

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ขวัญชัย ลีเฝ้าพันธุ์. การแต่งแร่ 2. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530 .

ทรัพย์ากรธรณี , กรม . คู่มือการซื้อขายแร่ของกรมทรัพย์ากรธรณี . กรุงเทพมหานคร : กรมทรัพย์ากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม , 2517 .

ฉดับ ปัทมสุต . การลอยแร่เฟลด์สปาร์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิกกรณี บ.อรรณุนิอินเตอร์เนชั่นแนล . บทความจากการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม 3 สถาบัน , พัทยา ชลบุรี , 2542 .

ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ . การวิจัยการแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียกและการลอยแร่ . กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2533 .

สถาพร อารีย์กุล . การลอยแร่เฟลด์สปาร์ในโรงแต่งแร่ . เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2544 .

สุจิตร พิตรากุล . วิชาแร่ Systematic mineralogy . เชียงใหม่ : ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2534 .

สุจิตร พิตรากุล . แหล่งแร่และแร่ในอุตสาหกรรม . เชียงใหม่ : ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2541 .

ภาษาอังกฤษ

Kilavuz , F.S., and Gulsoy , O.Y. The effects of metal ions on the selectivity of feldspar-quartz separation . Mineral processing on the verge of the 21st . Turkey , 2000 .


Manser , R.M. Handbook of silicate flotation . England : Warren Spring Laboratory, 1975.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-Ray Diffraction) (รูปที่ ก.1)



รูปที่ ก.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์ (XRD)

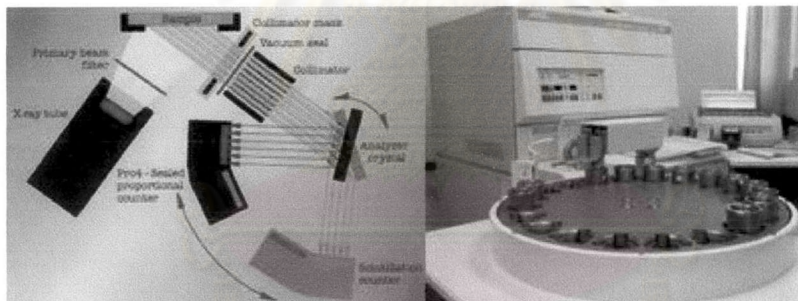
เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-Ray Diffraction) เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในรูปของสารประกอบ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD) ถูกนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าวิจัยสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นฐานรวมทั้งในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ โดยทั่วไปสามารถประยุกต์ใช้ในด้านของธรณีวิทยา ในด้านของเคมีเกี่ยวกับอนินทรีย์สาร ในด้านของฟิสิกส์ ในด้านการค้นคว้าวิจัยอุปกรณ์เครื่องมือ และในด้านของอุตสาหกรรมแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD) สามารถอธิบายได้ คือ ในอะตอมหนึ่งของธาตุใดๆจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือนิวเคลียสและอิเล็กตรอน เมื่อลำอิเล็กตรอนซึ่งเป็น Primary Electron ถูกยิงเข้าสู่ผิววัตถุก็จะเคลื่อนที่ไปชนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสของอนุภาคแล้วสะท้อนกลับออกมา อิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับออกมานี้เรียกว่า Backscatter Electron ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกชนได้รับการถ่ายเทพลังงาน Backscatter Electron ทำให้มีพลังงานสูงกว่าแรงดึงดูดจากนิวเคลียส จึงเคลื่อนที่หลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนตัวนี้เรียกว่า Secondary Electron หาก Secondary Electron เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดจากวงโคจรชั้นในแล้ว อิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกที่มีพลังงานจลน์สูงกว่า ก็จะกระโดดเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมา ซึ่งจะถูกรวบรวมจับโดย

เครื่องตรวจจับสัญญาณและเนื่องจากว่าค่าพลังงานในแต่ละชั้น วงโคจรของในแต่ละธาตุ จะมีค่าเฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับขนาดและรัศมีของวงโคจร จึงสามารถทราบได้ว่าเป็นธาตุใด ในขณะที่เดียวกัน ก็มี Primary Electron บางส่วน ที่ไม่ชนกับอิเล็กตรอนรอบวัตถุเลยและเคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียส จึงถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสเบี่ยงเบนแนวการเคลื่อนที่ให้วิ่งย้อนวนกลับขึ้นมา อิเล็กตรอนส่วนนี้ เรียกว่า Auger Electron

จากสูตร $n\lambda = 2d\sin\theta$ (θ คือ มุมที่กวาดตอนทำ XRD)

ค่าที่สนใจคือค่า d ซึ่งคือ ระยะระหว่างอะตอมในผลึก อันเกิดจากการเชื่อมพันธะ ค่า d เป็นค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ หากทราบค่านี้ก็จะทราบโครงสร้างของธาตุ ทำให้ทราบว่าธาตุที่วิเคราะห์เป็นธาตุใด และจาก $d = \lambda/(2\sin\theta)$ ก็จะสามารถบอกชนิดโครงสร้างของสารประกอบได้ ในการทำ XRD ดังนั้น เมื่อรังสีกระทบตัวอย่าง รังสีจะเกิดการกระจาย จึงต้องใช้ Collimator และ Crystal มาจับให้รวมกันเครื่องตรวจจับจึงสามารถตรวจจับและแปลข้อมูลออกเป็นกราฟได้

ก.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี (X-Ray Fluorescence Spectroscopy : XRF) (รูปที่ ก.2)



รูปที่ ก.2 เครื่องเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี (XRF)

เมื่อปี ค.ศ. 1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-Ray) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1-100 อังสตรอม (\AA) หรือ 0.1-10 nm แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 nm รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หลายๆอย่าง ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้ เครื่องเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรโกปี เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆทีละธาตุ (Sequential) หรือวิเคราะห์หลายธาตุพร้อมกัน (Simultaneous) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คอมพิวเตอร์ และโปรแกรมที่ทันสมัยมีความสามารถสูงได้นำมาใช้ในระบบข้อมูลด้วย ช่วยให้เทคนิคนี้ได้รับ

ความนิยมมากขึ้น ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย เพราะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ทางเคมีได้แทบทุกชนิดของสารตัวอย่างในระดับความเข้มข้นสูงไปจนถึงความเข้มข้นต่ำ บางครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ถึงระดับ Trace Analysis (ppm) ซึ่งวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRF มีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบที่วัดความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion System) และระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV) (Energy Dispersion System) โดยในการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคทาง XRF นั้นมีหลักการและขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการดังนี้ คือ ลำรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอกซ์อยู่) จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆในสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นให้เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิเมเตอร์ (Collimator) เพื่อทำให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือ ไปกระทบกับ Analysis Crystal ซึ่งอยู่ในสเปกโตรมิเตอร์ที่ทำให้เป็นสัญญาณหรือความกดดันต่ำมากๆ Analysis Crystal นี้จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆกัน คล้ายกับเกรตติงทำหน้าที่แยกแสงในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโกปี รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆกันจะถูกวัดความเข้มหรือกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (Scan) ของดีเทคเตอร์ สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมด้วยเครื่อง Printer หรือ Recorder จากข้อมูลที่เก็บได้ทั้งของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้

ก.3 ตะแกรงมาตรฐาน (SIEVE) (รูปที่ ก.3)



รูปที่ ก.3 ตะแกรงมาตรฐาน (SIEVE)

การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานเป็นวิธีที่นิยมกันมาก ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเส้นลวดนำมาสานกันทำให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยมและมักบอกขนาดเป็นเมช (Mesh) ตะแกรงขนาด 10 เมช ซึ่งหมายถึงระยะความยาว 1 นิ้วจะมีช่องรูตะแกรงจำนวน 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกเสียจากเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด

ดังนั้น คำว่าเมช จึงยังไม่ได้บอกขนาดที่แท้จริงของอนุภาคที่ผ่านลอกกรูตะแกรง จนกว่าจะทราบขนาดเส้นลวดที่โรงงานต่างๆนำมาใช้สานทำตะแกรง วิธีง่ายๆอีกวิธีหนึ่งจะทราบขนาดของช่องตะแกรงเป็นเมช ก็คือ เมื่อทราบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดและช่องว่าง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้วนำตัวเลขทั้งสองไปรวมกันแล้วหาร 1 ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นเมช เช่น ตะแกรงมีช่องว่าง 0.0015 นิ้ว และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดเท่ากับ 0.0010 นิ้ว เมื่อนำมารวมกันจะได้ 0.0025 นิ้วเมื่อนำไปหาร 1 จะได้เท่ากับ 400 คือขนาดของตะแกรงนั้นเป็น 400 เมช

ตะแกรงชุดหนึ่งๆ มักจะมีกฎเกณฑ์ขนาดของรูลดหลั่นลงไป ถ้าจะใช้หลักการก้าวหน้าทางเลขคณิต (Arithmetic Series) อย่างง่ายๆ คือ 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 และ 1 นิ้วตามลำดับ จะเห็นว่าหลักนี้ไม่เหมาะสม เพราะว่าอนุภาคขนาด 1 นิ้ว และ 2 นิ้วมีขนาดแตกต่างกันมาก ซึ่งตรงกันข้ามกับอนุภาคขนาด 9 นิ้วและ 10 นิ้ว ซึ่งดูแล้วเกือบจะไม่เห็นความแตกต่าง ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นใหม่โดยหาตัวคูณที่มาคูณ เช่น ใช้ 2 เป็นตัวคูณ ตัวเลขจะออกมาร 8, 4, 2 และ $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นต้น ซึ่งอยู่ในระบบความก้าวหน้าทางเลขคณิต (Geometric Series) แต่ต่อมาได้มีการแก้ไข $\sqrt{2}$ เป็นตัวคูณ และได้กลายเป็นมาตรฐานของตะแกรงที่ใช้กันในประเทศสหรัฐอเมริกาในปัจจุบัน ในงานค้าคว่าบางงานใช้ $\sqrt{2}$ เป็นตัวคูณและทางบริษัทผู้ผลิตได้ยึดเอาตะแกรงขนาด 200 เมช เป็นมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75 ไมครอนหรือ 0.075 มิลลิเมตร

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในงานคัดขนาดทั่วไป จะอยู่ระหว่าง 3 ถึง 400 เมช เป็นส่วนใหญ่ โดยขนาด 400 เมช เท่ากับขนาดของรูตะแกรง 38 ไมครอน (1 ไมครอน = 1/1,000 มิลลิเมตร) สำหรับการคัดขนาดด้วยตะแกรงที่มีรูขนาดเล็กกว่านี้ จะใช้ตะแกรง Micromesh ซึ่งสามารถคัดขนาดได้เล็กถึง 5-10 ไมครอน

การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานนี้ ทำได้โดยการนำเอาอนุภาคของแข็งไปผ่านบนตะแกรงที่มีขนาดต่างๆ แต่หากต้องการคัดขนาดออกมาหลายขนาดก็ต้องวางชุดตะแกรง (Stack of Sieves) เป็นหลายชั้น ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้คัดขนาดจะติดอยู่กับส่วนล่างของโลหะทองเหลืองรูปกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 นิ้ว สูงประมาณ 2 นิ้ว ตะแกรงชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วยตะแกรงขนาดต่างๆมีฝาปิดครอบที่ตะแกรงชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดจะมี Pan รองรับ Pan มีรูปร่างลักษณะคล้ายกับตะแกรงทั่วไป แต่ข้างล่างแทนที่จะมีลวดเป็นตะแกรง กลับเป็นโลหะที่บดสำหรับรองรับอนุภาคที่ผ่านตะแกรงชั้นที่เหนือกว่าไว้ หลังจากการคัดขนาดจะมีอนุภาคค้างอยู่บนตะแกรง เรียกว่า อนุภาคขนาดเกิน (Oversize)

สิ่งที่ควรระวังในการคัดขนาดก็คือ อย่างใช้ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่งๆ เพราะอนุภาคจะเกิดการอุดตันในรูตะแกรงมาก และอาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะทำให้อนุภาคเม็ดเล็กๆเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดไป นอกจากนี้ความชื้นจะต้องมีน้อยที่สุด

ก.4 กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) (รูปที่ ก.4)



รูปที่ ก.4 กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ขยายให้เป็นภาพขนาดใหญ่และมองเห็นรายละเอียดมากขึ้น ปกติตาคนเราจะมีความสามารถในการจำแนกรายละเอียด (Resolving power) เพียง 0.25 มม. ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยจะสามารถแยกแยะรายละเอียดได้ถึง $0.25 \mu\text{m}$ โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงกล้องจุลทรรศน์จะหมายถึงกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical หรือ Light Microscope) ซึ่งสามารถขยายภาพสูงสุดไม่เกิน 2,000 เท่า ใช้ประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้างานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้หลายสาขาวิชา

ส่วนประกอบที่สำคัญของกล้องจุลทรรศน์ ได้แก่

เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของกล้อง ทำหน้าที่ในการขยายและให้รายละเอียดของภาพมากที่สุด เพราะภาพที่มองเห็นจะถูกตั้งหรือไม่ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเลนส์ชุดนี้ โดยทั่วไปคุณสมบัติของเลนส์จะถูกกำกับไว้ที่กระบอกเลนส์

เลนส์ใกล้ตา (Eyepiece) ทำหน้าที่ขยายภาพที่ได้จากเลนส์วัตถุให้มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มรายละเอียดของภาพ เลนส์ใกล้ตามีกำลังขยายหลายขนาด ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ใกล้ตาที่ใช้ถ่ายภาพเรียกว่า Photo Eyepiece โดยทั่วไปไม่นิยมใช้ Photo eyepiece ที่มีกำลังขยายสูงโดยไม่จำเป็นเพราะจะได้ภาพที่มีคุณภาพดีกว่า

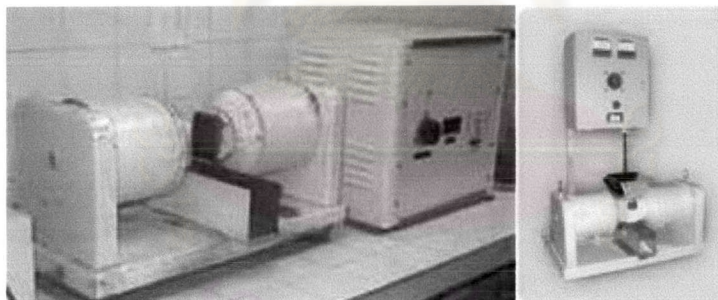
เลนส์รวมแสง (Condenser) ทำหน้าที่รวมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้มีความเข้มและโฟกัสไปยังตัวอย่างเพื่อให้แสงเข้าสู่เลนส์ใกล้วัตถุมากที่สุด เลนส์รวมแสงจะอยู่ใต้แท่นวางตัวอย่าง ซึ่งสามารถปรับให้สูงต่ำได้ ใต้เลนส์รวมแสงยังมีแผ่นปรับช่องแสง (Aperture Iris

Diaphragm) กำจัดแสงที่กระจัดกระจายออกไป สามารถเพิ่มและลดขนาดของช่องแสงให้สัมพันธ์กับเลนส์ใกล้วัตถุเพื่อให้ได้ภาพที่มีความเปรียบต่าง (Contrast) ดีที่สุด

แท่นวางตัวอย่าง (Stage) เป็นแผ่นโลหะมีลักษณะกลมหรือสี่เหลี่ยม มีช่องอยู่ตรงกลางมีหน้าที่รองรับสไลด์ตัวอย่าง มีปุ่มเลื่อนตัวอย่างได้ทั้งแนวแกน x และแนวแกน y บางรุ่นมีสเกลบอกตำแหน่งทำให้ง่ายต่อการหายเมื่อนำสไลด์เก่ามาดูอีกครั้ง

ระบบให้แสง (Illumination) ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ฐานกล้องประกอบด้วยหลอดไฟที่มีไส้ หลอดทำด้วยทั้งสแตน ภายในบรรจุก๊าซฮาโลเจน ได้แก่ ก๊าซไอโอดีนหรือ โบรมีน เพื่อระบายความร้อน ระบบให้แสงมี 2 แบบคือ Critical และ Koehler Illumination โดยระบบ Critical Illumination ระบบนี้ภาพของไส้หลอดจะโฟกัสบนตัวอย่างทำให้มองดูภาพไม่ชัดเจน แม้ว่าจะให้แสงสว่างที่มากกว่าแบบ Koehler แต่แสงจะไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะที่กำลังขยายต่ำ ส่วนระบบ Koehler Illumination ภาพของไส้หลอดจะโฟกัสที่แผ่นปรับช่องแสงได้เลนส์รวมแสง จึงตัดปัญหาเรื่องแสงที่ไม่สม่ำเสมอ

ก.5 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก (High Intensity Wet Magnetic Separator) (รูปที่ ก.5)



รูปที่ ก.5 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก (High Intensity Wet Magnetic Separator)

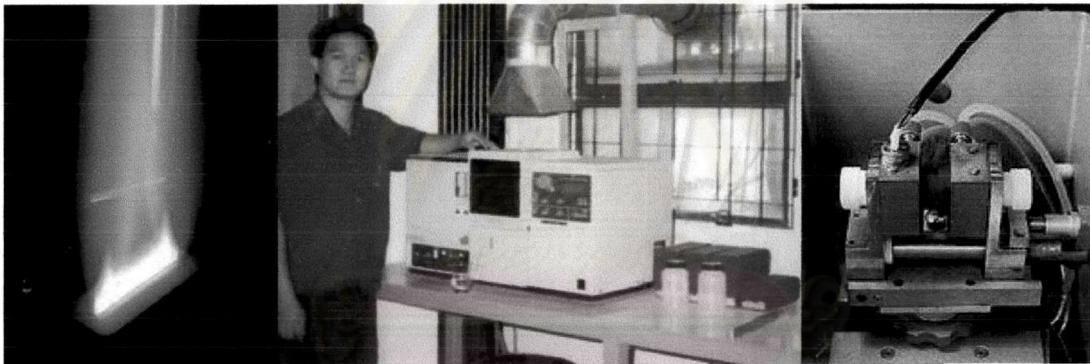
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นต่ำ จะนิยมใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงเท่านั้น และจะใช้ได้ดีกับแร่ที่มีขนาดโตกว่า 74 ไมครอน ส่วนเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกแรงสูงจะสามารถแยกแร่ติดแม่เหล็กได้อย่างอ่อนได้ในช่วงขนาดแร่ช่วงแคบช่วงหนึ่ง

ความสามารถในการแยกแร่จะสูงขึ้นอยู่กับความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) และขนาดของเม็ดแร่นั้นๆ เครื่องมือจะแยกแร่ที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กซึ่งใกล้เคียงกันออกจากกันได้ ดังนั้นแร่ที่นำมาแยกควรมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่แตกต่างกันมากๆ จึงทำให้การแยกได้ผลดี

เนื่องจากปัญหาในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนเม็ดแร่ละเอียดขนาดเล็กกว่า 74 ไมครอน ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งซึ่งในบางกรณีต้องบดแร่ให้ละเอียดเพื่อให้เม็ดแร่หลุดออกจากกันเป็นอิสระซึ่งการบดแบบแห้งอาจมีการสูญเสียแร่เป็นฝุ่นจึงเปลี่ยนมาบดแบบเปียกหรือในบางแผนผังการแยกแร่วิธีการ ทำให้แร่แห้งทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากจึงมีการพัฒนาเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งมาเป็นแบบเปียก

เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นแม่เหล็กสูงแบบเปียก ส่วนใหญ่ใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กในรูปของเหลวหรือพวงสารแขวนลอย เครื่องแยกนี้ในแบบแรกที่มีการพัฒนานั้นมีรูปร่างคล้ายเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งโดยดัดแปลงให้สามารถรับแร่ป้อนในสภาพเปียกได้ ส่วนเครื่องแยกรุ่นหลังๆนี้ได้พัฒนาให้ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำสูงถึง 20000 เกาส์ เป็นต้น

ก.6 เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) (รูปที่ ก.6)



รูปที่ ก.6 เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบ Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบ Atomic Absorption Spectrometer มีหลักการทำงานโดยการทำตัวอย่างหรือสารที่ต้องการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของอะตอม ซึ่งในสภาวะปกติอะตอมจะอยู่ในสภาวะเสถียร (Groundstate) แต่เมื่ออะตอมได้รับพลังงาน (Energy) อะตอมจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะ (Excite State) เมื่ออะตอมเปลี่ยนสภาวะไปแล้วอะตอมที่ได้รับพลังงาน (Energy) จะคล้ายพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่เรียกว่า (Atomic Emission) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอะตอม (Concentration) ที่มี Wave length เฉพาะของธาตุนั้นๆ

เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบ Atomic Absorption จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่คือ

1. Flame Atomizer จะเป็นตัว Burner ทำให้ Solution แตกตัวกลายเป็นอะตอม
2. Hollow Cathod Lamp ส่วนใหญ่จะเป็นหลอดแบบ Multi - Cathode
3. Photo Multiplier จะเป็นตัวคอยวัดความเข้มข้นของแสง

หลักการคือ จะต้องทำตัวอย่างให้เปลี่ยนเป็นรูปของอะตอมโดยการเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลาย (Solution) เสียก่อนแล้วจึงจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ

ก.7 เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่ (Zeta Meter System) (รูปที่ ก.7)



รูปที่ ก.7 เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่ (Zeta Meter System)

เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่ จะใช้เพื่อการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของผิวแร่ใน เจื่อนไซที่ต่างๆ กัน จะต้องใช้กับเม็ดแร่ที่มีขนาด $10^{-7} - 10^{-14}$ เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่จัดอยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ จะทำให้การใช้งานได้ดี

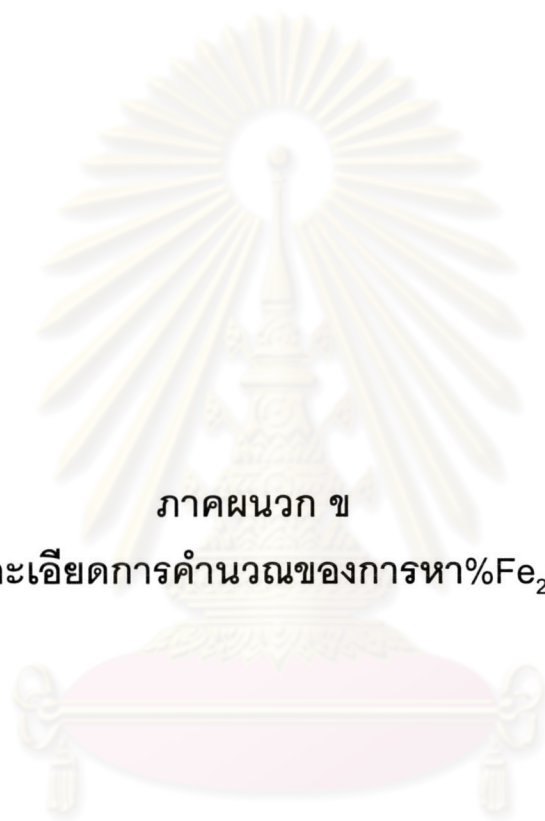
เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่มีส่วนประกอบ คือ กล้องจุลทรรศน์ เครื่องสร้างสนามไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำในระบบป้อนเข้าเครื่องคนสารคอลลอยด์เพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนในของเหลว จอมอนิเตอร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่มีประโยชน์ สำหรับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่โดยค่าที่ออกมาได้จะวัดค่าเป็นหน่วยมิลลิโวลต์ ซึ่งสามารถวัดได้จาก เครื่องนับ (Counter) โดยการวัดค่าออกมานั้นจะเกิดจากการคำนวณโดยมี

ปัจจัยดังต่อไปนี้ ระยะทางที่เม็ดแฉิ่งผ่านหลอดแก้ว ระยะเวลาที่วัดได้เมื่ออนุภาควิ่งผ่านหลอดแก้ว ทิศทางที่อนุภาควิ่งผ่านในหลอดแก้ว ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการเหนี่ยวนำให้อนุภาคเม็ดแฉิ่งมีความเร่งแล้วเคลื่อนที่ จากนั้นแล้วก็จะทำการคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่

ประโยชน์ของศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่นั้นจะนำไปใช้ในการวางแผนเพื่อการแต่งแร่ เช่น การเลือกภาวะความเป็นกรดเป็นด่าง การเลือกใช้น้ำยาปรับสภาพผิว การเลือกใช้น้ำยาเคลือบผิวแร่ การเลือกตัวกลางในการลอยแร่ เป็นต้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

รายละเอียดการคำนวณของการหา%Fe₂O₃

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รายละเอียดการคำนวณของการหาเหล็กออกไซด์

ข.1 ขั้นตอนการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เจือปนของมลทินแร่กลุ่มเหล็กด้วยเครื่อง AAS

ข้อมูลการเตรียมตัวอย่างเพื่อ วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจือปนของมลทินแร่กลุ่มเหล็กของหัวแร่เฟลด์สปาร์ที่ผ่านการแต่งแร่ด้วยวิธี High Intensity Wet Magnetic Separator และการแต่งแร่ด้วยวิธีลอยแร่ โดยใช้ Na-Oleate เป็นสารเคลือบผิว ด้วยเครื่อง AAS มีวิธีทำดังนี้

- ชักตัวอย่างจากแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก มาประมาณ 2 กรัม จดน้ำหนักไว้
- เตรียมถ้วยครุชีเปิดไว้ เพื่อนำแร่มาต้มละลายในกรด HCl เพื่อ Leaching เอา Fe_2O_3 ให้ระงับการกระเด็น จะทำให้น้ำหนักแร่พร่องไปได้
- นำมากรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 และ Make Volume เป็น 500 มิลลิลิตร (0.5 ลิตร) ในขวดรูปชมพู่ เพื่อเอาตะกอนออกไปจะได้ Fe_2O_3 ที่อยู่ในสารละลาย นำไปหาความเข้มข้นกับ สารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้
- นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ บันทึกผลการทดลองไว้ ทำจนครบทั้งสิ้น 8 ตัวอย่างได้ผลดังแสดงในตารางที่ ข.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

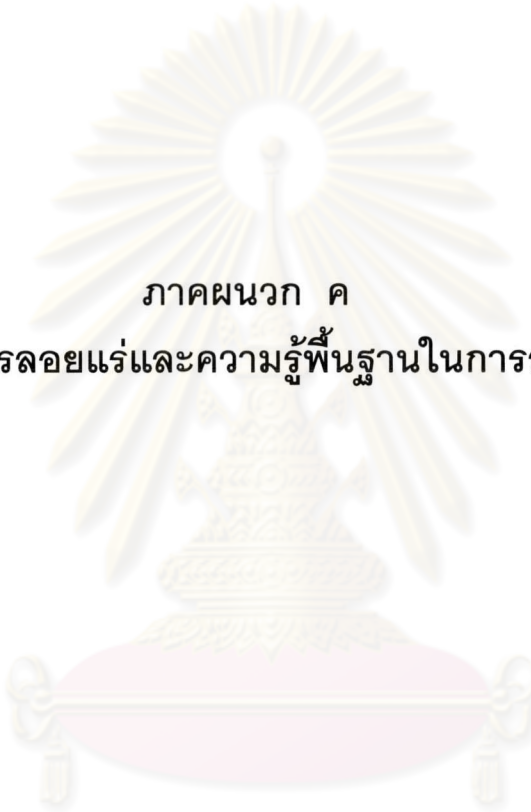
ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจือปนของมลทินแร่กลุ่มเหล็กของหัวแร่
เฟลด์สปาร์ที่ผ่านการแต่งแร่ด้วยวิธี High Intensity Wet Magnetic Separator
ด้วยเครื่อง AAS

%Solid	ตัวอย่าง	น้ำหนัก หัวแร่ (g)	น้ำหนัก HCl (g)	ความเข้มข้น เหล็ก mg / l	% Fe ₂ O ₃	ค่าเฉลี่ย% Fe ₂ O ₃
10%	1	2.04	10.42	3.917	0.0960	
	2	2.02	10.20	3.717	0.0920	0.0940
15%	1	2.04	10.26	3.182	0.0780	
	2	2.08	10.20	3.370	0.0810	0.0795
20%	1	2.02	10.22	3.596	0.0890	
	2	2.06	10.24	3.790	0.0920	0.0905
27%	1	2.02	10.22	5.093	0.1261	
	2	2.04	10.26	4.937	0.1210	0.1235
Feed จากแร่ตัวอย่าง ที่มีการนำไป ผ่านการทดสอบเข้าเครื่อง XRF					0.700	

- ทำตามการทดลองข้างต้น เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจือปนของมลทินแร่กลุ่มเหล็กของหัวแร่เฟลด์สปาร์ที่ผ่านการแต่งแร่ด้วยวิธีลอยแร่โดยใช้ Na-Oleate เป็นสารเคลือบผิว บันทึกผลการทดลองไว้ ทำจนครบทั้งสิ้น 5 ตัวอย่าง ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจือปนของมลทินแร่กลุ่มเหล็กของหัวแร่
เฟลด์สปาร์ที่แต่งแร่ด้วยวิธีลอยแร่โดยใช้ Na-Oleate เป็นสารเคลือบผิว
ด้วยเครื่อง AAS

ความเข้มข้น	น้ำหนักหางแร่ (g)	น้ำหนัก HCl (g)	ความเข้มข้นเหล็ก (mg / l)	% Fe ₂ O ₃
1600 g/ton	2.02	10.12	2.390	0.1183
2000 g/ton	2.04	10.2	1.883	0.0923
2200 g/ton	2.02	10.15	1.850	0.0916
2400 g/ton	2.02	10.14	1.841	0.0911
3000 g/ton	2.03	10.15	1.809	0.089
Feed จากแร่ตัวอย่าง ที่มีการนำไป ผ่านการทดสอบเข้าเครื่อง XRF				0.700



ภาคผนวก ค
ทฤษฎีการลอยแร่และความรู้พื้นฐานในการลอยแร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ทฤษฎีการลอยแร่และความรู้พื้นฐานในการลอยแร่

ค.1 พื้นฐานของการลอยแร่ (ขวัญชัย ลีเฝ้าพันธุ์, 2530)

กระบวนการลอยแร่ เป็นกระบวนการแต่งแร่แบบหนึ่งที่ทำให้เม็ดแร่เกาะตัวกับน้ำหรืออากาศ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแยกแหว่งเม็ดแร่สองชนิดที่มีคุณสมบัติในการเกาะตัวกับน้ำหรืออากาศต่างกันได้ โดยมีวิธีที่พัฒนาการตามลำดับคือ การลอยแร่ที่ผิวหน้า (Skin Flotation) การลอยแร่แบบนี้เกิดขึ้นโดยเม็ดแร่เกาะตัวกับผิวหน้าของน้ำ ดังนั้นจึงแยกเอาเม็ดแร่ที่เปียกน้ำได้ ออกจากแร่ที่ไม่เปียกน้ำได้ นอกจากนี้ยังมีวิธี การลอยแร่ในช่องว่างของน้ำกับน้ำมัน (Bulk Oil Flotation) การลอยแร่เกิดขึ้นในชั้นน้ำมันหรือระหว่างชั้นของน้ำและน้ำมัน เม็ดแร่ที่เปียกน้ำก็จะถูกแยกออกจากแร่ที่ไม่เปียกซึ่งเกาะตัวกับน้ำ และปัจจุบันที่นิยมใช้คือ การลอยแร่บนฟองอากาศ (Froth Flotation) การลอยแร่แบบนี้เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน การลอยเกิดขึ้นโดยฟองอากาศพองเอาเม็ดแร่ที่ไม่เปียกน้ำขึ้นมาสู่ผิวหน้าซึ่งสามารถกวาดออกมาได้ การลอยแร่แบบนี้จะเป็นเรื่องที่เป็นจุดมุ่งหมายในการกล่าวถึงต่อไป

ค.2 หลักการของการลอยแร่(Principles of Flotation) (ขวัญชัย ลีเฝ้าพันธุ์, 2530)

หลักการของการลอยแร่คือ ความแตกต่างทางคุณสมบัติพื้นผิวด้านเคมี – กายภาพของแต่ละชนิดแร่ ซึ่งได้แปรเปลี่ยนหลังจากการทำปฏิกิริยากับสารเคมี และจะทำให้แร่บางชนิดไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic) การลอยแร่เกิดขึ้นได้เมื่อมีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในเซลล์ลอยแร่ ฟองอากาศจะมีโอกาสเกาะติดกับเม็ดแร่ และมีความคงตัวพอเพียงต่อแรงต่อต้านต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ลอยแร่ นำเม็ดแร่ลอยขึ้นสู่ด้านบนแล้วถูกกวาดออกไปจากเซลล์ลอยแร่ในเรื่องของการลอยแร่มีข้อควรคำนึงอยู่สองข้อคือ

ฟองอากาศจะสามารถเกาะกับผิวเม็ดแร่ได้ ถ้ามันสามารถขับน้ำออกไปจากผิวเม็ดแร่นั้นๆ และจะเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องเมื่อผิวแร่นั้นๆ มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ

ฟองอากาศซึ่งลอยขึ้นมาสู่ผิวหน้าจะสามารถพองเอาเม็ดแร่ไว้ได้ เมื่อฟองอากาศนั้นมีเสถียรภาพ (Stability) มิฉะนั้นแล้วฟองอากาศจะแตกออกและเม็ดแร่จะร่วงลงสู่เบื้องล่างได้อีก

ค.3 การแยกแร่ตามคุณสมบัติของพื้นผิว (ขวัญชัย สี่เผ่าพันธุ์ , 2530)

แร่โดยธรรมชาตินั้นจะมีพื้นผิวที่มีประจุที่มีความต่างกันอยู่แล้วเป็นแต่ละกลุ่ม แต่ถ้าได้มีการจัดแบ่งเป็นหมวดหมู่ที่นิยมใช้กันคือการจัดหมู่ตามกลุ่มแร่โดยแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่คือ

แร่เดี่ยว (Elemental Minerals) : เป็นแร่ที่มีความไม่ชอบน้ำอยู่แล้วเช่นแร่ ทัลก์ :

Natural Hydrophobic : Gold , Sulfur , Graphite , Diamond : Easily Flotable

แร่กลุ่มซัลไฟด์ (Sulfide Minerals) : Galena , Sphalerite , Chalcopyrite ,

Chalcosite : ส่วนใหญ่รู้จักกันดีในกลุ่มแร่พวก Sulfide Ore แร่พวกนี้สามารถแยกออกจากกันได้ผลดีด้วยวิธีลอยแร่ ส่วนใหญ่จะใช้ Collector ในกลุ่มของ Thio Compounds : Xanthates , Dithiophosphate , Dithiocarbonates เป็นต้น

แร่กลุ่มออกไซด์ (Oxide Minerals) : ส่วนใหญ่จะพบแร่เป็นแบบ Mixed

Oxide : Hematite (Fe_2O_3), Rutile (TiO_2)

แร่ซิลิเกต (Silicate Minerals) : โดยแร่ที่ใช้ในการทดลองนี้ก็เป็นแร่กลุ่มนี้

ด้วยนั่นเอง ส่วนใหญ่เป็นแร่ที่เกิดจากส่วน Crust ของผิวโลกโดยทั่วไปแร่ Silicate มักมีขั้วเป็นลบใช้ Collector เป็นพวก Amine – Type

แร่กลุ่มเกลือ (Salt – Type Minerals) : Fluorite , Apatite , Magnesite ,

Scheelite : แร่พวกนี้สามารถลอยได้ผลค่อนข้างดีแต่ต้องเลือกใช้น้ำยาให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่จะใช้พวก Fatty Acid Soaps

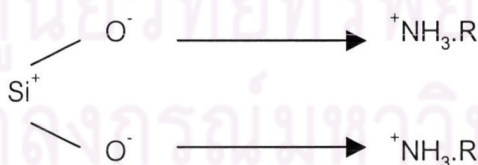
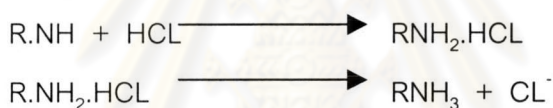
ค.4 ชนิดของสารเคมีในการลอยแร่(ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ , 2530)

สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ มีความจำเป็นอย่างมากในการแต่งแร่วิธีนี้ เพราะต้องมีการปรับสภาพผิวให้แร่ 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันรวมถึงต้องสร้างผิวแร่สมมุติ ขึ้นมาอีก ทั้งยังต้องปรับสภาพผิวของฟองให้มีความแข็งแรงสามารถพาเอาแร่ ติดฟองไปได้โดยจะแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

ค.4.1 สารเคลือบผิว (Collector)

สารเคลือบผิวยังแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆคือ

ค.4.1.1. Cationic Collector : สารเคลือบผิวประเภทประจุบวกเป็นประเภทที่ใช้กับการลอยแร่ซัลไฟด์และโลหะหลายชนิดที่มีอนุมูลของโลหะเป็นส่วนหนึ่งของประจุลบของผลึกแร่ เช่น Tungstates , Chromates , Molybdates เป็นต้น สูตรเคมีของสารเคลือบผิวประเภทนี้โดยทั่วไปก็คือ $R.NH_2$ หรือ $R_1R_2.NH$ ซึ่งจะละลายในกรดและให้ประจุบวกออกมาทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นประจุลบของเม็ดแร่

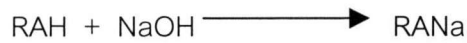


ค.4.1.2. Anionic Collector : สารเคลือบผิวประเภทประจุลบเป็นประเภทที่ใช้กับการลอยแร่ซัลไฟด์ แร่โลหะ แร่ออกไซด์ คาร์บอเนต ซัลเฟต สารเคลือบผิวประเภทนี้ใช้มากที่สุดในการลอยแร่ สูตรเคมีของสารเคลือบผิวประเภทนี้โดยทั่วไปก็คือ

R = กลุ่มอนุมูลอินทรีย์

AH = กลุ่มอนุมูลประจุลบ

เมื่อละลายในน้ำจะเปลี่ยนเกลือต่างซึ่งจะแตกตัวให้ประจุลบ



RA^- จะทำปฏิกิริยากับผิวเม็ดแร่ซึ่งอาจจะเป็น

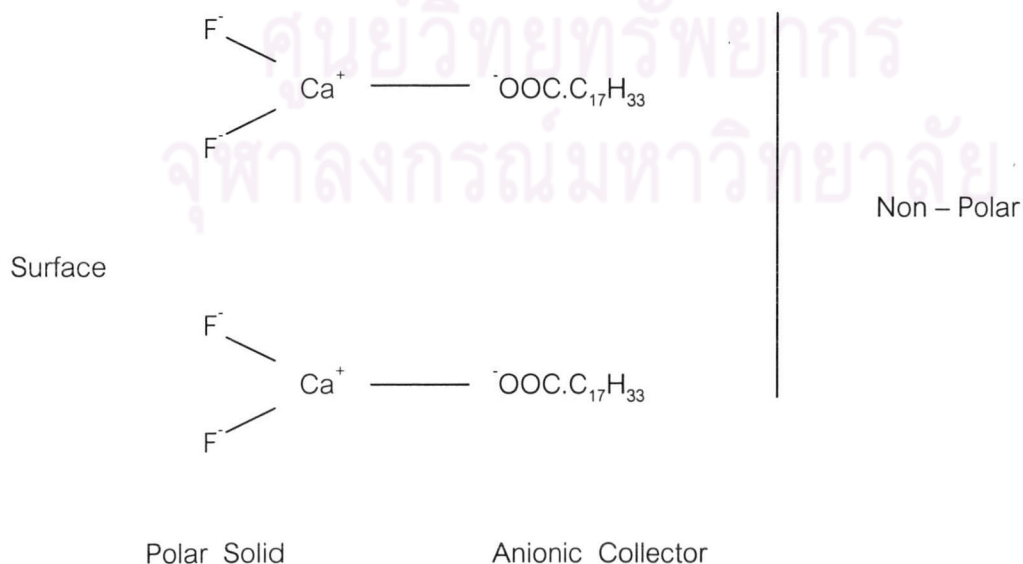
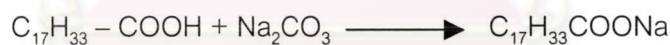
- Electrostatic Attraction ระหว่างประจุลบและประจุบวก
- Adsorption เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของเม็ดแร่

สารเคลือบผิวประเภทนี้ใช้กับแร่ส่วนใหญ่เช่น แร่ซัลไฟด์ แร่โลหะ จำพวกออกไซด์ คาร์บอเนต ซัลเฟต ฯลฯ ตัวอย่างของสารเคลือบผิวประเภทนี้ได้แก่

Oleic Acid , Xanthate ,

Dithiophosphate , Sulphonate

Succinate



ค.4.1.3. Oily Collector : สารเคลือบผิวประเภทนี้เป็นน้ำมันต่างๆ เช่น น้ำมันเครื่อง เป็นต้น สารพวกนี้โดยทั่วไปไม่เฉพาะเจาะจงจึงใช้ในการลอยแร่ในบางกรณีเท่านั้น คือ การลอยแร่ที่เป็น Non – Polar เช่น ถ่านหิน เป็นต้น

ค.4.4.2 สารเคลือบฟอง (Frother)

สารเคมีที่ใช้เป็นสารเคลือบฟองส่วนใหญ่จะมีสูตรทางเคมีคือ R.OH เช่น น้ำมันสน (Pine Oil) , ครีโอสต (Creosote) , MIBC : แต่ปรากฏว่ามีสารเคลือบผิวบางตัวมีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบฟองด้วยเหมือนกันเช่น กรดโอเลอิก (Oleic Acid) ซึ่งถ้าใช้เป็นสารเคลือบฟองโดยตรงจะทำให้เสถียรภาพมากเกินไปจนทำให้การไหลหรือการเคลื่อนย้ายถ่ายเททำได้ลำบาก ฉะนั้นสารเคลือบฟองที่ดีควรจะ

- มีอำนาจการเคลือบผิว (Collecting Power) น้อยที่สุด
- ทำให้ฟองมีเสถียรภาพที่จะพองเม็ดแร่ลอยขึ้นมาได้แต่ไม่เหนียวจนเกินไปจนยากแก่การเคลื่อนย้ายถ่ายเท

ค.4.4.3 สารปรับสภาพ (Modifying Agent)

สารเปลี่ยนสภาพผิวแร่ (Activator) ใช้เปลี่ยนสภาพผิวเม็ดแร่ให้เหมาะแก่การทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิวเช่น การใช้ปรับสภาพผิวเม็ดแร่สังกะสี (Sphalerite)

สารกดเม็ดแร่ (Depressant) สารเคมีชนิดนี้จะทำให้

- ผิวของเม็ดแร่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิว
- สารเคลือบผิวที่เคลือบอยู่ก่อนแล้วหมดประสิทธิภาพ

สารเคมีที่ใช้กดเม็ดแร่อาจจะแบ่งได้เป็น 2 อย่างคือ

- เกลืออนินทรีย์ (Inorganic Salt) เช่น โซดาไนต์
- ผุ่นอินทรีย์ (Organic Slime) เช่น แป้ง กาวต่างๆ ซึ่งจะเป็นสารแขวนลอย (Colloid) และเคลือบผิวเม็ดแร่ป้องกันไม่ให้นำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิว

สารปรับ pH (pH Modifier) สารเคมีเหล่านี้เป็นกรดหรือด่างธรรมดาทำหน้าที่ 3 ประการคือ

- ควบคุมการแตกตัว
- ควบคุมการดูดซึม
- ควบคุมปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี

ค.4.5 กลไกในการลอยแร่ (Mechanism of Flotation) (ขวัญชัย ดีเผ่าพันธุ์, 2530)

กระบวนการในการแต่งแร่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าระหว่าง 3 สถานะ คือ อากาศ ของเหลว ของแข็ง โดยทั้ง 3 สถานะนี้ จะเป็นตัวช่วยเพื่อให้แร่และมลทินเกิดการลอยหรือจมในตัวกลางที่เป็นน้ำ โดยที่อะตอมบนผิวหน้าของแร่จะต้องอยู่ในสภาพ Equilibrium กับ Surrounding ใน Aqueous solution เพราะฉะนั้นทั้ง สารละลายที่ใช้ในการเพิ่ม ไอออนอิสระ และ สภาพปกติของสารเคมีที่ใช้นั้น จะต้องมีความเข้าใจและสามารถที่จะควบคุมได้

ค.4.5.1 Thermodynamic of Interfaces

Thermodynamic of Adsorption (การดูดซับระหว่างผิวหน้า) ในที่นี้เราจะนำมาอธิบายในส่วนของ การดูดซับระหว่างผิวหน้าของแร่และ Air กับ Water ซึ่งในที่นี้ Thermodynamics จะสามารถควบคุมการเกาะระหว่างเม็ดแร่กับฟองอากาศ โดยใช้หลักการคือ

Enthalpy of A Unit Area of any Surface = Total Surface Energy

Enthalpy : Energy ที่เปลี่ยนไปต่อ 1 หน่วยพื้นที่

Entropy : อัตราความร้อน / อุณหภูมิ

$$\text{สมการ : } E_s = \gamma + T S_s$$

γ = Surface Free Energy / Unit

T = Absolute Temperature

S_s = Surface Entropy / Unit = $-dr/dt$

จากสมการดังกล่าวเราสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ว่าถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้แรงตึงผิวในของเหลวมีค่าลดลง

ค.4.5.2 Adsorption of Interfaces

ในการดูดซับบนผิวหน้าที่เกิดขึ้นจะใช้สมการของ “ Gibbs Adsorption equation ” มาอธิบายโดยใช้

$$\text{สมการ : } dr = -S_s dt - \sum T_i dU_i$$

T_i = Adsorption Density

U_i = Chemical Potential

สมการได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Interfacial Tension กับ Chemical Potential และ Adsorption Density

	-	+	+	+	
	-	-	-	-	
Surface	-	+	+	+	Bulk Uniform Conc.
		-	-	-	-
	-	+	+	+	

Excess = (Adsorption Density) = Concentration

จากสมการและภาพดังกล่าวเราสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ว่าถ้า Ion ถูก adsorbed ที่ผิวสัมผัสของ Air – Water ค่า Adsorption Density = Hydrophobic แต่ถ้า Ion ไม่ถูก Adsorbed ค่า Adsorption Density = Hydrophilic

ค.4.5.3 Electrical Double Layer

การ Adsorption บนผิวหน้าของเม็ดแร่จะถูกควบคุมโดย สภาพทางไฟฟ้าของผิวหน้า ถ้า Ionic Species ถูกดูดซับบนผิวหน้าจะต้องมี Counter Ions ถูกดูดซับด้วยเพื่อ Balance ทางไฟฟ้า ซึ่งในส่วนของ Surface Charge จะวัดหาค่าไม่ได้โดยตรงแต่สามารถวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างผิวหน้าและสารละลายทั้งหมด (Bulk Solution) ได้เรียกว่า ความต่างศักย์พื้นผิว (Surface Potential)

Zeta Potential คือ ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ Shear Plane หรือ Surface Potential (Stern Layer) / Diffuse Layer Zeta Potential เป็นค่าซึ่งสามารถวัดหาค่าได้จริงและจะมีค่าน้อยกว่า Surface Potential เสมอ การเปลี่ยนแปลงของ Zeta Potential ตามสภาวะของสารละลายเป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการต่างๆในด้านการแต่งแร่ และอาจจะถือได้ว่าค่า Zeta Potential ที่วัดได้เป็นค่าของ Surface Potential จุด PZC และ IEP จะเป็นจุดเดียวกันในระบบของสารละลายส่วนใหญ่

PZC (Point of Zero Charge) เป็นจุดที่ Surface Charge = 0 : PZC จะมีความสำคัญเพราะเครื่องหมายของ Surface Charge จะเป็นสิ่งสำคัญ Counter Ions จะถูกดูดซับบนพื้นผิวโดย Electrostatic Attraction

ตารางที่ ค.1 แสดงถึงค่าของ Zero Point of Charge (ZPC) ของแร่แต่ละชนิด

Mineral	PZC	Reference
Augite	2.7	Fuerstenau,M.C.et al.
Bentonite	<3.0	Iwasaki et al.
Beryl	3.1	Smith and Trevedi
Biotite	0.4	Cases
Cassiterite	4.5	Johansen and Buchanan
Chromite	7.0	Palmer et al.
Chrysocolla	2.0	Palmer et al.
Corundum	9.4	Fuerstenau
Cummingtonite	5.2	Iwasaki et al.
Cuprite	9.5	Parks
Diopside	2.8	Fuerstenau
Garnet	4.4	Cases
Goethite	6.7	Iwasaki
Hematite	6.7	Iwasaki et al.
Kaolinite	3.4	Iwasaki et al.
Magnetite	6.5	Iwasaki et al.
Pyrolusite	7.4	Fuerstenau
Quartz	1.8	Fuerstenau
Rhodonite	2.8	Palmer et al.
Rutile	6.7	Purcell and Sun
Tourmaline	4.0	Rice
Zircon	5.8	Cases

*ที่มา:ขวัญชัย ลิเฝ้าพันธุ์ , 2530

ค.4.5.4 การสัมผัสกันระหว่างเม็ดแร่และฟองอากาศ (Mineral Air Bubbles Attachment)

การเกาะกันของเม็ดแร่และฟองอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการลอยแร่โดยมีทฤษฎีที่สำคัญดังนี้

ค.4.5.4.1 Thermodynamics Analysis Particle Attachment

ในการลอยแร่ระบบสองระบบที่ไม่เสถียรได้แก่ ฟองอากาศ และเม็ดแร่ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นระบบเดียวกันที่เสถียรมากขึ้นเป็นระบบเม็ดแร่ ฟองอากาศ ความเป็นไปได้หรือโอกาสในการเกิดกระบวนการเช่นนี้ ประเมินได้โดยอาศัย กฎข้อที่ 2 ของ Thermodynamic กระบวนการหรือปฏิกิริยาใดๆ จะเกิดขึ้นทันทีในทิศทางที่ทำให้เกิดการลดลงของ Free Energy ในระบบใดๆ ในเงื่อนไขเช่นนี้ ระบบจะเสถียรที่สุดเมื่อ Free Energy ต่ำที่สุด Free Energy ได้แก่ พลังงานภายใน (Internal Energy) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นงานได้ที่ อุณหภูมิและความดันคงที่ ในการพิจารณา

$$\text{สมการ : } \Delta W = \gamma_{lg} + \gamma_{sl} > \gamma_{sg}$$

$$\Delta W = \text{Free energy}$$

$$\gamma_{lg} = \text{Surface energy of Liquid - Gas Interface}$$

$$\gamma_{sl} = \text{Surface energy of Solid - Liquid Interface}$$

$$\gamma_{sg} = \text{Surface energy of Solid - Gas Interface}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการนี้ใช้คำนวณจริงไม่ได้ เพราะไม่รู้ค่า Surface Tention ของ Solid – Liquid และ Solid – Gas แต่เราสามารถวัดค่า มุมสัมผัส Contact Angle ได้ ความสำคัญของมุมสัมผัสในการลอยแร่

1. ถ้ามุมสัมผัสมีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่า แร่จะเปียกน้ำโดยสิ้นเชิงการสัมผัสระหว่างอากาศกับผิวเม็ดแร่จะไม่เกิดขึ้นและไม่มีการลอย
2. ถ้ามุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 เม็ดแร่จะเกาะตัวกับฟองอากาศเท่านั้น โดยไม่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง
3. ถ้ามุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 90 การที่เม็ดแร่จะเกาะกับฟองอากาศหรือน้ำมันเป็นไปเท่ากันเราอาจจะแบ่งแร่ออกได้ตามขนาดของมุมสัมผัส

$\theta < 90$ ชอบน้ำ Hydrophillic

$\theta > 90$ ไม่ชอบน้ำ Hydrophobic

ค.4.5.4.2 ความมีขั้วของเม็ดแร่ (Polarity of Mineral Particle)

อะตอมหรือโมเลกุลจะจัดเรียงตัวกันในแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสสารหรือแร่ นั้นๆ โดยมีพันธะที่พิจารณา คือ Electrocovalent Bond, Covalent Bond, Coordinate Bond, Metallic Bond

เม็ดแร่ที่มีการเกาะยึดตัวของอะตอมเป็นแบบ Electrocovalent หรือ Covalent Bond จะเป็นสสารหรือเม็ดแร่จำพวก Polar เพราะจะมีพลังงานอิสระที่ผิว Surface Free Energy สูงและจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้โดยง่ายจึง Polarity ซึ่งจะเพิ่มขึ้นจาก 1 – 5

ตารางที่ ค.2 แสดงให้เห็นระดับความมีขั้วจะเพิ่มขึ้นจากแร่ซิลไฟต์ ซัลเฟต คาร์บอนเนต ฟอสเฟต ออกไซด์ และซิลิเกต

1	2	3	4	5
Galena	Barite	Fluorite	Haematite	Zircon
Stibnite	Gypsum	Calcite	Magnetite	Beryle
Pyrite	Anhydrite	Dolomite	Chromite	Feldspar
Sphalerite		Apatite		Garnet
Covalent		Ionic		

ค.4.6 จลนศาสตร์ของการลอยแร่ (Flotation Kinetics) (ขวัญชัย ลิเผ่าพันธุ์ , 2530)

จลนศาสตร์ของการลอยแร่เป็นเรื่องของอัตราเร็วซึ่งเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการเก็บแร่โดยการลอยแร่ถ้ากวาดเอาหัวแร่ที่ลอยขึ้นมาในช่วงเวลาต่างๆ เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ (% Recovery) และเวลาในการลอยแร่ ซึ่งจะสามารถนำไปประเมินหาขนาดของเซลล์ลอยแร่ได้และเวลายังเป็นปัจจัยสำคัญทางเศรษฐศาสตร์ของการลอยแร่

เมื่อปริมาณเม็ดแร่ที่สามารถลอยได้ลดลงเรื่อยๆ อัตราเร็วในการลอยแร่จะลดลงนั่นคือเมื่อเวลายาวนานออกไปอัตราเร็วก็จะลดลงเรื่อยๆ จนเกือบคงที่ความลาดเอียงของเส้นกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ (% Recovery) และเวลา จะมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ จุดที่เป็นจุดพอดี (Optimum) ก็คือ จุดที่อัตราเร็วเริ่มจะช้าเกินกว่าที่จะยอมรับได้หมายถึงว่าช้าจนทำให้ความสามารถในการลอย (Capacity) น้อยลงและค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้น

ในการลอยแร่ในเซลล์เก็บแร่ขั้นต้นมีจุดประสงค์สำคัญก็เพื่อที่จะเอาแร่ออกมาโดยเร็วที่สุดและมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แร่ที่ลอยได้อาจแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ

1. ลอยได้เร็ว (Fast Floated) ----- Rougher Cell
2. ลอยได้ช้า (Slow Floated) ----- Scavenger Cell

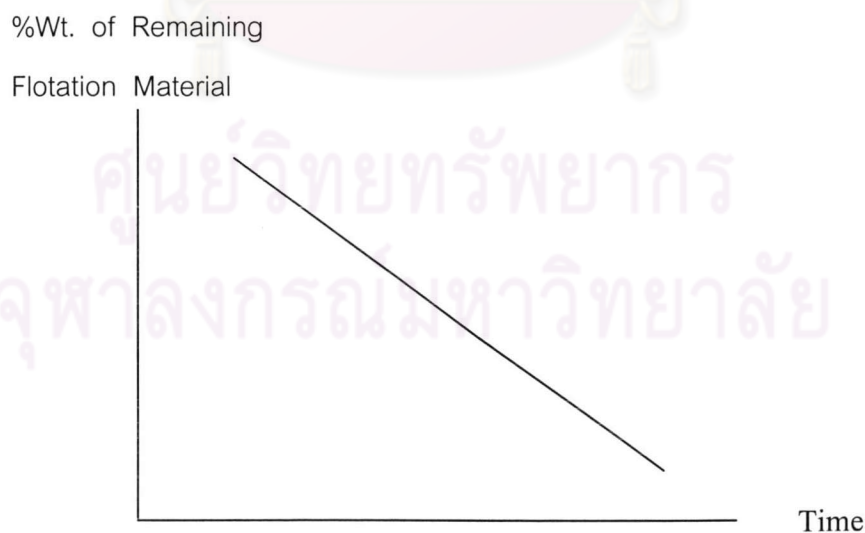
ผลกระทบของขนาดอนุภาค (Effect of Particle Size) การเคลื่อนที่ของอนุภาคเม็ดแร่จะมีพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) เกิดขึ้นถ้าเม็ดอนุภาคมีขนาดใหญ่พลังงานจลน์จะมีมากขึ้นตามตัวเพราะพลังงานจลน์จะขึ้นอยู่กับมวลของเม็ดอนุภาค อย่างไรก็ตามขนาดของเม็ดแร่จะให้ผลต่อการลอยแร่คล้ายๆกันไปทุกชนิดแต่ไม่ว่าจะให้สารเคลือบผิว (Collector) หรือเครื่องลอยแร่แบบใดๆ

เวลาเหนี่ยวนำ (Induction Time) เมื่อฟองอากาศเริ่มจับตัวหรือชนกับเม็ดแร่จะใช้เวลาช่วงหนึ่งในภาวะเกาะตัว โดยไปไล่ชั้นบางๆของน้ำที่หุ้มอยู่โดยรอบเม็ดแร่และสร้างแรงเกาะติด (Adhesion) เวลาช่วงนี้เรียกว่า เวลาเหนี่ยวนำ (Induction Time) ถ้าเวลานี้สั้นมากๆจะทำให้อัตราเร็วในการลอยแร่เพิ่มขึ้นกระบวนการในการสร้างแรงพยุงของฟองอากาศกับ เม็ดแร่นั้นเกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของชั้นบางๆ (Three Phase System) ชั้นบางๆของน้ำที่อยู่โดยรอบเม็ดแร่และฟองอากาศจะเริ่มเกิดการขับน้ำออกไป เมื่อเริ่มมีการเกาะตัวเกิดขึ้นจนกระทั่งเหลือเป็นชั้นบางมากๆทำให้การเกาะตัวเกิดขึ้นได้โดยสิ้นเชิงและมีมุมสัมผัสที่แน่นอน กลไกนี้จะค่อนข้างสลับซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับหลักการทางเคมีพื้นผิว (Surface Chemistry) มากเวลา

เหนียวน้ำยิ่งขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ (Diffusion Rate) ของสารเคลือบผิวในน้ำและความสามารถในการละลาย (Solubility) เช่น ถ้าสารเคลือบผิวมีองค์ประกอบยาวมากจะมีความสามารถในการละลายต่ำและเวลาเหนียวน้ำจะนานขึ้นดังแสดงในรูปที่ ค.1 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการลอยแร่และปริมาณการเก็บแร่คือเมื่อใช้เวลานานขึ้นจะสามารถเก็บแร่ได้มากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อใช้ระยะเวลาจนถึงจุดหนึ่งก็จะพบว่าปริมาณการเก็บแร่จะเริ่มมีค่าคงที่ และรูปที่ ค.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการลอยแร่และปริมาณแร่ที่เหลืออยู่ในเซลล์ลอยแร่ คือเมื่อใช้เวลานานขึ้นแร่ในเซลล์ลอยแร่จะมีปริมาณน้อยลงไปเป็นลำดับ



รูปที่ ค.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการลอยแร่และปริมาณการเก็บแร่



รูปที่ ค.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการลอยแร่และปริมาณแร่ที่เหลืออยู่ในเซลล์ลอยแร่

ค.4.7 เครื่องลอยแร่ (Flotation Machine) (ขวัญชัย ลิเผ่าพันธุ์ , 2530)

เครื่องลอยแร่แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทใช้อากาศ (Pneumatic) : เครื่องลอยแร่ประเภทนี้ใช้อากาศที่เกิดจากการปั่นป่วนของกระแสแร่ป้อนหรืออากาศที่พ่นเข้าไปโดยตรง อากาศจะถูกทำให้แตกออกเป็นฟองเล็กๆ โดยให้ปะทะกับแผ่นกั้นหรือให้ผ่านแผ่นกั้นที่มีความพรุน โดยทั่วไปเครื่องลอยแร่ประเภทนี้จะให้หัวแร่ที่มีเกรดค่อนข้างต่ำกว่าอีกประเภท แต่ไม่ค่อยจะมีความยุ่งยากในการทำงานและเหมาะกับแร่ป้อนที่มีขนาดค่อนข้างละเอียด อากาศที่ใช้ต้องมีปริมาณมากพอที่จะรักษาสภาวะการเป็นของผสมเนื้อเดียวอยู่ตลอดเวลา

ประเภทใช้กลไกในการหมุนช่วย (Mechanical or Sub – Aeration) : เครื่องลอยแร่ประเภทนี้ใช้อากาศที่พ่นเข้าไปหรือที่ถูกดูดเข้าไป เนื่องจากการหมุนของใบพัดและจะแตกตัวออกเป็นฟองเล็กๆ โดยการหมุนของใบพัดซึ่งประกอบด้วย Stator และ Rotor ที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงประมาณ 1500 – 1700 รอบต่อนาที

สมรรถนะของเครื่องลอยแร่สามารถประเมินได้จาก

1. ประสิทธิภาพในเชิงการแต่งแร่ (Metallurgical Performance) ซึ่งได้แก่ ปริมาณการเก็บแร่ได้ (Product Recovery) และเกรดของหัวแร่ (Concentrate Grade) เครื่องลอยแร่ประเภทใช้ใบพัดกวน (Mechanical) ในแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันน้อยมากแต่จะแตกต่างจากเครื่องลอยแร่ประเภทใช้ลมพ่น (Pneumatic) อย่างเห็นได้ค่อนข้างชัดเจน
2. อัตราการทำงาน (Capacity) เนื่องจากขนาดและรูปทรงของเซลล์ลอยแร่ที่แตกต่างกันทำให้มีอัตราการทำงานเป็นต้นต่อวันต่อหนึ่งหน่วย ปริมาตรแตกต่างกันออกไป
3. การสิ้นเปลืองพลังงาน (Power Consumption)
4. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Maintainance Costs)
5. ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Operating Costs)

ค.4.8 การออกแบบวงจรการลอยแร่ (Flotation Circuit Design) (ขวัญชัย ลีเฝ้าพันธ์ , 2530)

ในการพัฒนาหรือออกแบบวงจรการลอยแร่ นั้น จะต้องรู้คุณสมบัติของแร่ที่ลอยเสียก่อน และรู้ว่าสามารถที่จะทำการแต่งได้โดยการลอยแร่และหัวแร่ที่ได้สามารถขายหรือนำไปถลุงได้ ที่สำคัญที่สุดก็คือการลอยแร่นั้นๆ จะต้องให้ผลตอบแทนคุ้มค่างบเงินลงทุน

การศึกษาเพื่อออกแบบโรงลอยแร่หรือกิจกรรมใดๆ ก็ตามจะต้องประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานเพื่อที่จะหาข้อมูลในการหาความเป็นไปได้ของโครงการนั้น

(Feasibility Study) โรงลอยแร่อาจจะเป็นส่วนหนึ่งของโครงการอุตสาหกรรมเหมืองแร่ขนาดใหญ่ การศึกษาเพื่อออกแบบวงจรการลอยแร่ขั้นต้นก็อาจจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ
 - 1.1 แร่วิทยา (Mineralogy)
 - 1.2 การวิเคราะห์ (Analysis)
 - 1.3 ทดลองลอยแร่ (Flotation – Testing)

ในขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูลต่างๆ ที่บอกถึงความสามารถในการลอยแร่

2. การทดลองในรายละเอียด เพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ
 - 2.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้
 - 2.2 ขนาดของเม็ดแร่
 - 2.3 การแปรปรวนของแร่ป้อน
 - 2.4 การคัดขนาดและการบดในลักษณะวงจรปิด

องค์ประกอบที่สำคัญก็คือ ขนาดของแหล่งแร่ และผลการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ที่จะกำหนดอัตรากำลังผลิตของโรงลอยแร่ และรวมถึงผลกำไรตอบแทนในอัตราที่น่าพอใจ

3. การออกแบบขั้นสุดท้าย , การประเมินค่าใช้จ่าย , การวิเคราะห์ทางการเงิน และเศรษฐศาสตร์
4. ลงมือสร้าง และสั่งซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์

ค.4.8.1 วงจรการลอยแร่ (Flotation Basic Circuit)

เซลล์ลอยแร่จะวางเรียงกันเป็นแถวแต่ละแถวเรียกว่า Bank แร่ป้อนจะเข้าสู่เซลล์แรกของแต่ละแถวแร่ที่มีเกรดสูงจะลอยออกไปก่อนส่วนที่เหลือก็จะลอยออกมาในเซลล์ถัดๆ ไปจนเหลือเป็นหางแร่ไหลออกจากเซลล์สุดท้าย

ความหนาของฟองที่ลอยขึ้นมาในแต่ละเซลล์ก็จะปรับเอาไว้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะในเซลล์แรกๆ จะมีปริมาณแร่ที่ลอยได้มากจึงต้องมีระดับของฟองให้หนาๆ เซลล์ต่อไปจะลดปริมาณลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเหลือ 2-3 เซลล์สุดท้ายจะเป็นพวกฟองที่มีแร่เกรดต่ำ พวกนี้มักจะเป็นเซลล์เก็บแร่ตกค้าง (Scavenger cell) หัวแร่ที่ได้มักจะเป็นแร่คละ (Middling) เสียส่วนใหญ่อซึ่งโดยปกติจะวนกลับเข้าไปกับแร่ป้อนอีกครั้งหนึ่ง


ค.4.8.2 วงจรการบดในการลอยแร่ (Grinding Circuit in Flotation)

ก่อนที่แร่ป้อนจะเข้าสู่เครื่องลอยแร่จะต้องผ่านวงจรการบดแร่เพื่อให้เม็ดแร่หลุดแยกเป็นอิสระจากมลทินและให้มีขนาดเหมาะสมกับการลอยแร่ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำคัญ ขั้นตอนหนึ่งที่จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของการลอยแร่ วงจรการบดที่เหมาะสมสำหรับการลอยแร่ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ควบคุมไม่ให้เกิดการบดมากเกินไป (Overgrinding)
2. สามารถได้แร่จากการบดมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอในช่วงแคบๆ (Closed Sizing)
3. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

การลอยแร่ในปัจจุบันมักจะยึดหลักว่าลอยเอาแร่ออกที่ขนาดเม็ดใหญ่ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ซึ่งมีผลดีคือ

1. ค่าใช้จ่ายในการบดต่ำ
2. ปริมาณการเก็บแร่สูงเพราะไม่มีการสูญเสียเนื่องจากฝุ่นแร่
3. มีเม็ดแร่ที่ละเอียดเกินไปน้อย
4. ลดขนาดของเครื่องกรองหรือถังกรอง (Filter and Thickener)



ภาคผนวก ง
รายละเอียดการเตรียมน้ำยาละลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

รายละเอียดการเตรียมน้ำยาลอยแร่

ง.1 การเตรียมน้ำยาลอยแร่และตารางเทียบหน่วยของความเข้มข้นของสารละลาย

น้ำยาลอยแร่ที่ใช้เป็นน้ำยาเคลือบผิวแร่และน้ำยาปรับสภาพผิวแร่โดยในการทดลองนี้ใช้เพื่อเป็นตัวแปรควบคุม เพื่อแปรผันค่าความเข้มข้นในการทดลองประกอบไปด้วย Na-Oleate และ Lead(II)Nitrate ซึ่งในการทดลองมีวิธี การเตรียมสารละลายดังต่อไปนี้

- น้ำยาเคลือบผิวแร่ Na-Oleate โดยการเตรียมใช้ 100 กรัม Na-oleate/1000 กรัม น้ำ จะได้สารละลาย 10 % Na-Oleate โดยน้ำหนัก
- น้ำยาปรับสภาพผิวแร่ Lead(II)Nitrate โดยการเตรียม 10กรัม Lead(II)Nitrate/ 200 กรัม น้ำ จะได้สารละลาย 5 % Lead(II)Nitrate โดยน้ำหนัก

เมื่อนำไปใช้กับการลอยแร่ ซึ่งแร่ที่ใช้ในการลอยแร่ใช้ต่อครั้งละ 500 กรัมเพื่อให้เกิดความสะดวกเลยจัดสร้างตารางคำนวณระหว่างหน่วย การใช้น้ำยาเป็นปริมาณมิลลิลิตรเมื่อเทียบเป็นการใช้น้ำยาเป็นปริมาณ กรัมต่อตันแร่ โดยได้แสดงดังตารางที่ ง.1 ดังนี้

ตารางที่ ง.1 แสดงปริมาณน้ำยาที่ใช้ในหน่วยมิลลิลิตรต่อแร่ 500 กรัม เป็นหน่วยน้ำยาที่ใช้ในหน่วย กรัมต่อตันแร่

Na-Oleate 10 % (ml)	Na-Oleate กรัม/ตันแร่	Lead (II) Nitrate 5% (ml)	Lead (II) Nitrate กรัม/ตันแร่
1	200	1	100
3	600	2	200
5	1000	3	300
8	1600	4	400
10	2000	5	500
12	2400	7.5	750
15	3000	10	1000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศิโรตม์ ศิริลักษณ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2522 สถานที่เกิด จังหวัด เชียงใหม่ จบการศึกษาระดับมัธยมปลายโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2540 และจบการศึกษาระดับอุดมศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเหมืองแร่ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อ พ.ศ. 2543 ในภาคการศึกษาต้นและเข้าศึกษาต่อปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเหมืองแร่ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2543 ในภาคการศึกษาปลาย ในปีเดียวกัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย