละลายอย่างเห็นได้ชัดที่เวลา 1000 นาที ละลายออกมาได้ 57% และที่เวลา 2000 นาทีสามารถละลายได้ 62% ในขณะที่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (รูปที่ 4.9) ในตอนต้นของการชะละลายสามารถละลายแร่ได้รวดเร็วโดยที่เวลา 1300 นาทีสามารถละลายแร่ได้ถึง 80% ส่วนที่เวลา 2000 นาที ทองคำสามารถละลายออกมาสูงถึง 87% ซึ่งเป็นการละลายที่สูงกว่าขนาดอื่นๆ เป็นที่น่าสังเกตว่าขนาดที่หยาบ (75 ไมครอน) จะละลายทองคำได้ดีกว่า



รูปที่ 4.7 การชะละลายของทองคำ ที่ 45%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน



รูปที่ 4.8 การชะละลายของทองคำ ที่ อัตราส่วนของแข็ง 45% ขนาด 85% เล็กกว่า 53 ไมครอน



รูปที่ 4.9 การชะละลายของทองคำ ที่ อัตราส่วนของแข็ง 45% ขนาด 85% เล็กกว่า 75 ไมครอน

4.3 การประเมินการชะละลายทองแดงและเหล็ก

ในการชะละลายแร่ทองคำนั้นมีทองแดงและเหล็กบางส่วนที่ถูกชะละลายออกมาด้วย โดยทองแดงจะละลายออกมาไม่เกิน 2.6% (ในการชะละลายของทองแดง ที่ขนาดเล็กกว่า 53 μm) ส่วนเหล็กละลายออกมาในสัดส่วนที่น้อยมากแต่เนื่องจากมีปริมาณเหล็กในสินแร่มากถึง 42% ดังนั้นถึงแม้ว่า การชะละลายของเหล็กจะน้อยแต่ปริมาณเหล็กในสารละลายจะมีค่าสูงมาก

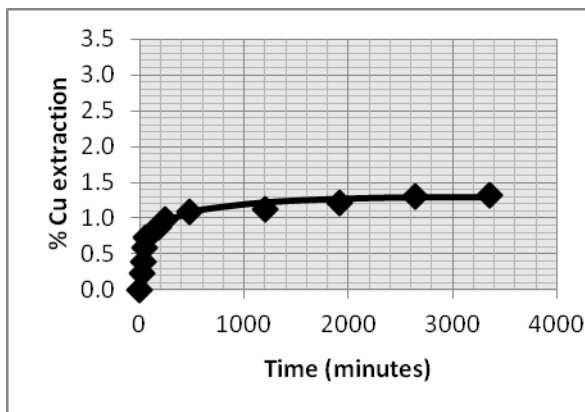
4.3.1 การชะละลายทองแดงและเหล็กที่ 35%Solids

เมื่อนำผลจากตารางมาเขียนเป็นกราฟ %Extraction ของทองแดง สำหรับขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 38 53 และ 75 μm ได้ตามรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.15

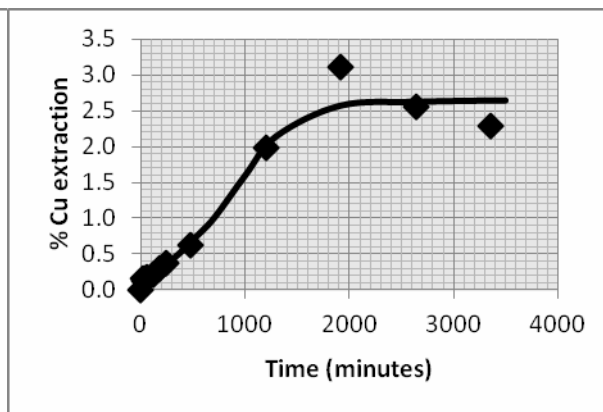
การชะละลายแร่ที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงออกมาได้ 1.2% ในขณะที่ขนาด 53 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงได้ถึง 2.6% ซึ่งสูงกว่าขนาดอื่นๆ สำหรับขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงออกมาได้ 1.3% โดยจะเห็นได้ว่าอัตราการชะละลายของทองแดงจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆขนาด

เมื่อนำผลจากตารางมาเขียนเป็นกราฟ %Extraction ของเหล็ก สำหรับขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 38 53 และ 75 ไมครอน ได้ตามรูปที่ 4.10 ถึง รูปที่ 4.12

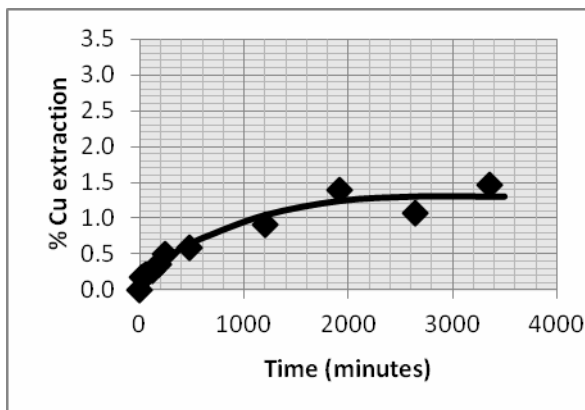
การชะละลายแร่เหล็กที่ 35%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายแร่เหล็กได้ 0.36% ในขณะที่ขนาด 53 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายแร่ได้ 0.30% ในขณะที่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้ 0.08%



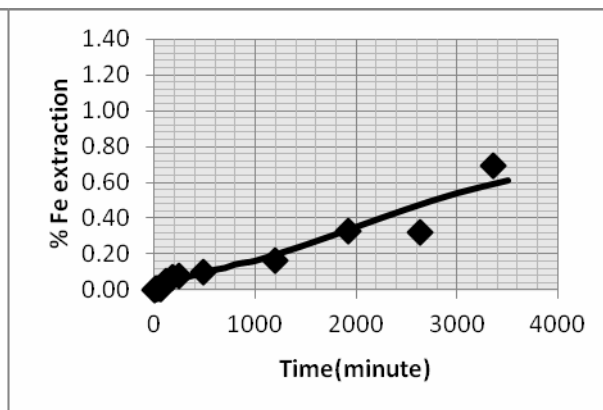
รูปที่ 4.10 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด
38 ไมครอน 35%Solids



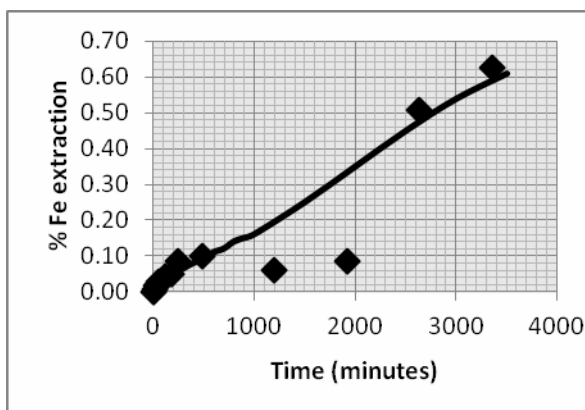
รูปที่ 4.11 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด
53 ไมครอน 35%Solids



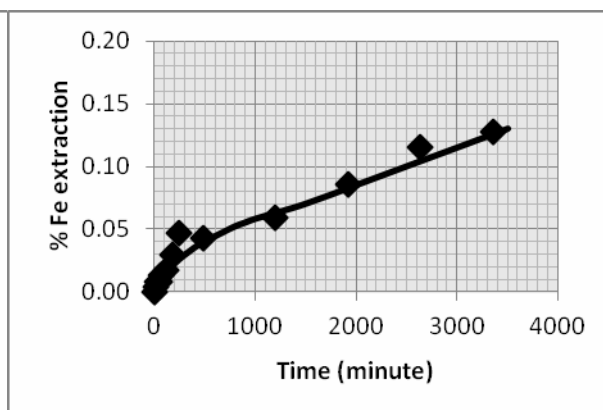
รูปที่ 4.12 การชะละลายของทองแดงที่ขนาด
75 ไมครอน 35%Solids



รูปที่ 4.13 การชะละลายของเหล็กที่ขนาด
38 ไมครอน 35%Solids



รูปที่ 4.14 การละลายของเหล็กที่ขนาด
53 ไมครอน 35%Solids

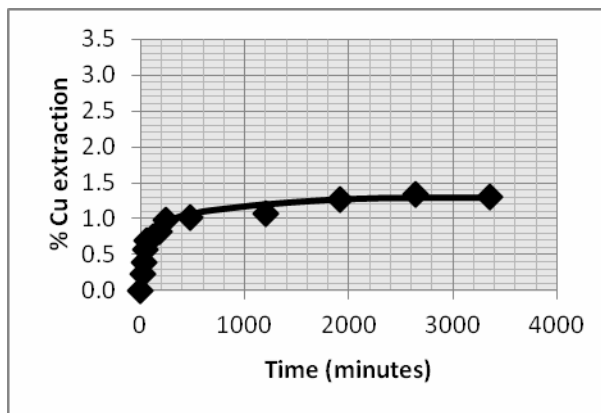


รูปที่ 4.15 การละลายของเหล็กที่ขนาด
75 ไมครอน 35%Solids

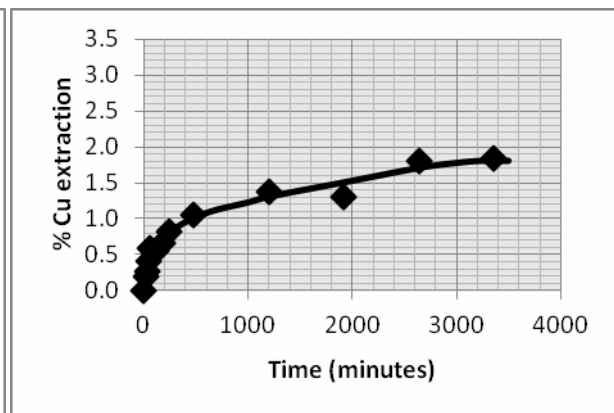
4.3.2 การชะละลายทองแดงและเหล็กที่ 40%Solids

การชะละลายแร่ทองแดงที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน (รูปที่ 4.16) ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงได้ 1.3% ในขณะที่ขนาด 53 ไมครอน (รูปที่ 4.17) ที่เวลา 2000 นาที ละลายแร่ได้ 1.7% และ ในขณะที่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (รูปที่ 4.18) ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงได้ 1.6% จะเห็นได้ว่าการชะละลายของทองแดงมีค่าใกล้เคียงกันมาก

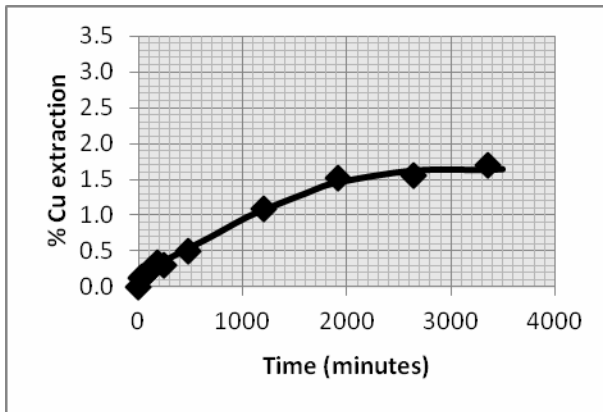
การชะละลายแร่เหล็กที่ 40%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน (รูปที่ 4.19) ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้ 0.32% ในขณะที่ 53 ไมครอน (รูปที่ 4.20) ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้ 0.18% ในขณะที่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (รูปที่ 4.21) ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้เพียง 0.10% จะเห็นได้ว่าการชะละลายของเหล็กที่ 38 ไมครอน จะมีการชะละลาย 0.5% ซึ่งสูงกว่าขนาดอื่นๆ



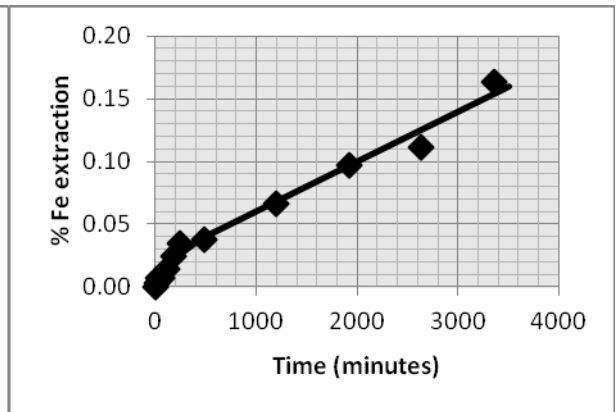
รูปที่ 4.16 การละลายของทองแดง ที่ขนาด
38 ไมครอน 40%Solids



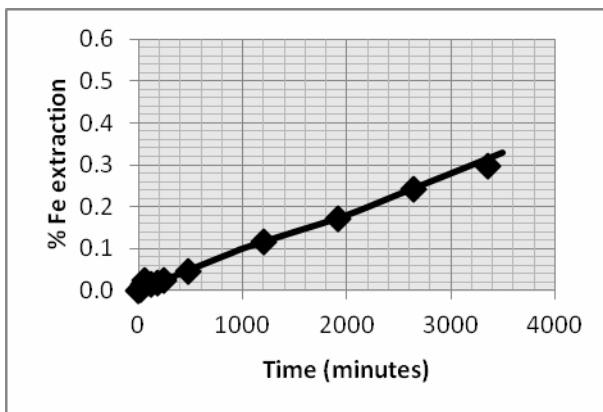
รูปที่ 4.17 การละลายของทองแดง ที่ขนาด
53 ไมครอน 40%Solids



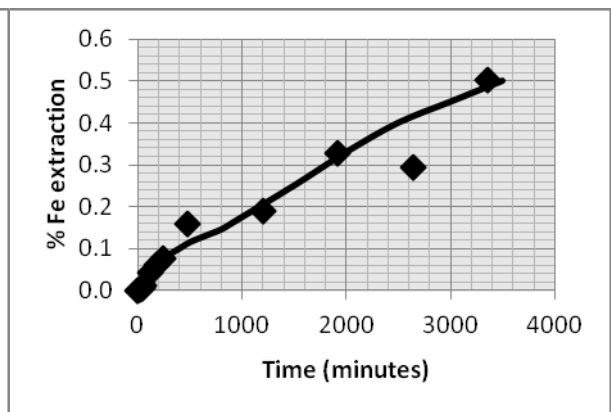
รูปที่ 4.18 การละลายของทองแดง ที่ขนาด
75 ไมครอน 40%Solids



รูปที่ 4.19 การละลายของเหล็ก ที่ขนาด
38 ไมครอน 40%Solids



รูปที่ 4.20 การละลายของเหล็ก ที่ขนาด
53 ไมครอน 40%Solids



รูปที่ 4.21 การละลายของเหล็ก ที่ขนาด
75 ไมครอน 40%Solids

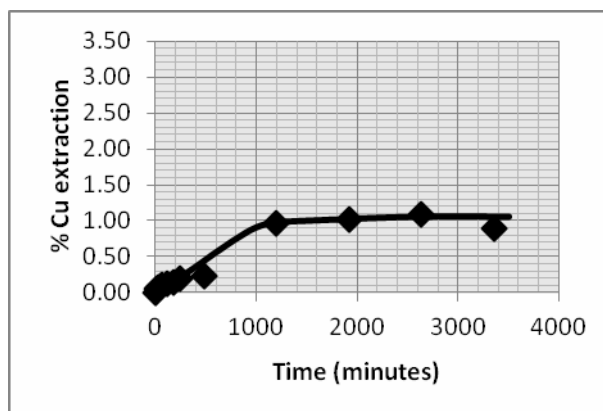
4.3.3 การชะละลายทองแดงและเหล็กที่ 45%Solids

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.3 มาเขียนเป็นกราฟ %Extraction ของทองแดง สำหรับขนาด
สินแร่ 85% เล็กกว่า 38 53 และ 75 ไมครอน ได้ตามรูปที่ 4.22 ถึง รูปที่ 4.24

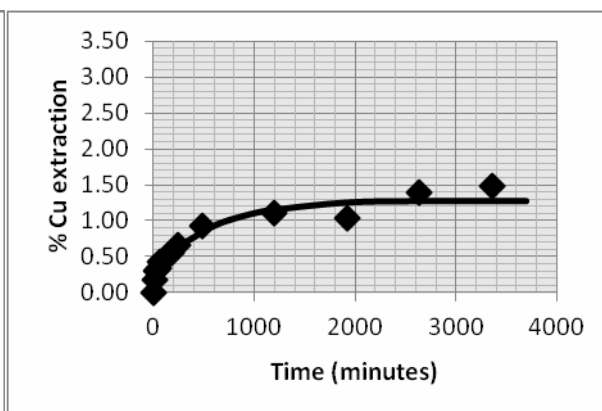
การชะละลายทองแดงที่ 45%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละ
ลายทองแดงได้ 1.0 % ในขณะที่ 53 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงได้ 1.3% ในขณะที่
ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายทองแดงได้ 1.2 %

เมื่อนำผลจากตารางมาเขียนเป็นกราฟ %Extraction ของเหล็ก สำหรับขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 38 53 และ 75 ไมครอน ได้ตามรูปที่ 4.25 ถึง รูปที่ 4.27

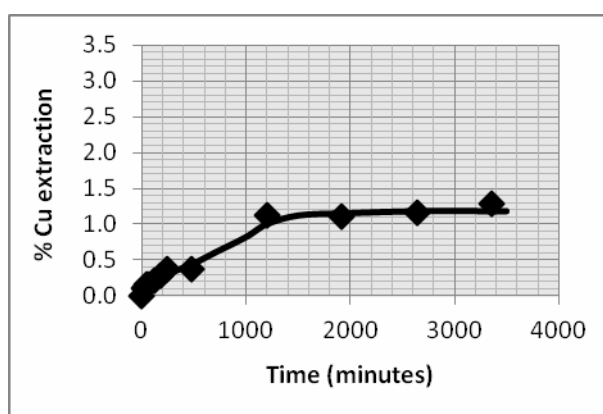
การชะละลายแร่เหล็กที่ 45%Solids ขนาด 85% เล็กกว่า 38 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้ 0.25% ในขณะที่ 53 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้ 0.18% ในขณะที่ ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ที่เวลา 2000 นาที ละลายเหล็กได้เพียง 0.11%



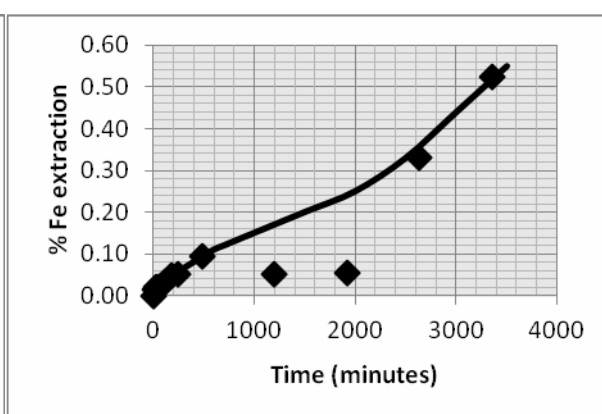
รูปที่ 4.22 การชะละลายทองแดงที่ขนาด
38 ไมครอน 45%Solids



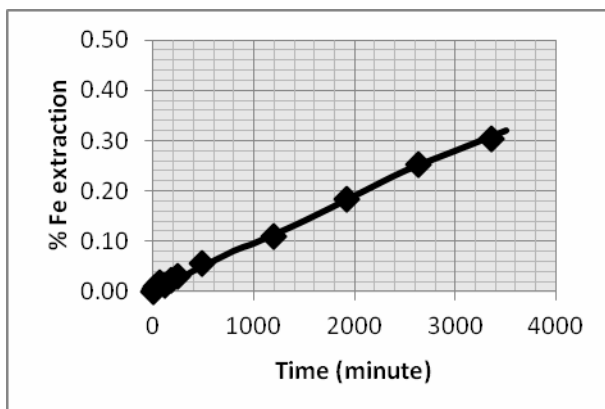
รูปที่ 4.23 การชะละลายทองแดงที่ขนาด
53 ไมครอน 45%Solids



รูปที่ 4.24 การชะละลายทองแดงที่ขนาด
75 ไมครอน 45%Solids

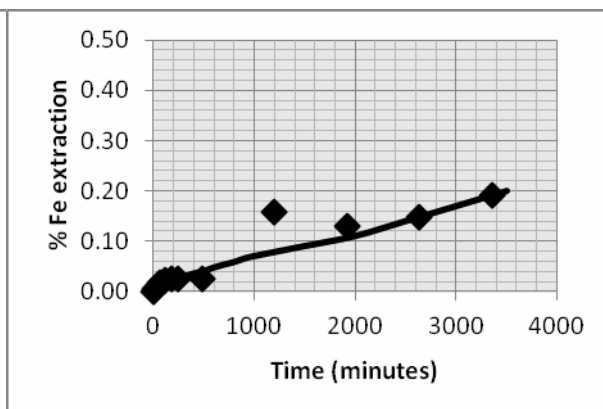


รูปที่ 4.25 การชะละลายเหล็กที่ขนาด
38 ไมครอน 45%Solids



รูปที่ 4.26 การชะละลายเหล็กที่ขนาด

53 ไมครอน 45%Solids

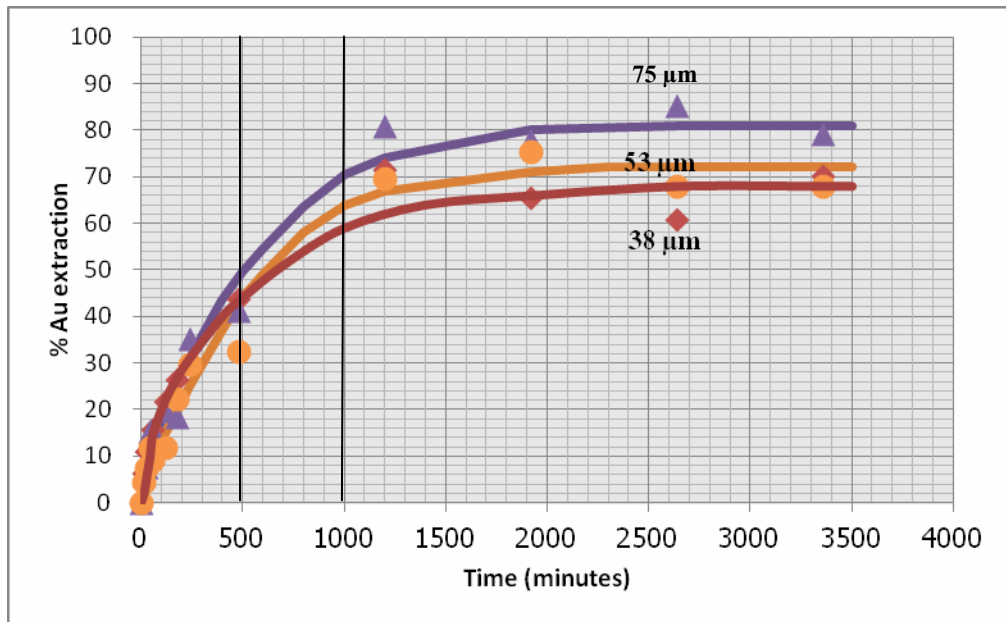


รูปที่ 4.27 การชะละลายเหล็กที่ขนาด

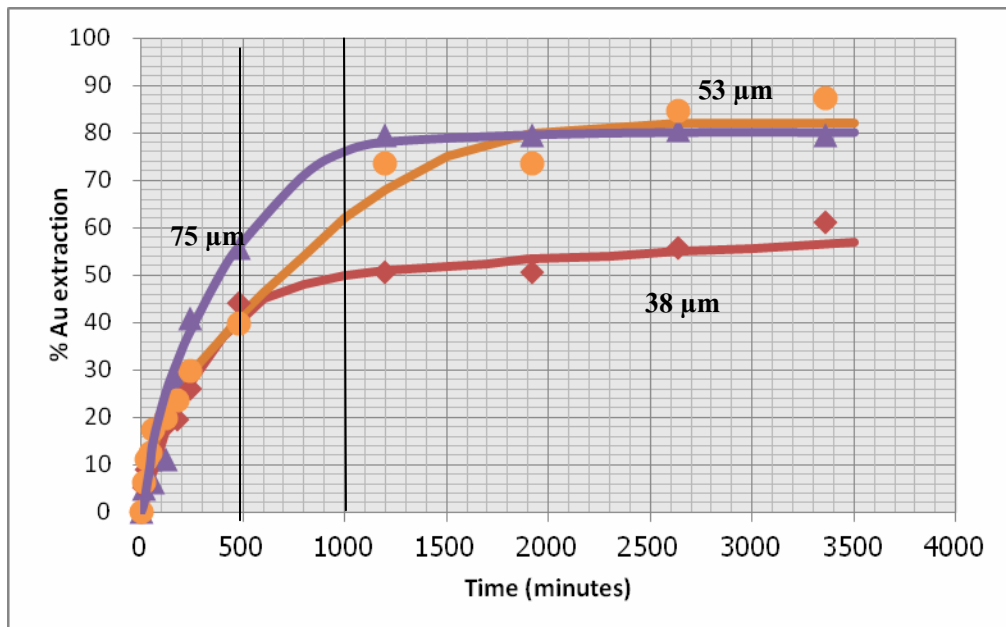
75 ไมครอน 45%Solids

4.4 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบอัตราการชะละลายของทองคำ ทองแดง และเหล็ก

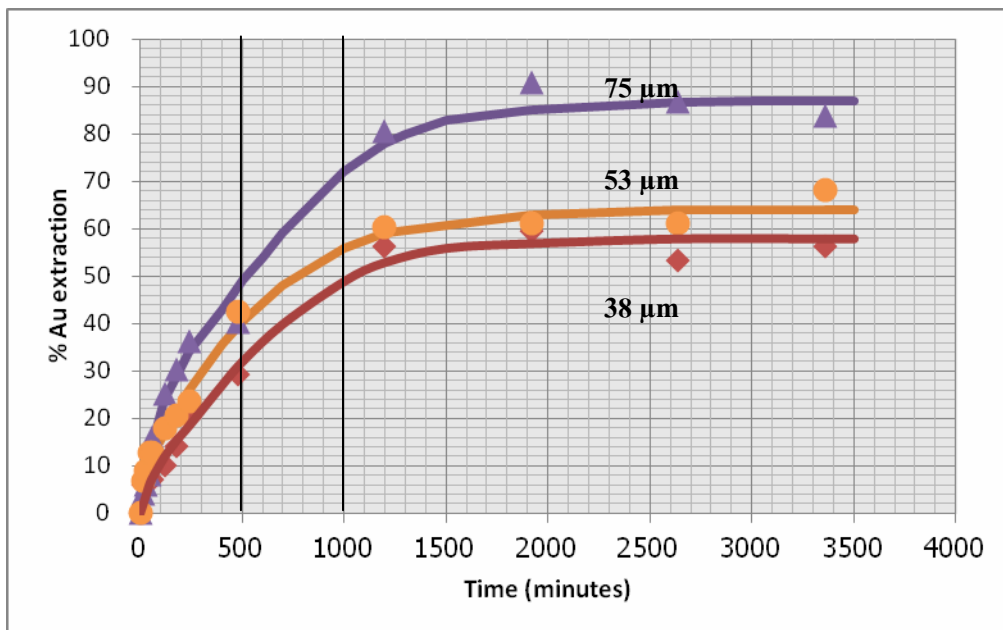
เพื่อประเมินการเปรียบเทียบหาความสามารถในการชะละลายได้เร็วหรือช้า จึงอาศัยการเปรียบเทียบ %Extraction ของโลหะต่างๆที่เวลา 500 และ 1,000 นาที จากรูปที่ 4.28 ถึง 4.30 ซึ่งเขียนในรูปของตารางได้ตามตารางที่ 4.4 และ แสดงสรุปค่า %Extraction สูงสุดของทองคำในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.28 การชะละลายทองคำ ที่ 35%Solids



รูปที่ 4.29 การชะละลายทองคำ ที่ 40%Solids



รูปที่ 4.30 การชะละลายทองคำ ที่ 45%Solids

ตารางที่ 4.4 เปรี่เซ็นต์การชะละลายที่ %Solids และสินแร่ขนาดต่างๆ

% Solids	85% passing	Leaching Time 500 minutes			Leaching Time 1000 minutes			% Au Extraction	% Cu Extraction	% Fe Extraction
		Size, microns	Au	Cu	Fe	Au	Cu			
35	38	43	1.08	0.12	59	1.20	0.16	68	1.1	0.60
	53	44	0.7	0.08	64	1.60	0.12	72	2.6	0.58
	75	49.5	0.65	0.04 5	70.5	0.95	0.06 5	81	1.3	0.12
40	38	41	1.06	0.14	50	1.17	0.22	57	1.3	0.5
	53	42	1.02	0.05	62	1.22	0.10	82	1.7	0.32
	75	57	0.55	0.04 5	76	0.94	0.05 5	80	1.6	0.16
45	38	32	0.45	0.08	49	0.90	0.12	58	1.0	0.54
	53	40.5	0.85	0.06	56	1.10	0.09	64	1.3	0.32
	75	49	0.45	0.05	72	0.82	0.08	87	1.2	0.2

ตารางที่ 4.5 %Extraction ของการชะละลายทองคำ

%Solids	35%	40%	45%
ขนาดสินแร่(μm)			
38	68	57	58
53	72	82	64
75	81	80	87

ผลจากการชะละลาย (Extraction) ทองคำ ทองแดง และเหล็ก โดยในตารางที่ 4.4 จะแสดงเปอร์เซ็นต์การชะละลายทองคำ ทองแดง และเหล็ก ณ เวลา 500 นาที และ 1,000 นาที

ในการชะละลายทองคำที่ 35%Solids (รูปที่ 4.28) นั้นการชะละลายในช่วงแรกจะละลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่เวลา 2000 นาทีจะเป็นการชะละลายสูงสุดของทุกขนาด สำหรับขนาด 75 μm จะเห็นการชะละลายได้อย่างชัดเจนที่ 1000 นาที มีค่าสูงถึง 70% และสำหรับเวลา 2000 นาที จะละลายได้สูงสุด 80% หลังจากเวลา 2000 นาที แล้วการชะละลายไม่เพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับในการชะละลายทองคำที่ 40%Solids (รูปที่ 4.29) ที่เวลา 500 นาที สินแร่ขนาด 75 ไมครอน จะละลายได้สูงกว่าขนาดอื่นๆซึ่งละลายได้สูงถึง 56% และจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสามารถละลายได้อย่างรวดเร็วโดยละลายได้สูงเกือบ 80% ที่เวลาเพียง 1000 นาที เท่านั้น ในขณะที่สินแร่ขนาด 38 และ 53 μm จะละลายได้ในอัตราใกล้เคียงกัน ทั้งนี้สินแร่ขนาด 53 ไมครอน ต้องใช้เวลาละลายนานถึง 2000 นาที จึงจะละลายได้สูงถึง 80% และสำหรับสินแร่ขนาด 38 ไมครอน สามารถละลายสูงสุดเพียง 57% เท่านั้น

การชะละลายทองคำที่ 45%Solids (รูปที่ 4.30) สำหรับสินแร่ขนาด 75 ไมครอน ที่เวลา 1300 นาที จะละลายได้ถึง 80% และการชะละลายจะเพิ่มขึ้นจนถึง 84% ที่เวลา 1,500 นาที และ 87% ที่เวลา 2000 นาที โดยที่แร่ขนาด 75 ไมครอน จะละลายได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 53 และ 38 ไมครอน

4.5 การวิเคราะห์อิทธิพลของทองแดงและเหล็กที่มีต่อการชะละลายทองคำ

เมื่อเปรียบเทียบการชะละลายทองแดงและทองคำ เพื่อดูผลว่าการชะละลายของทองแดงมีส่วนทำให้ %Extraction ของทองคำลดลง เมื่อสินแร่มีขนาดละเอียดขึ้นหรือไม่ จะพบว่าในกรณีของทองแดง %Extraction ค่อนข้างต่ำมากเพียงประมาณ 1-2% เท่านั้น (รูปที่ 4.31-4.32) จึงไม่น่าจะส่งผลต่อการแย่งไซยาไนด์ไปจนกระทบต่อการชะละลายของทองคำมากนัก

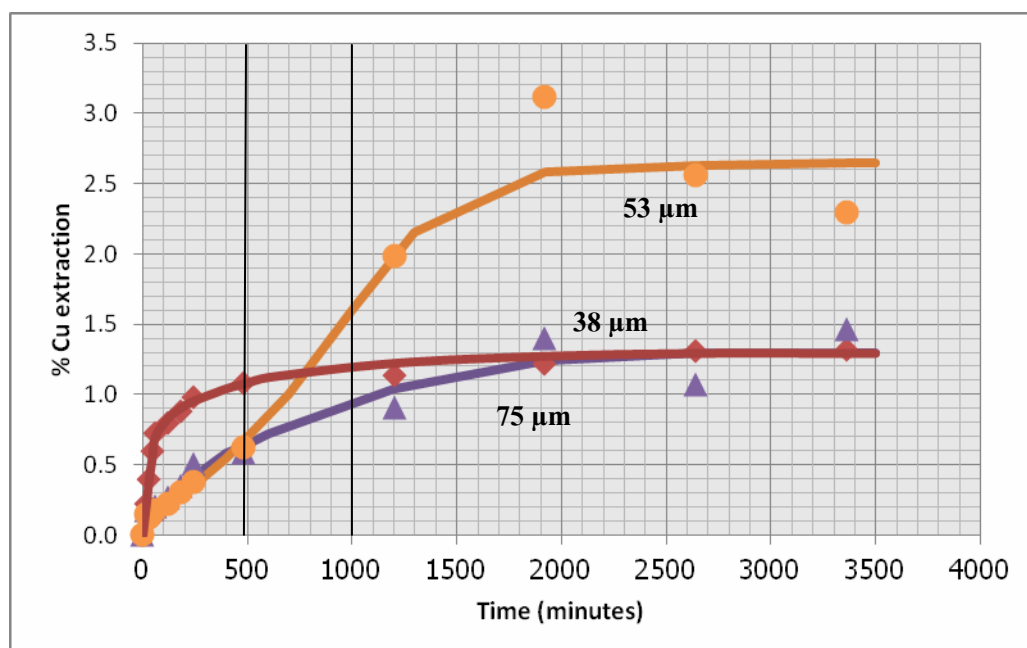
ในทางกลับกันการชะละลายเหล็กน่าจะส่งผลกระทบต่อการชะละลายแร่ทองคำ โดยจากรูปที่ 4.34-4.36 จะเห็นได้ว่า %Extraction ของเหล็ก สำหรับแร่ขนาดละเอียดกว่าจะสูงกว่าแร่ขนาดหยาบในทุกๆค่า %Solids เช่นที่ 40%Solids แร่ขนาด 38 ไมครอน สามารถละลายได้มากถึง 0.17% ในขณะที่แร่ขนาด 53 และ 75 ไมครอน สามารถละลายได้เพียง 0.1 และ 0.06% ตามลำดับ

หนึ่งต้องตระหนักว่า ถึงแม้ว่าค่า %Extraction จะต่ำมาก แต่เนื่องจากปริมาณเหล็กในสินแร่มีมากถึง 42.5% เทียบกับทองคำ 1.19 ppm และทองแดง 19,487 ppm ดังนั้นจึงมีเหล็กปริมาณที่ค่อนข้างสูงในระบบที่จะสามารถดึงไซยาไนด์ไปใช้ได้มาก

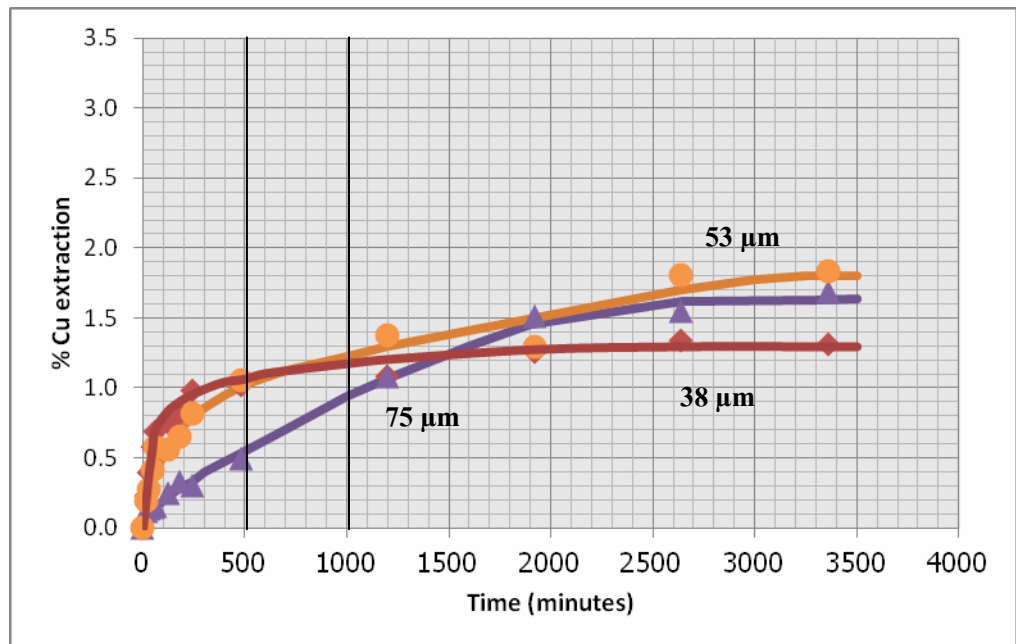
จะเห็นได้ชัดเจนว่า เมื่อลดแร่ขนาดละเอียดมากจนถึง 85% ละเอียดกว่า 38 ไมครอน %Extraction ของเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อชะละลายแร่นานขึ้น โดยขึ้นสูงสุดที่ 0.5-0.6% เมื่อเทียบกับประมาณ 0.12-0.2% สำหรับสินแร่ขนาด 85% ละเอียดกว่า 75 ไมครอน ซึ่งหมายความว่าเมื่อลดแร่ละเอียดขึ้น จะมีโอกาสปลดปล่อยให้เหล็กเป็นอิสระที่จะถูกละลายด้วยไซยาไนด์ได้มากขึ้น

ด้วยเหตุนี้ไซยาไนด์จึงถูกเหล็กใช้ไปจนเหลือไว้สำหรับละลายทองคำได้น้อยลง ส่งผลให้ %Extraction ของทองคำ สำหรับสินแร่ที่ละเอียดกว่า (เช่น 85% ละเอียดกว่า 38 ไมครอน) มีค่าต่ำกว่าสินแร่ที่มีขนาดหยาบกว่า เช่น 75 ไมครอน

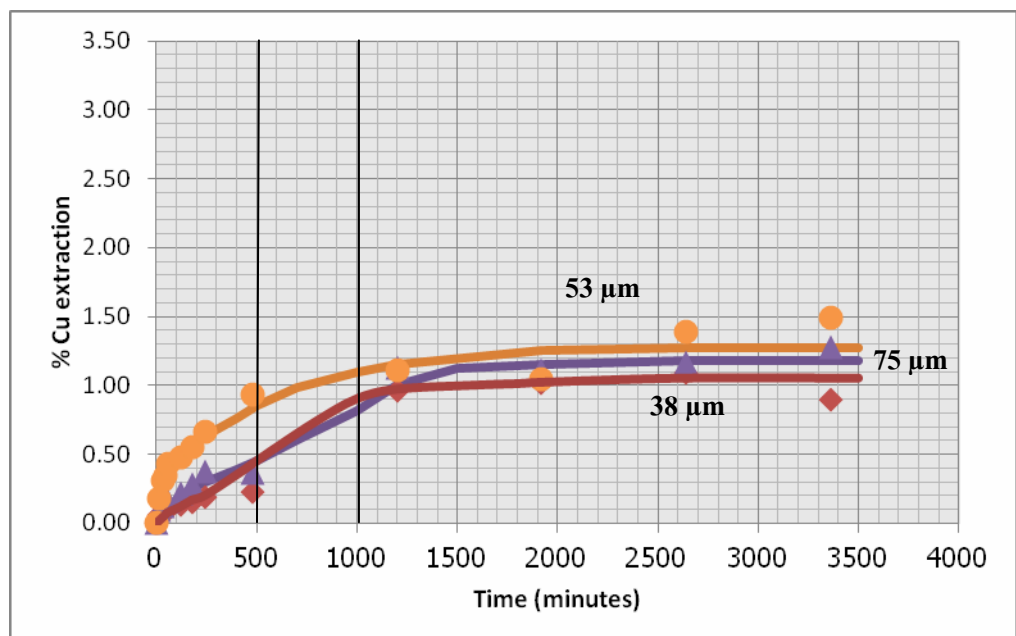
ในกรณีของ %Solids นั้น จากข้อมูลจากการศึกษานี้ไม่สามารถสรุปผลได้ชัดเจน นอกจากข้อมูลตามรูปที่ 4.34 เทียบกับรูปที่ 4.35 และ 4.36 ที่ชี้ให้เห็นว่าเมื่อ %Solids ต่ำลงมากถึง 35% ผลของเหล็กที่กระทบต่อ %Extraction ของทองคำที่มีผลมากกว่าที่ขนาดหยาบขึ้นมาจากจนถึงขนาด 85% ละเอียดกว่า 53 ไมครอน



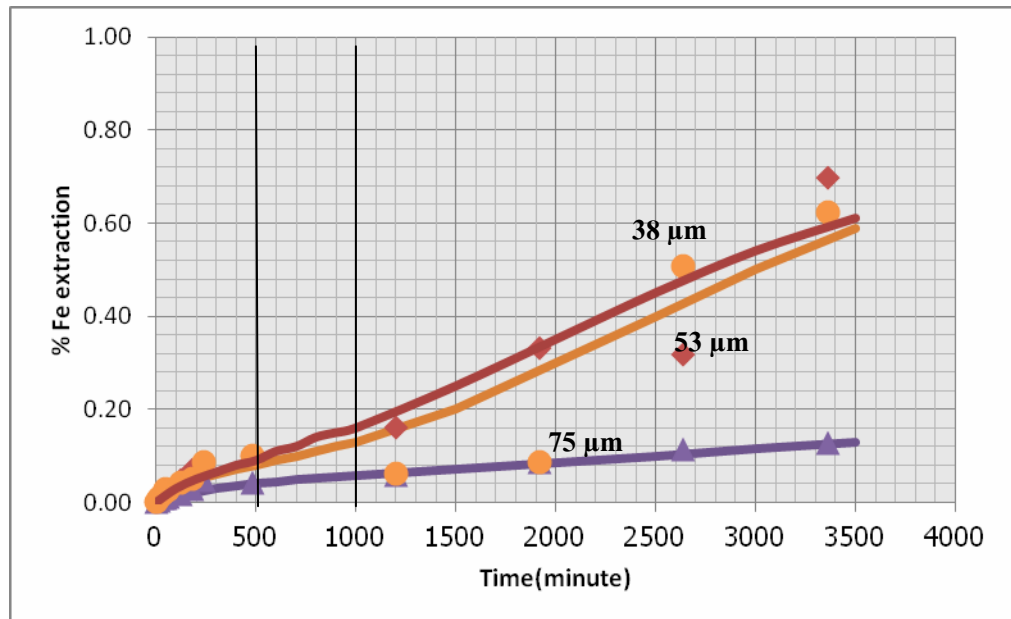
รูปที่ 4.31 การชะละลายทองคำแดง ที่ 35 %Solids



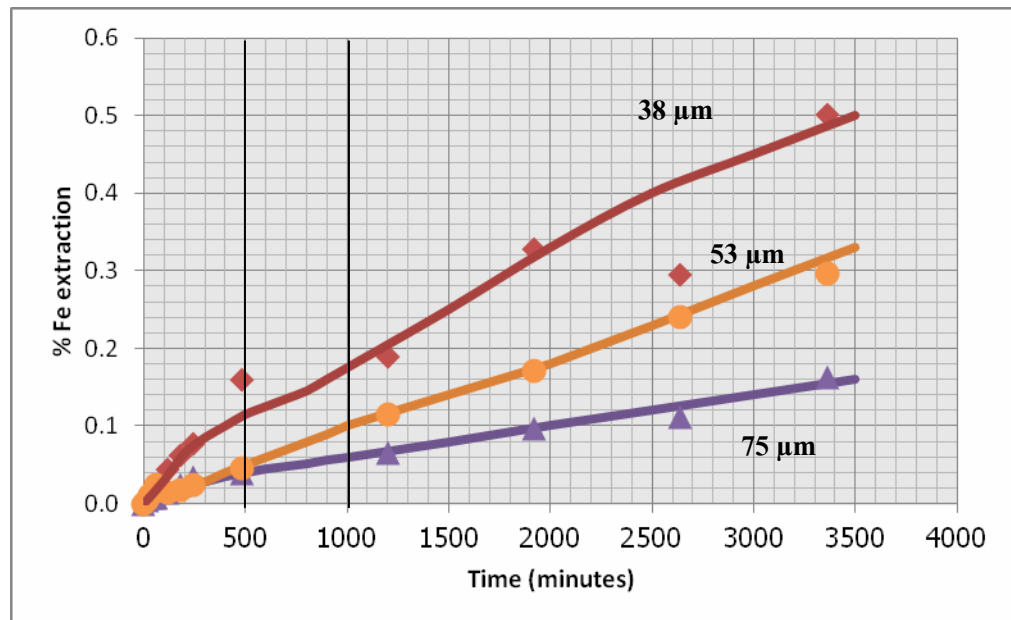
รูปที่ 4.32 การชะละลายทองแดง ที่ 40 %Solids



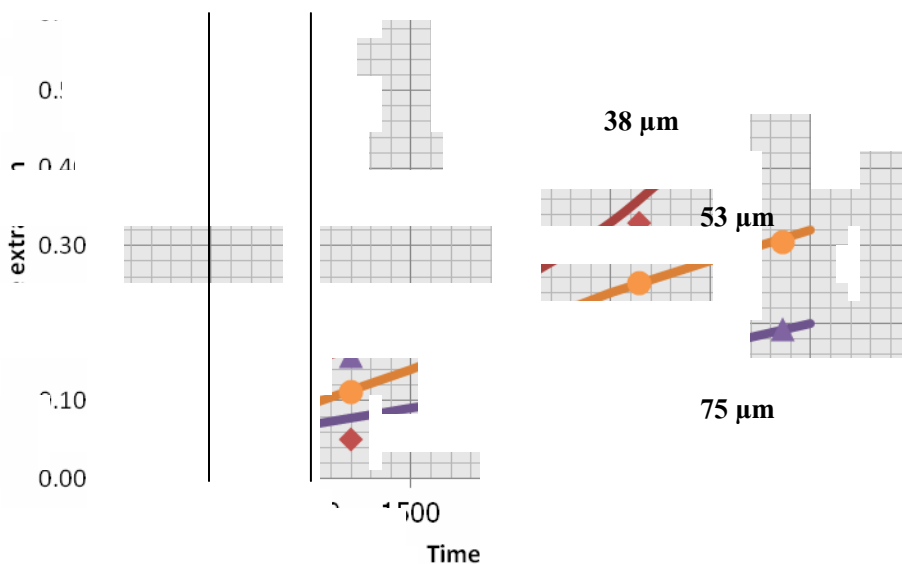
รูปที่ 4.33 การชะละลายทองแดง ที่ 45 %Solids



รูปที่ 4.34 การชะละลายเหล็ก ที่ 35 %Solids



รูปที่ 4.35 การชะละลายเหล็ก ที่ 40 %Solids



รูปที่ 4.36 การชะละลายเหล็ก ที่ 45% Solids

4.6 จลนศาสตร์ของการชะละลายทองคำออกจากสินแร่ซัลไฟด์

จากตารางที่ 4.6 ถึง 4.8 สามารถนำมาเขียนกราฟตามสมการจลนศาสตร์ของการชะละลายในระดับที่หนึ่งและระดับที่สอง (First and second order rate equation) จากกราฟสามารถหาค่า k (Rate constant) ตามสมการต่อไปนี้

First order

$$\ln C - \ln C_0 = kt$$

Second order

$$\frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} = kt$$

เมื่อ k = Rate constant

C = Concentration of a specified species in solution or in solid fraction

C_0 = Initial concentration of a specified species in solution or in solid fraction

n = Order of reaction

ค่า Rate constant (k) หาได้จากค่าความชัน (slope) ของเส้นกราฟโดยได้ค่าตามตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และจากเส้นกราฟในรูปที่ 4.37 ถึง 4.54 จะเห็นได้ว่าการชะละลายของทองคำสำหรับเหมืองทอง บริษัททุ่งคำ เป็นไปตามสมการที่สมการจลนศาสตร์ระดับที่หนึ่งและระดับที่สอง

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจลนศาสตร์ของการชะละลายทองคำที่ 35%Solids ขนาดสินแร่ 85% ละเอียดกว่า 38 53 และ 75 ไมครอน ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่งและสอง

Time (Minutes)	38 μm		53 μm		75 μm	
	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.064	0.066	0.045	0.046	0.063	0.065
30	0.115	0.122	0.077	0.079	0.079	0.083
45	0.133	0.142	0.126	0.134	0.165	0.179
60	0.169	0.184	0.093	0.097	0.165	0.179
120	0.246	0.278	0.126	0.134	0.221	0.247
180	0.307	0.359	0.250	0.284	0.202	0.223
240	0.350	0.419	0.349	0.419	0.431	0.539
480	0.571	0.771	0.393	0.481	0.529	0.698
1200	1.256	2.511	1.184	2.267	1.643	4.172
1920	1.059	1.882	1.398	3.048	1.497	3.468
2640	0.932	1.540	1.136	2.117	1.913	5.771
3360	1.203	2.329	1.137	2.117	1.568	3.794

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลจลนศาสตร์ของการละลายของค่าที่ 40%Solids ขนาดสินแร่ 85% ละเอียดกว่า 38 53 และ 75 ไมครอน ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่งและสอง

Time (Minutes)	38 μm		53 μm		75 μm	
	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.053	0.055	0.064	0.066	0.051	0.052
30	0.095	0.099	0.118	0.126	0.077	0.081
45	0.124	0.132	0.133	0.148	0.118	0.126
60	0.139	0.149	0.192	0.211	0.064	0.066
120	0.201	0.222	0.222	0.249	0.118	0.126
180	0.217	0.242	0.270	0.310	0.319	0.375
240	0.301	0.351	0.355	0.427	0.526	0.693
480	0.583	0.791	0.509	0.663	0.818	1.263
1200	0.706	1.026	1.329	2.776	1.579	3.849
1920	0.706	1.026	1.328	2.775	1.578	3.849
2640	0.817	1.265	1.879	5.549	1.641	4.159
3360	0.942	1.566	2.058	6.827	1.579	3.849

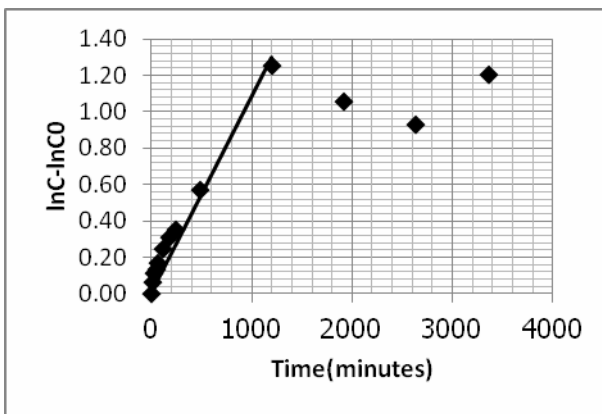
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลจลนศาสตร์ของการละลายทองคำที่ 45%Solids ขนาดสินแร่ 85% ละเยียดกว่า 38 53 และ 75 ไมครอน ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่งและสอง

Time (Minutes)	38 μm		53 μm		75 μm	
	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$	$\ln C_0 - \ln C$	$1/C - 1/C_0$
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.062	0.064	0.072	0.074	0.041	0.042
30	0.084	0.087	0.093	0.097	0.062	0.064
45	0.106	0.112	0.137	0.147	0.084	0.088
60	0.073	0.076	0.138	0.148	0.176	0.193
120	0.106	0.112	0.196	0.216	0.290	0.337
180	0.152	0.164	0.233	0.262	0.360	0.434
240	0.225	0.252	0.271	0.311	0.451	0.570
480	0.345	0.412	0.553	0.739	0.517	0.677
1200	0.830	1.292	0.923	1.517	1.646	4.187
1920	0.901	1.462	0.948	1.582	2.387	9.884
2640	0.763	1.144	0.949	1.583	2.023	6.562
3360	0.830	1.292	1.145	2.143	1.817	5.153

สำหรับการหาค่าของ First order และ Second order สามารถนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.37 – 4.50 ซึ่งจากกราฟสามารถนำมาหาค่า k (Rate constant) ได้ดังตารางที่ 4.9

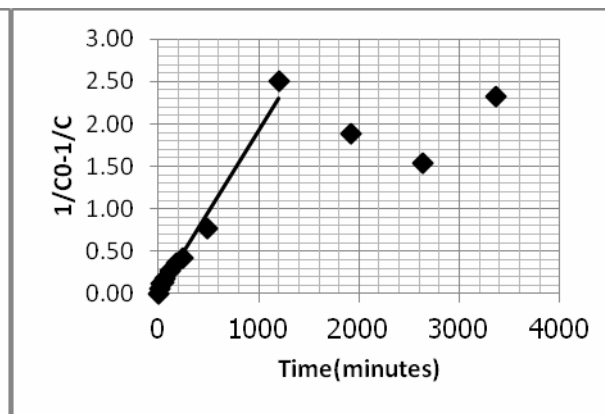
ตารางที่ 4.9 ค่า k (Rate constant) ของจลนศาสตร์ของการละลายของคาร์บอนที่ระดับจลนศาสตร์ที่หนึ่ง และสอง

%Solids ขนาดแร่(μm)	1 st Order			2 nd Order		
	35%	40%	45%	35%	40%	45%
38	1.08×10^{-3}	0.87×10^{-3}	0.4×10^{-3}	1.9×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.04×10^{-3}
53	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	0.7×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.16×10^{-3}	1.3×10^{-3}
75	1.3×10^{-3}	1.2×10^{-3}	1.2×10^{-3}	3.0×10^{-3}	1.6×10^{-3}	3.0×10^{-3}



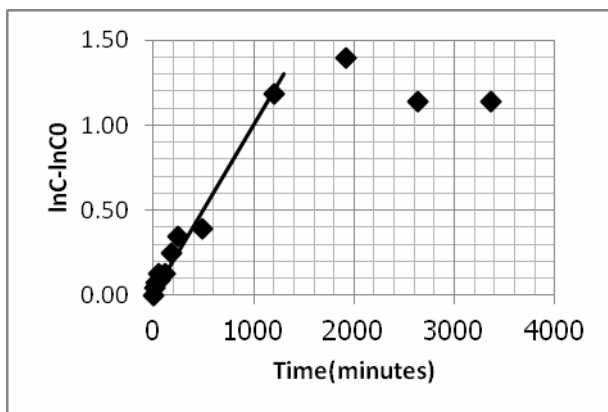
รูปที่ 4.37 First order ของทองคำ 38 ไมครอน

35%Solids

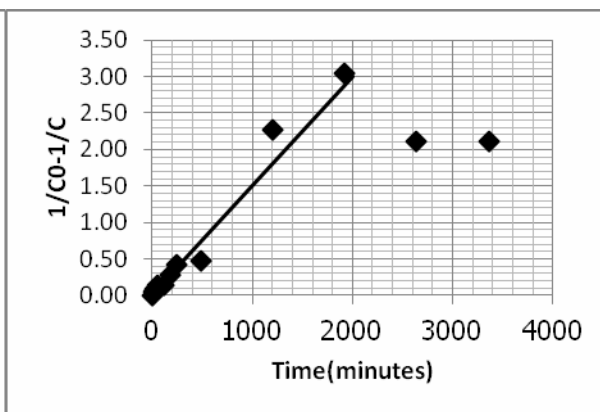


รูปที่ 4.38 Second order ของทองคำ 38 ไมครอน

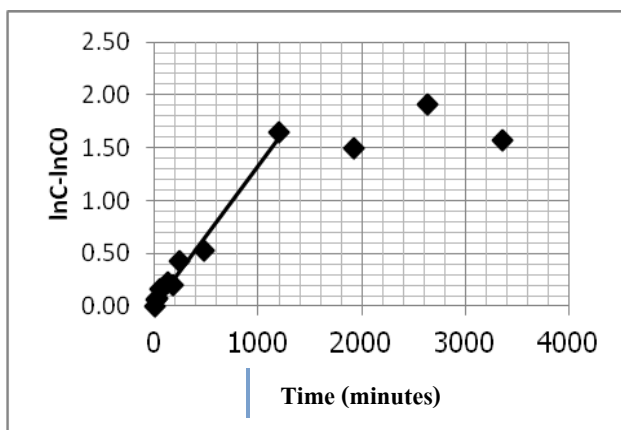
35%Solids



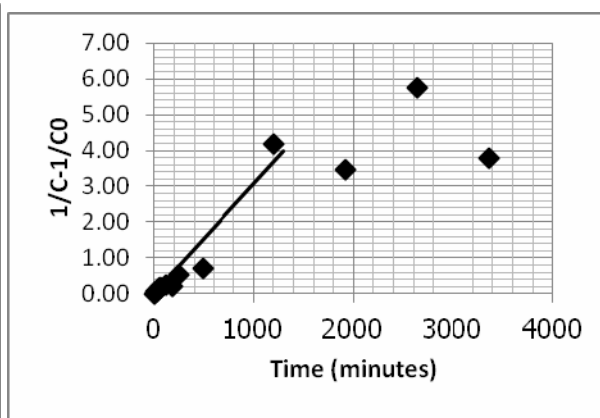
รูปที่ 4.39 First order ของทองคำที่ 53 ไมครอน
35%Solids



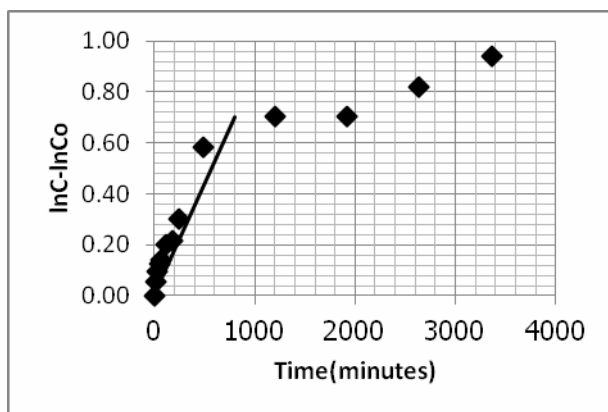
รูปที่ 4.40 Second order ของทองคำที่ 53 ไมครอน
35%Solids



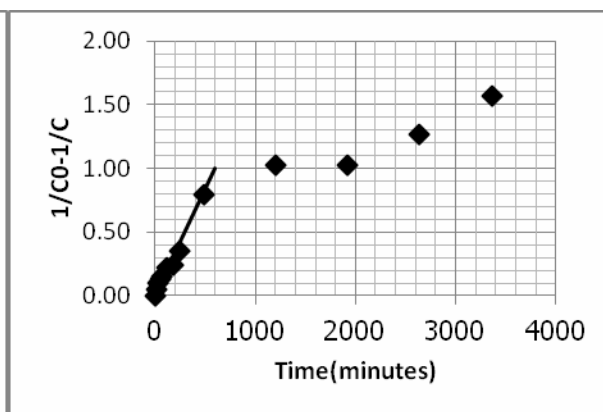
รูปที่ 4.41 First order ของทองคำที่ 75 ไมครอน
35%Solids



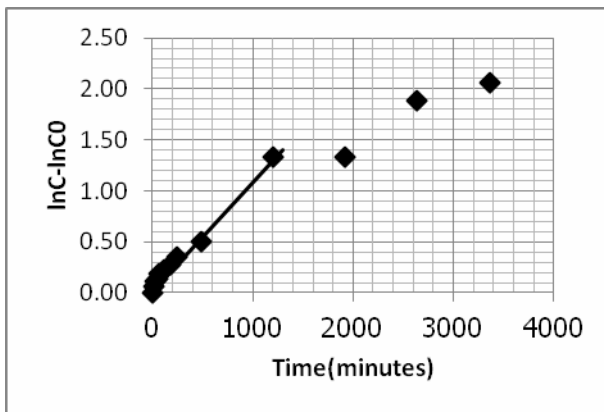
รูปที่ 4.42 Second order ของทองคำที่ 75 ไมครอน
35%Solids



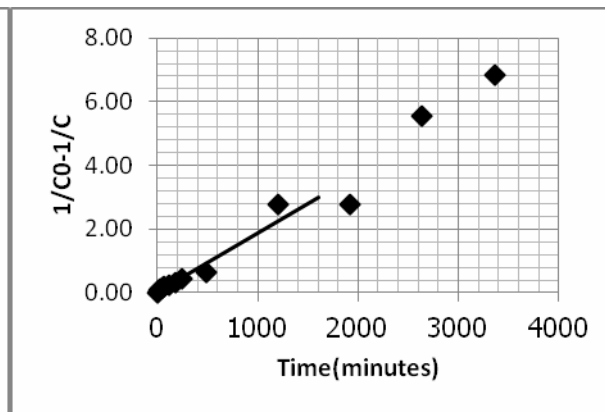
รูปที่ 4.43 First order ของทองคำที่ 38 ไมครอน
40%Solids



รูปที่ 4.44 Second order ของทองคำที่ 38 ไมครอน 40%Solids



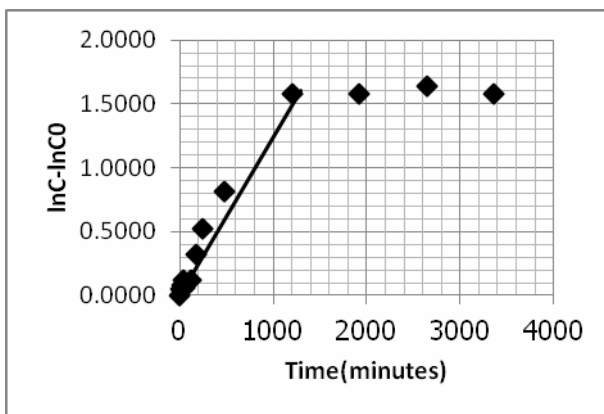
รูปที่ 4.45 First order ของทองคำที่ 53 ไมครอน



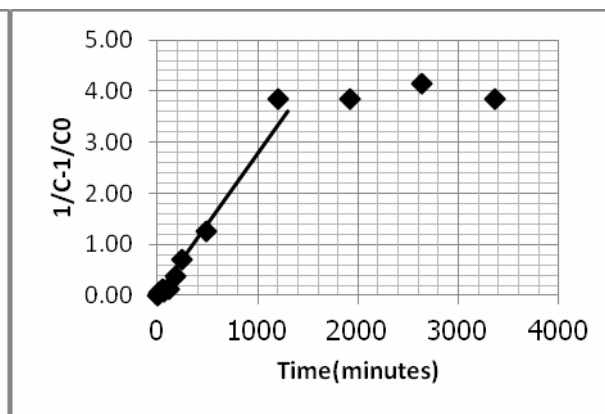
รูปที่ 4.46 Second order ของทองคำที่ 53 ไมครอน

40%Solids

40%Solids



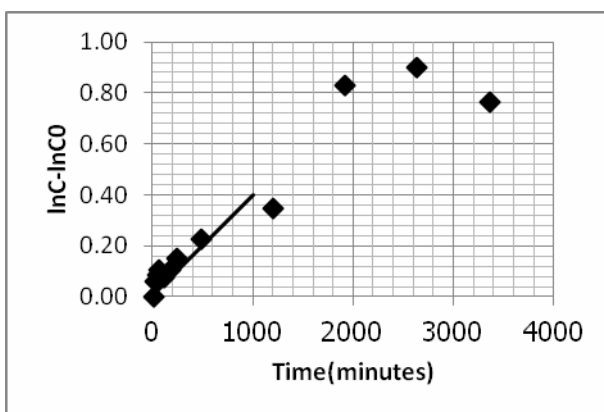
รูปที่ 4.47 First order ของทองคำที่ 75 ไมครอน



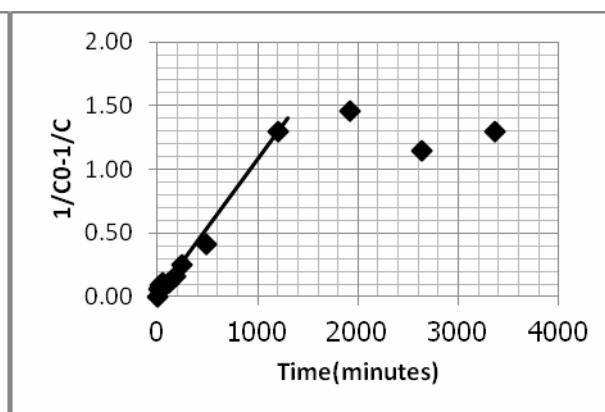
รูปที่ 4.48 Second order ของทองคำที่ 75 ไมครอน

40%Solids

40%Solids



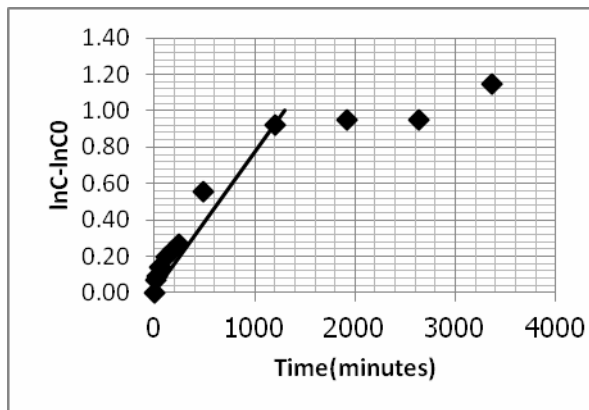
รูปที่ 4.49 First order ของทองคำที่ 38 ไมครอน



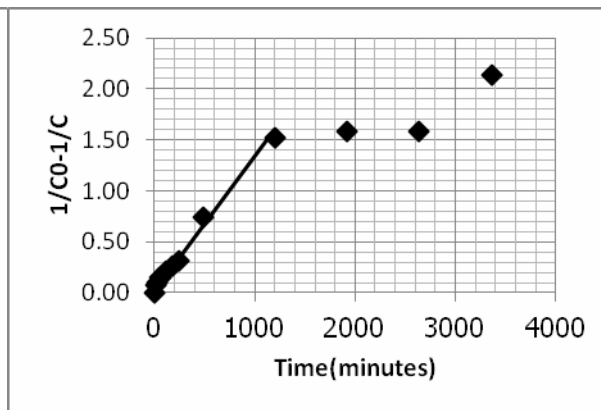
รูปที่ 4.50 Second order ของทองคำที่ 38 ไมครอน

45%Solids

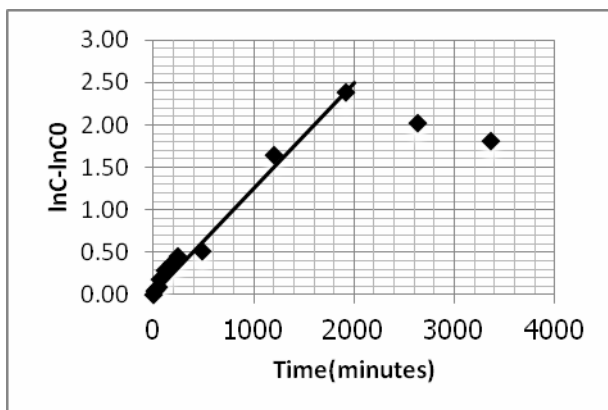
45%Solids



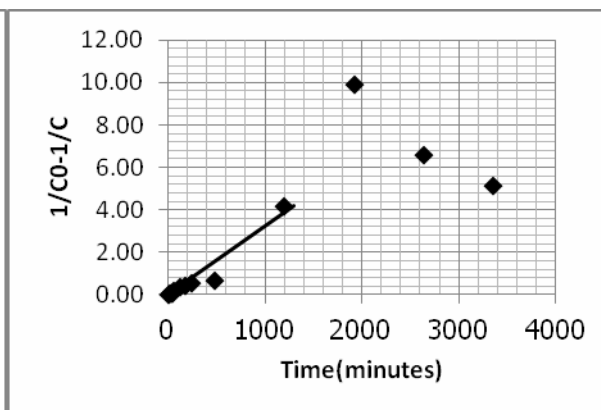
รูปที่ 4.51 First order ของทองคำ 53 ไมครอน
45%Solids



รูปที่ 4.52 Second order ของทองคำ 53 ไมครอน
45%Solids



รูปที่ 4.53 First order ของทองคำ 75 ไมครอน
45%Solids



รูปที่ 4.54 Second order ของทองคำ 75 ไมครอน
45%Solids

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในเรื่องจลนศาสตร์ของการละลายสินแร่ทองคำจากสินแร่ซัลไฟด์เหมืองทอง บริษัททุ่งคำ จำกัด สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การบดแร่ละเอียดมากขึ้น % การละลายทองคำลดลง ทั้งนี้จะเป็นเพราะเหล็กที่ปนอยู่หลุดเป็นอิสระมากขึ้นจึงแย่งใช้ไซยาไนด์ไปมากจนเหลือไว้ละลายทองคำน้อยลง การศึกษานี้พบว่า การบดแร่ให้ละเอียดลงเพียง 85% ละเอียดกว่า 75 μm ก็เพียงพอสำหรับสินแร่ซัลไฟด์ที่เหมืองทอง บริษัททุ่งคำ จำกัด แห่งนี้

5.5.2 %Solids ที่สูงขึ้นมีผลทำให้การละลายทองคำลดลงเฉพาะแร่ที่ละเอียดเท่านั้น (38 และ 53 μm) ในขณะที่แร่ที่หยาบกว่า คือ 85% เล็กกว่า 75 μm นั้นสามารถละลายทองคำได้มากขึ้น เมื่อ %Solids สูงขึ้น

5.5.3 ด้านจลนศาสตร์ของการละลายทองคำนั้นจะอยู่ใน First Order และ Second Order ซึ่งทั้งสองระดับนั้นจะมีค่า Rate Constant (k) ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษากระบวนการละลายครั้งนี้ใช้ค่าปริมาณไซยาไนด์ค่าเดียว ดังนั้นในการศึกษาในอนาคตควรใช้ความเข้มข้นของไซยาไนด์หลายๆค่าเช่นทำการวิจัยที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1000 ppm, 750 ppm และ 500 ppm

5.2.2 ในการศึกษากระบวนการละลายนั้นควรเพิ่มออกซิเจนตลอดเวลาของกระบวนการละลาย มิใช่เติมครั้งเดียวในช่วงต้น และนอกจากการวัด Dissolved Oxygen (DO) แล้วควรมีการวัดค่า Eh ด้วย

5.2.3 หากสามารถเพิ่มตัวแปรคือปริมาณออกซิเจนที่เติมหรือวัดในรูปของ Eh จะช่วยให้ได้ผลของการชะละลายที่ครบถ้วนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

บริษัททุ่งคำ จำกัด (2552). แผนผังโครงการทำเหมืองสินแร่ทองคำ เงินและทองแดงโดยวิธีเหมือง
หาบ. สำหรับประทานบัตรที่ 26968/15574, 26969/15575, 26970/15576, 26971/15558,
26972/15559 และ 26973/15560. สิงหาคม 2552.

บริษัทอัคราไมนิ่ง จำกัด (2541). แผนผังโครงการทำเหมืองแร่ทองคำโดยวิธีเหมืองหาบ. สำหรับคำ
ขอประทานบัตรที่ 26910, 26911, 26 912 และ 25618 บริษัทอัคราไมนิ่ง จำกัด ต.เขาเจ็ด ลูก
อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร และ ต.ท้ายดง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์.

บริษัทอัคราไมนิ่ง จำกัด (2555). แผนผังประชาสัมพันธ์ของบริษัทอัคราไมนิ่ง จำกัด. ต.เขาเจ็ด ลูก
อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร และ ต.ท้ายดง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์. มีนาคม 2555.

พิชญ์ บุญนวล (2543). วิธีการทำเหมืองแร่ทองคำ การแต่งแร่ การถลุง การป้องกันและการแก้ไข
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ธันวาคม 2543.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2552). รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับประทานบัตรที่
26968/15574, 26969/15575, 26970/15576, 26971/15558, 26972/15559 และ 26973/15560
บริษัททุ่งคำจำกัด ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย. สิงหาคม 2552.

Deschenes, G. and Prud' homme, P.J.H. (1997). "Cyanidation of a copper-gold ore"
Int.J.Mines.Process.50 : 127-141

Deschenes, G., Lacasse, S. and Fulton, M. (2003). "Improvement of cyanidation practice at
Goldcorp Red Lake Mine" Minerals Engineering.16 : 503-509

Feng, D. and Van Deventer, J.S.J. (2011). "Thiosulphate leaching of gold in the presence of
carboxymethyl cellulose (CMC)" Minerals Engineering.24 : 115-121

- Osseo-Asare, K., Xue, T. and Ciminelli, V.S.T. 1984. "Solution chemistry of cyanide leaching system" In Precious Metals : mining, Extraction, and Processing, Metall. Soc, AIME, Warrendale, Pa. V. Kudryk, D.A. Corrigan and W. Liang, Editor. pp. 173-197.
- Nicol, M.J., Fleming, C.A. and Pual, R.L. (1987). " The Chemistry of the Extraction of Gold" In Stanlay, G.G. Editor. The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa, Vol. 2, SAIMM Monograph Series M7. Johannesburg. 1987, pp 831-905.
- Sisoutham, S. (2010). "Gold mining in Lao PDR" In The Proceeding of the Thai-Lao Technical Conference on Geology and Mineral Resources. Held by the Department of Mineral Resources at Rama Gardens Hotel, Bangkok. 7-8 September 2010.
- Vukcevic, S. (1997). "The mechanism of gold extraction and copper precipitation from low grade ores in cyanide ammonia systems" Minerals Engineering, 10 : 309-326

ภาคผนวก

การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาเวลาในการบดละเอียดสินแร่ให้ได้ตามกำหนดในตัวแปรต่างๆ
ของการศึกษาการละลายแร่

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย คือขนาดของสินแร่และอัตราส่วนของแข็งที่ใช้ในการผสม ซึ่งค่าเหล่านี้จะหลักในการคำนวณค่าเหมือนกัน

การหาความถ่วงจำเพาะครั้งที่ 1

น้ำหนักของ flask	56.2	กรัม
น้ำหนักของแร่และ flask	80.2	กรัม
น้ำหนักของแร่	$= 80.2 - 56.2 = 24$	กรัม
น้ำหนักทั้งหมดของ slurry และ flask	172.6	กรัม
น้ำหนักของน้ำ	$= 172.6 - 80.2 = 92.4$	กรัม
น้ำหนักของน้ำ = ปริมาตรน้ำ	$= 92.4$	กรัม
ปริมาตรของ solids	$= 100 - \text{ปริมาตรน้ำ} = 100 - 92.4 = 7.6$	มิลลิลิตร
ความถ่วงจำเพาะ	$= \frac{\text{น้ำหนัก solids}}{\text{ปริมาตร solids}}$	
	$= \frac{24}{7.6} = 3.16$	กรัม/มิลลิลิตร

การหาความถ่วงจำเพาะครั้งที่ 2

น้ำหนักของ flask	56.9	กรัม
น้ำหนักของแร่และ flask	79.8	กรัม
น้ำหนักของแร่	$= 79.8 - 56.9 = 22.8$	กรัม
น้ำหนักทั้งหมดของ slurry และ flask	172.7	กรัม
น้ำหนักของน้ำ	$= 172.7 - 79.7 = 93$	กรัม
น้ำหนักของน้ำ = ปริมาตรน้ำ	$= 93$	กรัม
ปริมาตรของ solids	$= 100 - \text{ปริมาตรน้ำ} = 100 - 93 = 7$	มิลลิลิตร
ความถ่วงจำเพาะ	$= \frac{\text{น้ำหนัก solids}}{\text{ปริมาตร solids}}$	
	$= \frac{22.8}{7} = 3.26$	กรัม/มิลลิลิตร

การหาความถ่วงจำเพาะครั้งที่ 3

น้ำหนักของ flask	55.4	กรัม
น้ำหนักของแร่และ flask	77.8	กรัม
น้ำหนักของแร่	$= 77.8 - 55.4 = 22.4$	กรัม
น้ำหนักทั้งหมดของ slurry และ flask	170.6	กรัม
น้ำหนักของน้ำ	$= 170.6 - 77.8 = 92.8$	กรัม
น้ำหนักของน้ำ = ปริมาตรน้ำ	$= 92.8$	กรัม
ปริมาตรของ solids	$= 100 - \text{ปริมาตรน้ำ} = 100 - 92.8$	
	$= 7.2$	มิลลิลิตร
ความถ่วงจำเพาะ	$= \frac{\text{น้ำหนัก solids}}{\text{ปริมาตร solids}}$	
	$= \frac{22.4}{7.2} = 3.11$	กรัม/มิลลิลิตร

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (SG)} = \frac{3.16 + 3.26 + 3.11}{3} = 3.18 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}$$

35%Solids ขนาดสินแร่ 85%passing เล็กกว่า 38 μm

หาปริมาณสินแร่ที่ใช้

ความถ่วงจำเพาะของแร่ซัลไฟด์ (SG) = 3.18

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำต่อความถ่วงจำเพาะของแร่} = \frac{65}{35} + \frac{1}{3.18}$$

$$= 1.85 + 0.314$$

$$= 2.164$$

แต่ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ปริมาณ 3 ลิตร

$$= \frac{3000}{2.164} = 1,382 \text{ กรัม}$$

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดแต่ละครั้ง จะทำที่ 60% solids

$$= \frac{40}{60} \times 1382$$

$$= 921 \text{ มิลลิลิตร}$$

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายที่ 35% solids

$$= \frac{65}{35} \times 1382 = 2,566 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นต้องใส่น้ำเพิ่ม $2566 - 921 = 1,654$

มิลลิลิตร

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 40 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

เมื่อใช้เวลาในการบด 30 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 82.82%

เมื่อใช้เวลาในการบด 40 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 87.55%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณ เพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm สินแร่ขนาด 85% ใช้เวลาในการบด 34 นาที 19 วินาที

35%Solids ขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 53 μm

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 53 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 30 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 91%

ใช้เวลาในการบด 15 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 54.69%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 85% ใช้เวลาในการบด 27 นาที 20 วินาที

35%Solids ขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 75 μm

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 75 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 30 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm 98.7%

ใช้เวลาในการบด 10 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm 47.11%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm 85% ใช้เวลาในการบด 24 นาที 02 วินาที

40% Solids สิ้นแร่ขนาด 85% เล็กกว่า 38 μm

ความถ่วงจำเพาะของแร่ซัลไฟด์ (SG) = 3.18

$$\begin{aligned} \text{ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำต่อความถ่วงจำเพาะของแร่} &= \frac{60}{40} + \frac{1}{3.18} \\ &= 1.5 + 0.314 \\ &= 1.814 \end{aligned}$$

$$\text{แต่ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ปริมาณ 3 ลิตร} \quad = \frac{3000}{1.814} = 1,654 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดแต่ละครั้ง จะทำที่ 60\% solids} &= \frac{40}{60} \times 1654 \\ &= 1103 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายที่ 40\% solids} &= \frac{60}{40} \times 1654 \\ &= 2,481 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องใส่น้ำเพิ่ม $2481 - 1103 = 1,378$ มิลลิลิตร

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 40 นาที และ 50 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาทำการคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 38 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 40 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 75.95%

ใช้เวลาในการบด 50 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 85.92%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 85% ใช้เวลาในการบด 49 นาที 02 วินาที

40% Solids ขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 53 μm

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 45 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาทำการคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 53 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 30 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 78.56%

ใช้เวลาในการบด 45 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 94.06%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 85% ใช้เวลาในการบด 35 นาที 49 วินาที

40% Solids ขนาดสินแร่ 85% เล็กกว่า 75 μm

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 38 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 40 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 75.95%

ใช้เวลาในการบด 50 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 85.92%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 85% ใช้เวลาในการบด 49 นาที 02 วินาที

45% Solids สินแร่ขนาด 85% เล็กกว่า 38 μm

ความถ่วงจำเพาะของแร่ซิลไฟด์ (SG) = 3.18

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำต่อความถ่วงจำเพาะของแร่} = \frac{55}{45} + \frac{1}{3.18}$$

$$= 1.5 + 0.314$$

$$= 1.537$$

$$\text{แต่ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ปริมาณ 3 ลิตร} = \frac{3000}{1.537} = 1,952 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดแต่ละครั้ง จะทำที่ 60\% solids} = \frac{40}{60} \times 1952 = 1,301 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายที่ 40\% solids} = \frac{60}{40} \times 1952 = 2,928 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นต้องใส่น้ำเพิ่ม $2928 - 1301 = 1,627$ มิลลิลิตร

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 40 นาที และ 90 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาทำการคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 38 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 40 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 63.29%

ใช้เวลาในการบด 90 นาที ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 95.47%

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 38 μm 85% ใช้เวลาในการบด 71 นาที 34 วินาที

45%Solids สิ้นแร่ขนาด 85% เล็กกว่า 53 μm

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาทำการคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 53 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 30 นาที	ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm	64.76%
------------------------	---------------------------------	--------

ใช้เวลาในการบด 60 นาที	ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm	94.98%
------------------------	---------------------------------	--------

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 85% ใช้เวลาในการบด 49 นาที 05 วินาที

45%Solids สิ้นแร่ขนาด 85% เล็กกว่า 75 μm

เมื่อได้ปริมาณแร่และปริมาณน้ำที่ใช้บดแล้ว ทำการบดที่ เวลา 30 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแร่ที่บดแล้วมาทำการคัดขนาด เพื่อดูว่าสินแร่ที่บดได้ผ่านตะแกรง 53 μm มีค่าที่เปอร์เซ็นต์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าผ่านตะแกรง 85% แสดงดังนี้

ใช้เวลาในการบด 30 นาที	ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm	89.39%
------------------------	---------------------------------	--------

ใช้เวลาในการบด 15 นาที	ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm	50.49%
------------------------	---------------------------------	--------

เพราะฉะนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อให้สินแร่ผ่านตะแกรงขนาด 53 μm 85% ใช้เวลาในการบด 28 นาที 13 วินาที

การคำนวณหาปริมาณโซเดียมไซยาไนด์เพื่อใช้ในการวิจัย

$$A * \frac{0.05}{100} = X$$

A คือ น้ำหนักของสารละลาย มีหน่วยเป็น กรัม

$$500 \text{ ppm} = 0.05\% \text{ เพราะฉะนั้น มีค่า } \frac{0.05}{100}$$

ตัวอย่าง

สารละลายหนัก 3939.14 กรัม

$$\text{เพราะฉะนั้น } 3939.14 * \frac{0.05}{100} = 2.00 \text{ กรัม}$$

ตัวอย่าง

เมื่อไตเตรดหาความเข้มข้นของไซยาไนด์แล้วมีค่า 260 ppm หรือ 0.026 เพราะฉะนั้นสามารถหาปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ที่จะต้องเติมเพิ่มหาได้จาก

$$X - (B * \frac{C}{100}) = D$$

B คือ น้ำหนักของน้ำโคลน (slurry)

C คือ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ได้จากการไตเตรด มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

D คือ ปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ที่ต้องเติมเพื่อให้มี โซเดียมไซยาไนด์ 500 ppm

$$2 - (3939.14 * \frac{0.026}{100}) = 0.98 \text{ กรัม}$$

เพราะฉะนั้นจะต้องเติมโซเดียมไซยาไนด์ 0.98 กรัม

การคำนวณหา %Recovery

$$\% \text{Recovery} = \left(\frac{E - \text{หางแร่ในของแข็ง}}{E} \right) * 100$$

E คือ หั้วแร่ที่ได้จากการคำนวณหาได้จากสูตร

$$E = \frac{F}{\text{น้ำหนักแร่ป้อน}}$$

F คือ น้ำหนักรวมของแต่ละหน่วย ซึ่งหาได้จากสูตร

$F = (\text{หางแร่ในของแข็ง} * \text{น้ำหนักแร่ป้อน}) + (\text{หางแร่ในของเหลว} * \text{น้ำหนักของสารละลาย})$

ตัวอย่าง

$$F = (0.55 * 1382) + (0.53 * 2503) = 2061.7$$

$$E = \frac{2061.7}{1382} = 1.49$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } \% \text{Recovery} = \left(\frac{1.49 - 0.55}{1.49} \right) * 100 = 63\%$$

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

**Leaching kinetics of sulfide gold ores from Tungkum Mine,Loei Province
5th IWCERT : International workshop and conference on Earth resources
technology, Heritage Hotel, Ipoh, Malaysia**

Leaching kinetics of sulfide gold ores from Tungcum Mine Loei Province

Wanussanun Penthong, Pitsanu Bunnaul, Kalayanee Kooptarnond
Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112

Email: wanus_nun@hotmail.com, pitsanu.b@psu.ac.th, kalayanee.k@psu.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the kinetics of cyanide leaching of sulfides gold ore from Tungcum mine in Loei Province, Thailand. Gold ore samples collected from sulfide zones were crushed, blended and stocked for the entire study uses. The stocked ore sample contained 1.19 ppm Au, 19487 ppm Cu and 42.5% Fe. Cyanide leaching tests were done in a rolling bottle. Leaching of 3 different sizes of ground ore were studied being 85% passing 75, 53 and 38 microns. Initial pH and cyanide concentration were 11.5 and 500 ppm respectively. Samples were taken at various leaching time intervals up to 56 hours. Dissolved oxygen, pH and residual CN^- concentration in the liquid fraction were monitored. Au, Cu and Fe contents were analyzed for both solids and liquid fraction. The leaching tests were done at 3 different %solids; 35, 40 and 45% by weight. Kinetics evaluation showed that the leaching process conformed well to both first and second order rate equation. Coarser ground ore (75 microns) was leached at higher rate than was the finer ores. Percent extraction of gold was also surprisingly found to be higher for the coarser ground ore. Up to 87% gold extraction could be achieved for the 85% passing 75 microns ore whereas only 57-68% extraction was for the 85% passing 38 microns.

Key words: Kinetics, Cyanide leaching and Sulfide gold ores.

1. Introduction

Gold ore at Tungcum mine is a skarn type [1]. Gold is disseminated in sulfide ore. Sulfide ore occurs both as massive sulfide and disseminated in skarn rock. Major sulfide minerals are pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite and bornite. Average grade of sulfide ores is 3.58 g/ton Au, 1.2 g/ton Ag and 3150 g/ton Cu. Oxidized ore is also present at the top part of the deposit in the form of oxidized skarn and gossan.

Cyanide leaching is adopted in Tungcum gold mine in Loei Province, Thailand to recover gold and silver from both oxide and sulfide gold ore. When leaching ore from oxide zone, the ore is ground to the size finer than 106 microns. Finer ground ore down to -53 microns is designed for the treatment of gold ore from sulfide zone due to its slower rate leaching. However, there are varieties of mineralogical zone in Tungcum gold deposits which may exhibit different leaching

kinetics. A study on kinetics of cyanidation of gold from sulfide zone should help us understand the rate behavior of the process and be well prepared for proper process adjustment in future.

2. Experimental procedure

2.1 Sample preparation

Around 500 kilograms of sulfide gold ore sample was collected from T1 high-grade and low-grade mining faces. A laboratory jaw crusher and a rolls crusher were used to crush and grind the ore sample down to the size finer than 10 mesh. The ground ore was then divided into approximately 2-kg samples which were stored in sealed plastic bags in order to avoid further oxidation. Metal content in the stocked samples is 1.19 ppm (or g/ton) Au, 19487 ppm Cu and 42.5 % Fe by weight.

2.2 Final grinding prior to leaching test

A 2-kg bag of stocked sample was wet ground in a laboratory rod mill to prepare slurry at a desired particle size and percent solids. Standard grinding time required to produce different particle size of samples for different % solids according to pre-trial experiments was listed in Table 1.

Table 1. Standard grinding time (minutes)

% Solids	85% passing size (microns)		
	38	53	75
35	34	27	24
40	49	36	25
45	71	49	28

2.3 Leaching test procedure.

Leaching tests were performed in a 4.5-lit rolling bottle. Conditioning of final ground slurry was done in the rolling bottle for 4 hours. Slurry pH was adjusted to 11.5 by lime addition. Oxygen was sparged into the rolling slurry via a plastic tube through out the 4-hr conditioning period.

After 4-hr conditioning, the dissolved oxygen (DO) and pH were measured and readjusted. A certain amount of sodium cyanide was added to the bottle to make around 500 ppm cyanide residual concentrations in the bottle before the start of leaching process.

The rolling bottle was stopped for sample taking at the following time intervals; 1, 2, 3, 4, 8, 20, 32, 44 and 56 hours. Measurement of DO and pH and titration for residual cyanide concentration in the liquid fraction were done at every sampling time. Certain amount of lime and sodium cyanide may be added to keep the pH at around 10.5-11.5 and residual cyanide concentration at 500 ppm. Both liquid fraction and solid fraction were sent for the analysis of Au, Cu and Fe content. Fire assaying technique was used for gold analysis while XRF was used for Cu and Fe.

3. Results and Discussion

Results of metal extraction or metal leached into liquid fraction as a function of leaching time for the leaching test at 45 % solids are shown in Figure 1-2. Not all the data can be shown in this paper. However, selected data read from all time-% extraction curves are listed in Table 2.

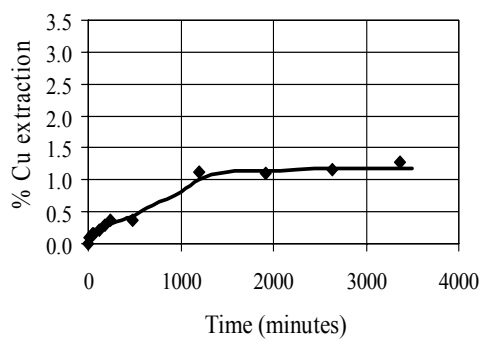
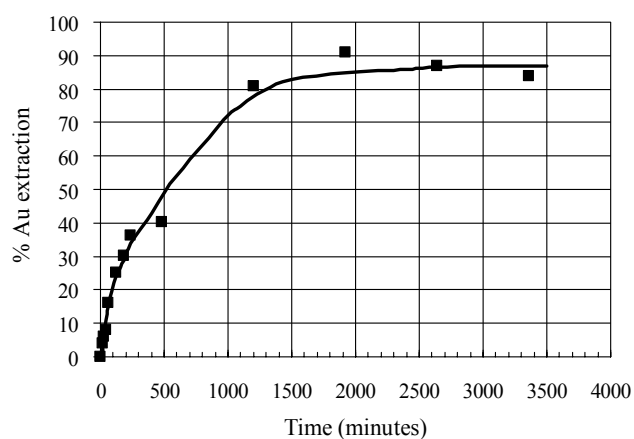
Although finer ground samples are expected to be leached at a greater rate, the results of this study surprisingly show greater rate of leaching and greater % Au extraction for coarser ground sample and at the highest solids concentration (45 %). It can be seen in Table 2 that % extraction of gold for the sample with 85% passing size 75 microns is as high as 87% at 45% solids and 81% at 35% solids. On the other hands, gold extraction for the sample with 85% passing size 38 microns leaching at 45% solids is only 58% .

Having examined Table 2 and Figure 1-2 , Fe leaching seems to be the only convincing reason why leaching of finer ground samples is poorer than the coarser ones. For all three solids concentrations, % Fe extraction both at 500 minutes and 1000 minutes leaching is higher for the finer ground sample. Gold, copper and iron are leached to the solution in forms of metal cyanide complexes; $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ and $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ [2][3]. Since iron (42.5%) and copper content (19487 ppm) in ore sample is very far greater than gold (1.19 ppm), high extraction of iron or copper will consume a great amount of cyanide. Not enough cyanide is left for leaching gold for the 85% passing size 38 and 53 microns comparing to the 75 microns. More cyanide addition may be necessary for the leaching of finely ground ore. Unfortunately, leaching test at higher cyanide loading has not been done to support this discussion. It can be concluded from the present results that grinding sulfide ore to finer than 85 % passing 75 microns is not necessary for Tungsum gold ore. However, more detail study is required to clearly understand the results of the present study.

For rate equation plot (Figure 3), gold leaching for Tungsum ore seems to conform well to both first and second order rate equation.

Table 2. % Extraction at 500 and 1000 minutes leaching

% Solids	85% passing Size, microns	500 minutes			1000 minutes			Max. % Au Extraction
		Au	Cu	Fe	Au	Cu	Fe	
35	38	44	1.08	0.12	59	1.20	0.16	68
	53	44	0.7	0.08	64	1.60	0.12	72
	75	49.5	0.65	0.045	70.5	0.95	0.065	81
40	38	41	1.06	0.14	50	1.17	0.22	57
	53	42	1.02	0.05	62	1.22	0.10	82
	75	57	0.55	0.045	76	0.94	0.055	80
45	38	32	0.45	0.08	49	0.90	0.12	58
	53	40.5	0.85	0.06	56	1.10	0.09	64
	75	49	0.45	0.05	72	0.82	0.08	87



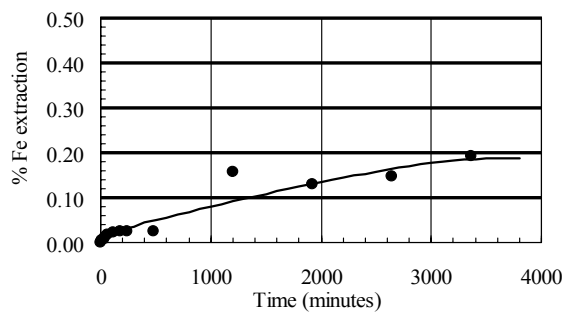


Figure 1. Metal extraction for the leaching of 85% passing 75 microns ore at 45 % solids

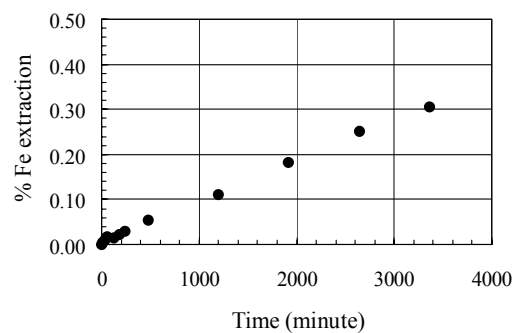
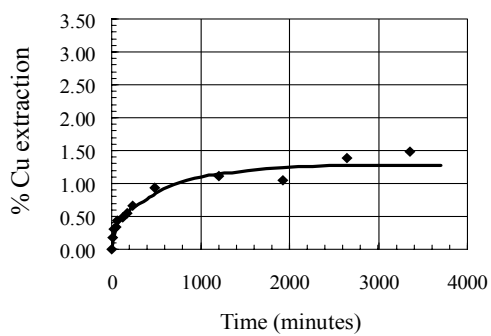
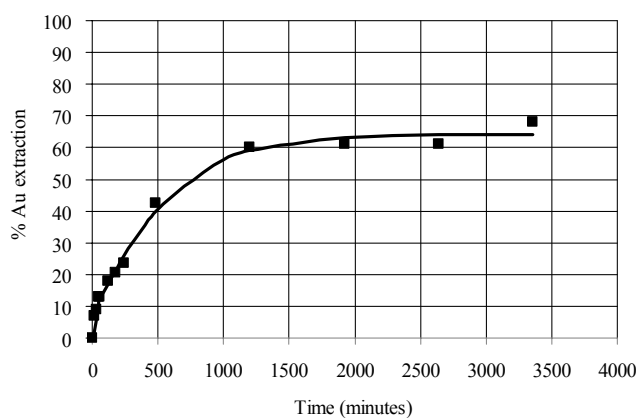


Figure 2. Metal extraction for the leaching of 85% passing 53 microns ore at 45 % solids

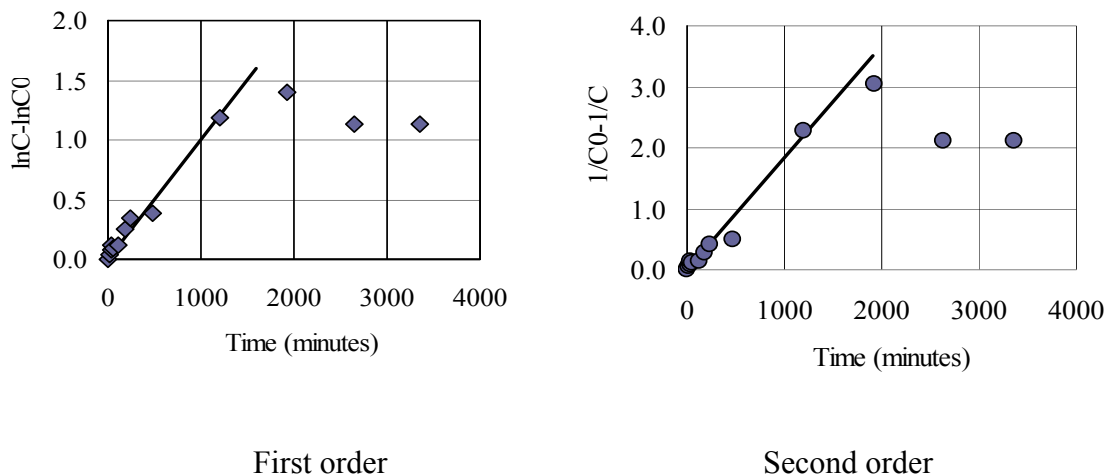


Figure 3. Rate equation plot for the leaching of 85% passing 53 microns ore at 35 % solids

4. Conclusion

Leaching of the 85% passing 75 microns occurs at the greater leaching rate and yields higher gold recovery than the finer ground ore. More cyanide addition may be required for leaching the finer gold ore. The leaching process conforms well to first and second rate equation.

5. Acknowledgement

The authors would like to acknowledge Tungcum Mining Co. Ltd for their full research support including laboratory, instruments set up, ore, reagents, chemical analysis and assaying, and living allowance for a student. Sincere thanks to Mr. Chidchanok Verudit, Ms Tipwadee Petchote and Mr. Teerayut Wongwiriyasakul for their kindly and great support and valuable guidance. Thanks also to engineers, scientists and technicians at Tungcum plant and laboratory for their kind assistance. Finally, partial supports form the Graduate School and the Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University are much appreciated.

6. References

1. Tungcum Mining Co. Ltd. 2009. Mining project proposal applied for mining lease permission. (In Thai).
2. Osseo-Asare , K., Xue, T. and Ciminelli, V.S.T. 1984. In Precious Metals: Mining, Extraction, and Processing, edit. V. Kudryk, D.A. Corrigan and W. Liang, pp. 173-197. Metall. Soc, AIME, Warrendale, Pa.

3. Osseo-Asare, K., Afenya, P.M. and Abotsi, G.M.K. 1984. In Precious Metals: mining, Extraction, and Processing, edit. V. Kudryk, D.A. Corrigan and w. Liang, pp. 125-144. Metall. Soc. AIME, Warrendale, Pa.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนันทน์ เพ็ญทอง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210120092

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศึกษ์ก้นฤดูอิสระวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนสนับสนุนงานวิจัยของบริษัททุ่งคำ จำกัด อ.วังสะพุง จ.เลย

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Wanussanun Penthong, Pitsanu Bunnaul, Kalayanee Kooptanond

Leaching kinetics of sulfide gold ores from Tungcum Mine,Loei Province

5th IWCERT : International workshop and conference on Earth resources technology

Heritage Hotel, Ipoh, Malaysia