

รายงานการวิจัย

เรื่อง



การออกแบบและสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์
Design and Construction of Flotation Column, Pilot scale

โดย

เล็ก สีคง
สมภาพ บุญล้อม

ศาลากลางจังหวัดสุพรรณบุรี

กมด.

เลขที่	TN 523	NY 2535
เลขที่	ยื่น	017747
	1/4	ส.ค. 2536

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การออกแบบและสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

โดย เล็ก สีคง¹ และ สมภาพ บุญล้อม²

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของโครงการวิจัยนี้คือ ออกแบบและสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ เป็นทรงกระบอกทำด้วยอะคริลิคใส มี 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. และ 10 ซม. สามารถปรับเปลี่ยนความสูงของคอลัมน์และตำแหน่งของช่องป้อนสามารถปรับระดับได้ ความจุของคอลัมน์ 250-300 กิโลกรัม/ชั่วโมง (คอลัมน์ขนาด 15 ซม) ขนาดของฟองอากาศควบคุมโดยเลือกหัวทรายให้เหมาะสม หรือปริมาณสารเคลือบฟองอากาศ เพื่อความเหมาะสมในการลอยแร่ชนิดต่าง ๆ ทดสอบสมรรถนะของเครื่องลอยแร่ โดยการลอยแร่ไฟไรต์ ปรากฏว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ ในการทดสอบลอยแร่แบบ batch ที่สภาวะการลอยที่เหมาะสมจะให้เกรดของหัวแร่ไฟไรต์สูงถึง 97% และ recovery 80% ตัวแปรที่อาจมีผลต่อการลอยแร่ด้วยคอลัมน์ได้แก่ ความยาวของคอลัมน์ ตำแหน่งของช่องป้อน ปริมาณน้ำล้าง ปริมาณฟองอากาศ อัตราการป้อน และเกรดของแร่ป้อน

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร.

² ครู

Design and Construction of Flotation Column, Pilot scale.

by Sikong, L.¹, and Boonlom, S.²

Abstract

The purpose of this investigation was the design and construction of flotation column as a pilot scale column. The column is a cylindrical column made by acrylic plastic. There are 15 cm. dia and 10 cm. dia columns. Length and feed injection location can be adjusted in order to float various kinds of minerals. The capacity of 15 cm. dia column is about 250-350 kilogram per hour. Air bubble size can be controlled by selection of suitable air sparger and/or by amount of frother. The performance of the constructed column was experimentally studied by means of froth flotation of pyrite. It was good result as the grade of pyrite concentrate was 97% with the recovery 80% under the optimum conditions of batch test. Length, feed injection location, wash water addition rate, air flowrate, feed rate and grade of feed ore are found to be the major variables of column flotation.

¹ Asst. Professor, Dr. Eng.

² Instructor

Department of Mining and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
1. บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ในการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.3 ทฤษฎี/แนวทางที่ใช้ในการทำวิจัย	2
2. วิธีดำเนินการวิจัย	12
2.1 แผนงานการดำเนินการ	12
2.2 การออกแบบเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์	12
2.3 การสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์	13
2.4 หลักการทำงานของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์	17
3. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์	17
3.1 การทดลอง	17
3.2 ผลการทดลอง	19
4. สรุป	37
เอกสารอ้างอิง	38

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลของความสูงของคอลัมน์ต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	22
3.2	ผลของตำแหน่งของช่องป้อนต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	23
3.3	ผลของน้ำล้างต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	24
3.4	ผลของปริมาณการไหลของอากาศต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	25
3.5	ผลของอัตราการป้อนแร่ต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	26
3.6	ผลของเกรดของแร่ป้อนต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	27
3.7	ผลของปริมาณสารเคมีลอยแร่ต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์	29

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์	3
1.2	WEMCO/LEEDS column concept	7
1.3	รูปจำลองของ Hydrochem flotation column	8
1.4	แบบต่าง ๆ ของ flotation column	9
2.1	แสดงเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ที่ออกแบบ	14
2.2	แสดงระบบของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์	15
2.3	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอลัมน์	16
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคอลัมน์กับเกรดและ recovery	31
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของช่องป้อนกับเกรดและ recovery	32
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำล้างกับเกรดและ recovery	33
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลของอากาศกับเกรดและ recovery	34
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนแร่กับเกรดและ recovery	35
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างเกรดของแร่ป้อนกับเกรดและ recovery	36

การออกแบบและสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

Design and construction of flotation column, pilot scale

1. บทนำ

การลอยแร่ นับว่าเป็นวิธีการแยกแร่ที่ทันสมัยและได้ผลดีมาวิธีหนึ่ง ได้มีการพัฒนาการลอยแร่ทั้งในด้านเทคนิค น้ำยาลอยแร่ ตลอดจนเซลล์ลอยแร่หรือเครื่องลอยแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิดเซลล์ลอยแร่เชิงกล (mechanical cell) ซึ่งมีในขนาดกานให้อุณหภูมิต่าง ๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการประดิษฐ์เครื่องลอยแร่รูปแบบใหม่ ๆ ออกมา เพื่อลดค่าใช้จ่าย และปรับปรุงประสิทธิภาพในการแต่งแร่ได้แก่ เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ (flotation column) และเจมสันเซลล์ (Jameson cell)

การลอยแร่ด้วยคอลัมน์นับเป็นวิทยาการใหม่ที่สำคัญ และน่าสนใจมากวิธีหนึ่งในอุตสาหกรรมการแต่งแร่ และอาจเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการลอยแร่ ต้นกำเนิดของวิธีนี้มาจากประเทศแคนาดา^{1,2} ซึ่งมีการคิดค้นมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 และยังคงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าการลอยแร่แบบเก่าหรือใช้เซลล์ลอยแร่ ทั้งทางด้านคุณภาพของหัวแร่ (grade) และเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ (recovery) นอกจากนี้ยังสามารถแต่งแร่เม็ดละเอียดได้ถึง 400 เมช ในปี ค.ศ. 1981 ก็ได้มีการนำคอลัมน์มาใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่เป็นครั้งแรกในการลอยแร่โมลิบดีนัมชั้นสะอาด (cleaners) และได้ให้ผลยอดเยี่ยม กล่าวคือ คอลัมน์จำนวน 3 ตัว สามารถใช้แทนเซลล์ลอยแร่ได้ถึง 13 เซลล์ อีกทั้งยังได้หัวแร่ที่มีเกรด และ recovery สูงกว่าการลอยแร่ด้วยเซลล์ลอยแร่ด้วย ด้วยเหตุนี้เองทำให้คอลัมน์เป็นที่ยอมรับกว้างขวางขึ้น สำหรับประเทศไทย ยังไม่มีการใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ในการแต่งแร่ และยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย ดังนั้นภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้พัฒนาต้นแบบขนาดห้องปฏิบัติการขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติการลอยแร่ต่าง ๆ ได้แก่ ทอง และถ่านหิน เป็นต้น และต่อมามีแนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ให้มีขนาดโตขึ้น เพื่อจะได้ศึกษาประสิทธิภาพการลอยแร่ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้น คณะวิจัยจึงได้เริ่มโครงการวิจัยนี้ขึ้น โดยใช้เวลาดำเนินโครงการในเบื้องต้น 1 ปี (2534-2535)

1.1 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

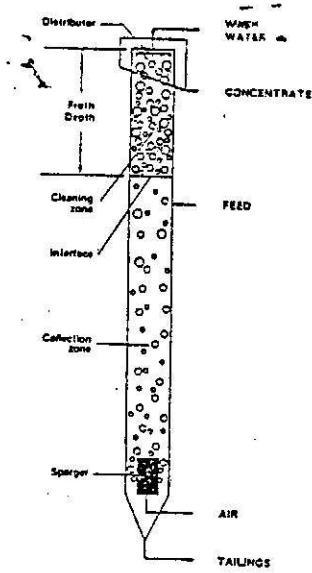
1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์
2. เพื่อศึกษาการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องลอยแร่

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ จะอาศัยแนวความคิดจากผลงานวิจัยที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อผลงานที่เกี่ยวข้องนำมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน และมีลักษณะที่ไม่ซับซ้อน สามารถใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาการลอยแร่ได้ เพราะจะเห็นขนาดเครื่องมือจะเป็นขนาดโรงประลอง (pilot scale) สร้างด้วยวัสดุที่สามารถมองเห็นการทำงานของเครื่องมือ ได้ชัดเจน ได้มีการทดสอบการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ โดยการทดลองลอยแร่บางชนิด นำผลที่ได้มา วิเคราะห์ สรุปผล และเขียนรายงาน

1.3 ทฤษฎีและแนวทางที่ใช้ในการทำวิจัย

รูปร่าง ลักษณะและการทำงานของคอลัมน์จะแตกต่างจากเซลล์ลอยแร่โดยสิ้นเชิง (ดูรูปที่ 1.1 ประกอบ) โดยคอลัมน์จะมีลักษณะเป็นกระบอกยาวตั้งแต่ 1 เมตร ขึ้นไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 2.5 ซม. โดยทั่วไปจะมีสัดส่วนของความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 10:1^[1] คอลัมน์จะไม่มีใบพัดกวนแร่ให้เกิดสภาวะปั่นป่วนเหมือนเซลล์ลอยแร่ การผลิตฟองอากาศโดยให้อากาศผ่านตัวทำฟองอากาศ (sparger) ซึ่งมีรูพรุนละเอียดรอบ ๆ ทำให้ได้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กเท่า ๆ กัน หนึ่งเข้าสู่คอลัมน์ นอกจากนี้แล้ว จะมีการใช้น้ำล้าง (wash water) ฉีดผ่านท่อกระจาย (distributor) หรือหัวฉีดทางตอนบนของคอลัมน์ด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ (flotation column) ^[1]

สำหรับแร่ป้อน (feed slurry) นั้นจะถูกปรับสภาพผิวด้วยน้ำยาเคมีให้มีคุณสมบัติในการลอยดีขึ้นในถังกวน (conditioning tank) ก่อนแล้วจึงป้อนเข้าสู่คอลัมน์ที่ระดับ 0.5-1.5 เมตร ต่ำจากส่วนบนของคอลัมน์ ในคอลัมน์ก็จะประกอบด้วย slurry zone และ froth zone เช่นเดียวกับในเซลล์ลอยแร่ แต่ในคอลัมน์นี้มันจะเรียก slurry zone ว่า collection zone ซึ่งอยู่ใต้ระดับ interface เนื่องจากบริเวณนี้แร่ที่จะลอยจะถูกเก็บโดยการเกาะติดกับฟองอากาศและลอยขึ้นไปเข้าสู่ froth zone หรือ cleaning zone ที่มีน้ำล้างฉีดพ่นทางตอนบนเพื่อช่วยให้หัวแร่สะอาดขึ้น และทำให้ชั้นของแร่ลอย (froth bed) ให้ความหนาและมีเสถียรภาพ และไหลลื่นสู่ที่เก็บหัวแร่ สำหรับหางแร่หรือแร่ที่ไม่ต้องการลอยนั้นจะถูกปล่อยออกทางล่างของคอลัมน์

1.3.1 การพัฒนาเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

Pierre Boutin ^[2] ได้ประดิษฐ์เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ ในปี ค.ศ. 1960 เพื่อใช้ในวงจรการลอยแร่ซิลิกาออกจากเหล็กในขั้นตอน การลอยหยาบ (rougher-scavenger) ซึ่งให้ผลของการลอยดีกว่าเซลล์ลอยแร่แบบดั้งเดิม และจากนั้นได้พัฒนาคอลัมน์ให้มีขนาดโตขึ้นจากเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว เป็น 12 นิ้ว แบบกึ่งควบคุมอัตโนมัติ

ในการลอยลิ้นแร่เหล็กของบริษัทในแคนาดา และต่อมานำมาใช้ลอยแร่ซัลไฟด์ โดย Canadian copper producer ได้ทดลองอย่างได้ผลกับคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 นิ้ว และได้นำไปทดลองลอยแร่ต่าง ๆ อย่างได้ผล แต่ก็ยังมีขนาดเล็กอยู่ ถ้าเทียบกับความต้องการในการผลิตขั้นอุตสาหกรรม จึงพยายามสร้างขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 72 นิ้ว และในปี ค.ศ. 1980 บริษัท Mine Gaspé ได้นำคอลัมน์ขนาด 18 และ 36 นิ้ว ไปลอยแร่โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นแร่ลอยได้ในชั้นละเอียด และเป็นภารนำเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์มาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรก กล่าวคือคอลัมน์จำนวน 3 ตัว สามารถใช้แทนเซลล์ลอยแร่ได้ถึง 13 เซลล์ โดยทำให้เกรดของหัวแร่สูงขึ้น และ recovery เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ เริ่มแพร่หลายมากขึ้นโดยนำไปทดลองใช้ในประเทศชิลี แอฟริกา และยุโรป

D.A. Wheeler^[3,4] ได้สรุปข้อดีของคอลัมน์ไว้ดังนี้

1. สามารถควบคุมอัตราเคมีได้เต็มที่ ที่ภาวะการทำงานต่าง ๆ ข้อมูลที่บันทึกได้จากการไหลจะทำให้สามารถควบคุมทางเคมีโดยผ่านโอเปอเรเตอร์และคอมพิวเตอร์
2. ให้เกรดทางหัวแร่และ recovery สูงขึ้น
3. คอลัมน์ลอยได้เร็วกว่าเซลล์ลอยแร่ และสามารถใช้ได้กับ % solids สูง ๆ
4. อากาศที่ใช้ประมาณ 10-15% ของอากาศที่ใช้เซลล์ลอยแร่ และไม่มีส่วนเคลื่อนไหว ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า
5. ใช้พื้นที่ในแนวราบน้อย
6. การซ่อมบำรุง นาน ๆ ครั้ง เพราะวัสดุที่ทำคอลัมน์ทนทาน
7. ค่าใช้จ่ายในการลอยแร่ต่ำกว่าเซลล์ลอยแร่

G.S. Dobby และ J.A. Finch^[5] ได้เสนอวิธีการใช้ข้อมูลที่ได้จากการลอยแร่โดยคอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการ สำหรับคอลัมน์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่ใช้ในอุตสาหกรรม จะใช้จลนศาสตร์โมเดลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการสำหรับคอลัมน์ขนาดยาว 2 เมตร โดยพิจารณาข้อมูลได้ศึกษาประกอบด้วย 2 โซน คือ collection zone และ cleaning zone ได้ศึกษาสภาวะการผสมใน collection zone ตลอดจนได้นำผลมาสร้างคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 นิ้ว ไปใช้ทดลองที่ Gibraltar Mines ในการลอยแร่ทองแดงชั้นสะอาด

ต่อมา M.H. Moys และ J.A. Finch^[6,7] ได้เสนอวิธีควบคุมเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ โดยสรุปว่า การวัด interface level และอัตราการไหลของน้ำล้างทั้งหมด โดยวัดการกระจายของความร้อนใน froth phase จากการเติมน้ำล้างจะให้ผลที่แม่นยำ จุดประสงค์ของการควบคุมการลอยแร่ในเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ เพื่อให้เครื่องทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวแปรที่จะต้องควบคุมได้แก่ ระดับของ interface level จะต้องเป็นค่าเฉพาะที่เหมาะสม (ถ้าสูงเกินไป cleaning volume และเกรดของหัวแร่จะลดลง ถ้าต่ำเกินไป collecting volume และการเก็บแร่จะลดลง) อัตราการไหลของน้ำล้าง ขนาดของฟองอากาศ (จะถูกควบคุมโดยความหนาแน่นของฟองโดยการเติมสารเคลือบฟองอากาศ) และอัตราการไหลของอากาศ (ถูกควบคุมที่ระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถเก็บหัวแร่ได้มากที่สุด)

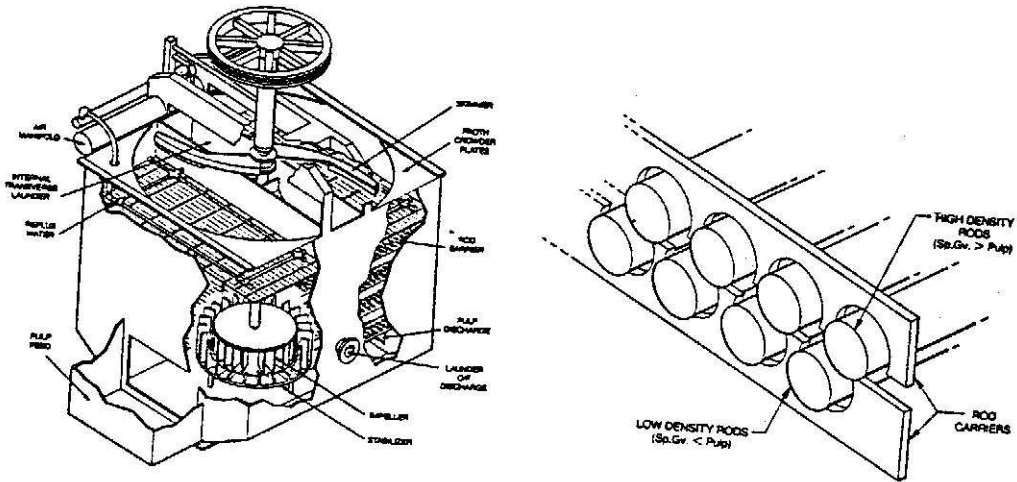
J.B. Yianatos และคณะ^[8] ได้ศึกษาการลอยแร่โมลิบดีนัมในชั้นสะอาดด้วยเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ขนาดอุตสาหกรรม โดยเน้นศึกษา selectivity ใน forth zone ด้วยโมเดลและสรุปว่า froths ลึกกว่า 1 เมตร จะทำให้ recovery สูงขึ้น 10-15% แต่ถ้าน้อยกว่า 50 ซม. จะไม่มี selectivity เนื่องจาก น้ำล้าง (wash water) V.E. Ross และคณะ^[9] ได้พัฒนาโมเดลเพื่ออธิบายพฤติกรรมของอนุภาคแร่และน้ำใน cleaning zone ของคอลัมน์ และกล่าวว่า การเกาะฟองอากาศของอนุภาคขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟองอากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะจาก interface ที่อยู่ระหว่าง collection zone และ cleaning zone โดยได้ศึกษาผลของน้ำล้าง จากการทดลองกับสินแร่ซิลไฟด์ และได้พบว่า อัตราการลอยเข้าสู่ froth zone ของ froths ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์และขนาดของอนุภาคที่เล็กลง A.R. Laplante และคณะ^[10] ได้อธิบายสภาวะการผสมใน collection zone โดยได้ทดสอบผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ และสภาวะการทำงานต่อสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (dispersion coefficient, E) ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ($E \propto D_c^{1.3}$) ตลอดจนได้ศึกษาข้อมูลเปรียบเทียบเซลล์ลอยแร่ด้วย P. Mavros และคณะ^[11] ได้ศึกษาและเสนอโมเดลการผสมของก๊าซ-น้ำ ในคอลัมน์ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญต่อสมรรถนะของคอลัมน์ และพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซจะทำให้การผสมดีขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะทำให้การผสมของก๊าซ-น้ำ ลดลง

R. Espinosa-Gomez และคณะ^[12] ได้ศึกษาข้อจำกัดของความจุของคอลัมน์ (carrying capacity) โดยวัดจากการลอยแร่ที่ Pb/Zn และ Cu ที่ Mt. Isa Mines พบว่า มวลของของแข็งต่อหน่วยเวลาต่อพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ (Ca, กรัม/นาที. ชม.²) มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับขนาดผ่าน 80% ของหัวแร่ และค่า Ca จะน้อยกว่า 4 กรัม/นาที. ชม.² เมื่อขนาดผ่าน 80% เล็กกว่า 15 ไมครอน ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำหรับแร่ที่มีขนาดละเอียด R.L. Amelunxen และคณะ^[13] ได้ใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ฟุต ลอยแร่ Cu/Mo ในชั้นต้น และสรุปว่า ปริมาณของอากาศจะมีผลต่อ recovery ที่ต้องการและให้ประสิทธิภาพที่สูงสุด

ได้มีนักวิจัยหลายคน^[8-11, 14] เสนอโมเดลทางคณิตศาสตร์ และใช้คอมพิวเตอร์ simulate ข้อมูล เพื่อควบคุมการทำงานของคอลัมน์อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

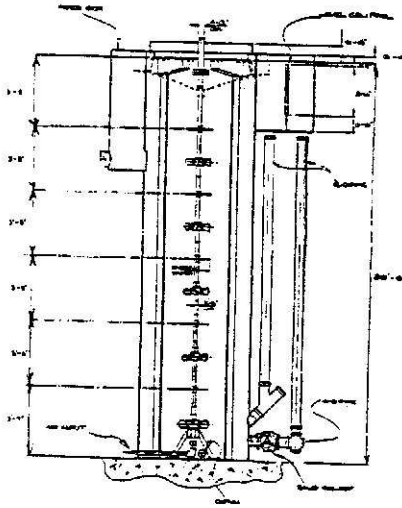
ต่อมาเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ได้ถูกพัฒนาออกเป็นรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้กับงานเฉพาะมากยิ่งขึ้น ทำให้ระบบของการลอยแร่โดยวิธีนี้ถูกพัฒนาไปพร้อม ๆ กัน David C. Yang^[15] ได้พัฒนาระบบลอยแร่แบบ froth bed ที่มีการไหลสวนของน้ำซึ่งใช้ได้อย่างดีกับอนุภาคขนาดละเอียด ในระบบนี้ทำให้อนุภาคและฟองอากาศเกาะติดกันใน packed bed ข้อดีของระบบนี้นอกจากจะใช้ได้กับแร่ละเอียดแล้วยังให้ผลผลิตที่สูง ต้องการพลังงานต่ำ และควบคุมได้ง่าย และคาดว่าสามารถใช้ได้กับสินแร่หลายชนิด ตลอดจนถ่านหิน

Vernon R. Degner และ John B. Sabey^[16] ได้พัฒนาเครื่องลอยแร่แบบ Wemco/Leeds ขึ้นมาเพื่อใช้ในการลอยถ่านหินละเอียด หลักการของเครื่องแสดงดังรูปที่ 1.2 ประกอบด้วยอนุกรมของ baffles ที่ออกแบบอย่างเหมาะสมเพื่อแยกมลทินออกจาก froths ที่เคลื่อนตัวสู่ด้านบนของคอลัมน์ ซึ่งทำให้หัวแร่อลอยมีเกรดสูง



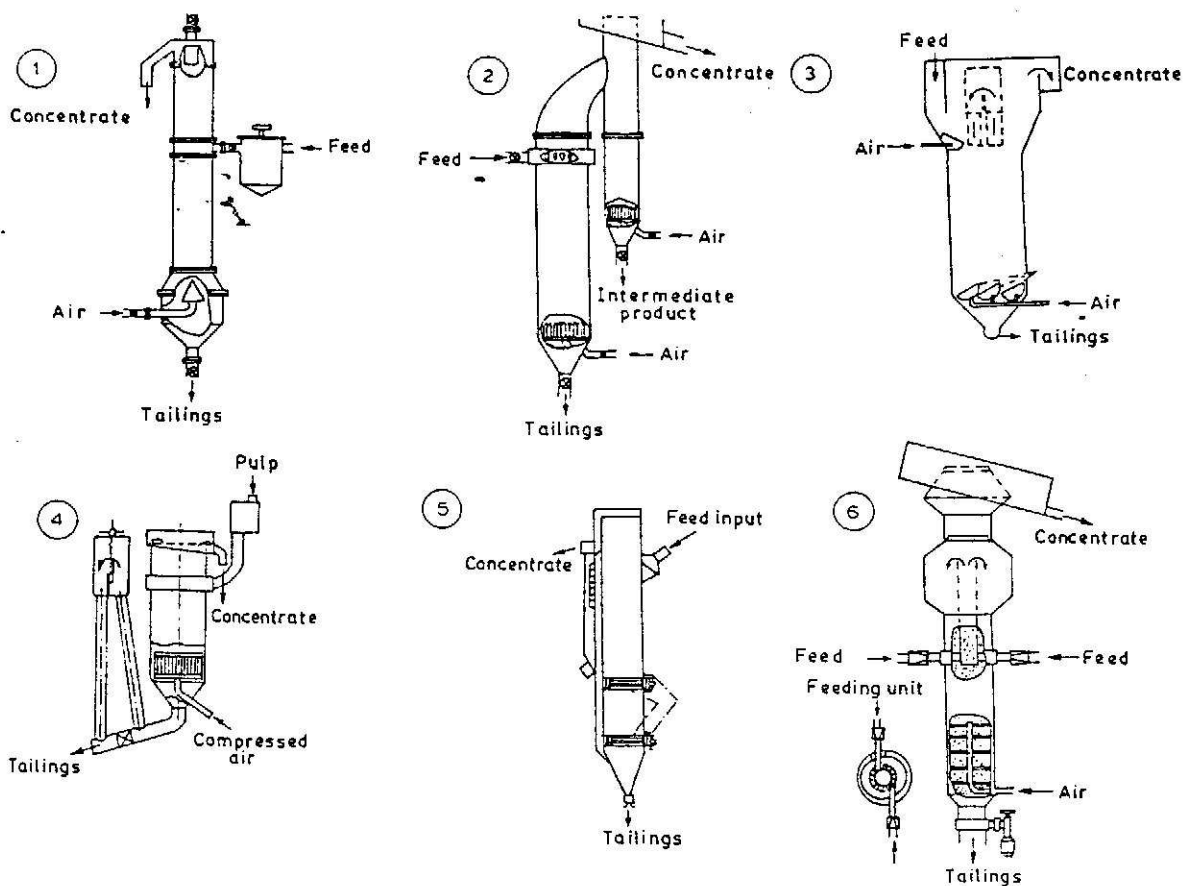
รูปที่ 1.2 WEMCO/LEEDS Column concept^[16]

J.C. Schneider และ G. Van Weert^[17] ได้ออกแบบ Hydrochem flotation column ที่มีลักษณะพิเศษที่มีการกววนในคอลัมน์ (ดังรูปที่ 1.3 ประกอบ) โดยระดับการกววนจะน้อยลงจากส่วนฐานสู่ส่วนบนของคอลัมน์ โดยมีแนวคิดให้เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ที่ส่วนบนของคอลัมน์และเล็กลงไปเมื่อลึกลงสู่ฐานของคอลัมน์ ฟองอากาศขนาดเล็กขนาดประมาณ 0.5-1.5 มม. เมื่อป้อนของผสมเข้าที่ส่วนบนของคอลัมน์ อนุภาคขนาดโตจะเกาะติดกับฟองอากาศซึ่งมีขนาดโต และสามารถลอยสู่ froth ได้ ในขณะที่ในระดับลึกลงไปอนุภาคเล็กก็จะเกาะติดกับฟองอากาศขนาดเล็กกว่า ซึ่งเกิดจากการกววนที่ความเร็วสูงกว่าของเครื่องออกแบบ ซึ่งทำให้การลอยแร่มีประสิทธิภาพดี โดยต้องการปริมาณอากาศที่น้อยกว่า ได้ใช้เครื่องลอยแร่ชนิดนี้ขนาด 100 ตันต่อวันในการลอยแร่ที่ Dickenson Mines Limited, Balmertown รัฐ Ontario



รูปที่ 1.3 รูปจำลองของ Hydrochem flotation column^[17]

G. Bhaskar Raju และคณะ^[1] ได้ดัดแปลงคอลัมน์ โดยใช้เทคนิคของอิเล็กโตรลิติกเซลล์ โดยมีอิเล็กโตรดคือ เหล็กกล้าเป็นแอโนดและทองแดงเป็นคาโทด ประกอบที่ส่วนล่างของคอลัมน์ เพื่อก่อให้เกิดฟองที่มีขนาดเล็กมาก สำหรับลอยแร่ที่มีขนาดละเอียดมากและได้ศึกษาเปรียบเทียบกับคอลัมน์โดยทั่วไป นอกจากนี้ยังได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในการลอยแร่ด้วยการใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ได้แพร่หลายออกสู่ต่างประเทศแคนาดาและมีการพัฒนาที่กว้างขวางขึ้น Weibai Hu และ Guoming Liu^[19] ได้ออกแบบและพัฒนาคอลัมน์ขึ้นในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยได้ออกแบบรูปร่างของคอลัมน์ พื้นที่หน้าตัด และความสูงต่าง ๆ ชนิดของตัวสร้างฟองอากาศเครื่องป้อน และเครื่องนำตัวอย่างที่ลอยแล้วออกจากคอลัมน์ ได้ศึกษาการลอยเปรียบเทียบกับเซลล์ลอยแร่สรุปว่า เวลาใช้ในการปรับสภาพและเวลาในคอลัมน์ของการลอยแร่นานกว่าในเซลล์ลอยแร่ P.S.R. Reddy และคณะ^[20] ได้กล่าวถึงรูปแบบต่าง ๆ และเทคนิคของคอลัมน์ที่ใช้ในการลอยถ่านหินละเอียด (ดูรูปที่ 1.4 ประกอบ) จากการศึกษาการลอยถ่านหินละเอียดขนาดเล็กกว่า 500 ไมครอน โดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 มม. 100 มม. และ 220 มม. พบว่าสมรรถนะของคอลัมน์ดีกว่าเซลล์ลอยแร่



รูปที่ 1.4 แบบต่าง ๆ ของ flotation column. [20]

Graeme J. Jameson^[21] ได้เสนอคอลัมน์แบบใหม่ที่มีขนาดสั้นกว่าคอลัมน์เดิม ซึ่งต่อมาได้ใช้ชื่อว่า เครื่องลอยแร่แบบ Jameson มีลักษณะที่สำคัญ คือ ของผสมป้อนและฟองอากาศสัมผัสกันและผสมกันในส่วนบนของ downcomer ส่วนผสมของอากาศและน้ำไหลลงสู่ด้านล่างเพื่อดันลอยตัวขึ้นในคอลัมน์ด้านล่าง (ดูรูปที่ 1.5 ประกอบ) ฟองอากาศจะลอยขึ้นสู่ส่วนบนของคอลัมน์ และออกที่ส่วนไหลสั้น ซึ่งเป็นช่องออกของหัวแร่ ในขณะที่หางแร่ถูกนำออกจากส่วนล่างของคอลัมน์ ข้อดีของเครื่องลอยแร่แบบนี้ จะลดความสูงของคอลัมน์ลงได้ เหลือเพียง 1 เมตร จากการทดลองใช้ Jameson cell ซึ่งมี downcomer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เมตร สูง 1.1 เมตร ในการลอยแร่สังกะสีที่ Mount Isa Mines Limited เปรียบเทียบกับคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 เมตร สูง 10 เมตร ปรากฏว่าหัวแร่ที่แต่งได้มีคุณภาพใกล้เคียงกัน แต่ residence time ใน Jameson cell เพียง 10 วินาที ขณะที่ในคอลัมน์นานถึง 10 นาที ในปัจจุบัน Jameson cell ก็เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมแต่งแร่มาก^[22]

ได้มีการใช้ในเหมืองหลายแห่ง ในประเทศออสเตรเลีย เช่น ที่ Newlands coal และ Mount Isa Mines นับว่า Jameson cell เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจอีกตัวหนึ่งของการลอยแร่ที่ลดค่าใช้จ่ายทั้ง capital และ operating cost

1.3.2 การลอยแร่โดยใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

ในปี ค.ศ. 1981^[1] ได้มีการนำคอลัมน์มาใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่เป็นครั้งแรกในการลอยแร่โมลิบดีนัมที่สะอาด และได้พบว่าคอลัมน์ให้ผลอันยอดเยี่ยม กล่าวคือ คอลัมน์จำนวน 3 ตัว สามารถใช้แทนเซลล์ลอยแร่ได้ถึง 13 เซลล์ อีกทั้งยังได้หัวแร่ที่มีเกรดและ recovery สูงกว่าการลอยด้วยเซลล์ลอยแร่ด้วย

J.D. Mckay และคณะ^[23] แห่ง U.S. Bureau of Mines ได้ใช้คอลัมน์ลอยสินแร่โครไมท์ (Montana chromite ore) ศึกษาเปรียบเทียบกับเซลล์ลอยแร่ปรากฏว่า การลอยแร่ด้วยคอลัมน์ได้ให้ผลดีกว่าเซลล์ลอยแร่กล่าวคือ ทั้งเกรด และ recovery สูงกว่า ในขณะที่ความหนาแน่นของผสมในคอลัมน์ใช้ได้ตั้งแต่ 3-20% solids และใช้เวลาน้อยกว่า

G.A. Kosick และคณะ^[24] ได้ใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ 2 คอลัมน์ แทนเซลล์ลอยแร่ เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการลอยแร่ กาสีนาที่ Polaris Concentrator ในรัฐ Quebec ประเทศแคนาดา โดยสามารถลอยแร่ได้เกรด และ recovery สูงขึ้น กล่าวคือ เกรดของหัวแร่เพิ่มขึ้นจากเดิม 76% เป็น 79.3% Pb โดย recovery เพิ่มขึ้นจาก 91% เป็น 91.3%

K.N. (Mani) Subramanian และคณะ^[25] ได้เสนอการใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เมตร (100 ต้นต่อชั่วโมง) ในการลอยแร่ทอง (gold bearing sulfide) จากมลทินที่ Harbour Lights Mine ใน Leonora, Western Australia อย่างได้ผล

Donald E. Zipperian และ Ulf Svensson^[26] ได้เสนอบทความเกี่ยวกับการใช้ Flotaire column สำหรับลอยแร่โลหะ อโลหะ และถ่านหิน ซึ่งให้เกรดและ recovery สูงสุด สำหรับการลอยแร่ทุกขั้นตอน โดยการใช้ฟองอากาศขนาดโต

ขนาด 100 ไมครอน (จาก micro diffusers) และขนาดเล็ก ขนาด 50 ไมครอน (จาก aspirator)

M.R. Peterson และคณะ^[27] จาก US Bureau of Mines ได้รายงานการใช้คอลัมน์ลอยหินแร่ฟลูออไรต์ จาก Fish Creek fluorite ใน Eureka County, NV คอลัมน์ที่ใช้ขนาดจุ 100 ปอนด์/ชั่วโมง แบบต่อเนื่อง

สามารถลอยแร่ฟลูออไรต์ได้สูงถึง 96.6% CaF_2 ด้วย recovery ถึง 99.7% นับได้ว่าเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ได้ถูกนำมาใช้ลอยถ่านหินมากที่สุด โดยเฉพาะถ่านหินขนาดละเอียด เช่น P.S.R. Reddy และคณะ^[20] ได้ใช้คอลัมน์ล้างถ่านหินที่ Sudamdih, Dhanbad ประเทศอินเดีย S.K. Nicol และคณะ^[28] ได้ใช้คอลัมน์แต่งถ่านหินขนาดละเอียด (-0.1 มม.) และเกรดต่ำ ในชั้นสะอาดที่ BHP-UTAH COAL Limited's Riverside Mine ปรากฏว่าได้ถ่านหินเกรดสูงขึ้น ลดวงจรที่ซับซ้อน ควบคุมง่าย และใช้กำลังงานต่ำ G.H. Luttrell และคณะ^[29] ได้ศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ระหว่างอนุภาคละเอียด และฟองอากาศ พบว่าการลอยอนุภาคถ่านหินขนาดเล็ก เพิ่มประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อใช้ฟองอากาศขนาดเล็ก (ขนาด 70-250 ไมครอน) และพบว่าขนาดของฟองอากาศและ residence time มีผลต่อสมรรถนะของคอลัมน์ การลดขนาดของฟองอากาศจะสามารถเพิ่ม recovery ได้ S.K. Kawatra และ T.C. Eisele^[30] ได้ใช้คอลัมน์ลอยไฟไรต์ออกจากถ่านหิน ถึง 70-85% ด้วย recovery 80-85% แต่สำหรับไฟไรต์ละเอียดที่ฝังกระจายอยู่ในถ่านหิน จะใช้วิธีกำจัดด้วยเบคทีเรีย B.K. Parekh และคณะ^[31] ได้ใช้คอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการเพื่อเก็บถ่านหินจากน้ำทิ้งของโรงแต่งถ่านหินที่ Kentucky ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 100 เมช และมีเถ้าสูงถึง 30-50% โดยสามารถลดเถ้าเหลือเพียง 2-8% ด้วย recovery เกือบ 90% ในทำนองเดียวกัน M. Misra และ R. Harris^[32] ที่สามารถลอยถ่านหินโดยมีเกรดสูงขึ้น กล่าวคือ เถ้าลดลงเป็น 10% จาก 60% ด้วย recovery มากกว่า 80% K.S. Narasimhan และคณะ^[33] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการลอยถ่านหินโดยใช้คอลัมน์ขนาด 500 ต้นต่อชั่วโมงกับเซลล์ลอยแร่ Yosry. A. Attia และ Shaning Yu^[34] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการแยก coal flocs ด้วยคอลัมน์ ได้สรุปว่า การทำการก่อก้อนของเถ้าละเอียดแบบเจาะจงจะเป็นประโยชน์ต่อการลอยแร่ด้วยคอลัมน์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 แผนงานการดำเนินการ ในการออกแบบและสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ ได้วางแผนการดำเนินการดังนี้

2.1.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบและการพัฒนาเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ ตลอดจนการนำมาใช้ในการลอยแร่

2.1.2 ออกแบบเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

2.1.3 สร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

2.1.4 ศึกษาและทดสอบสมรรถนะการลอยแร่ของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

2.1.5 รวบรวมข้อมูล สรุปผลการทดลองและนำเสนอผลงานการวิจัย

2.2 การออกแบบเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

มีหลักการในการออกแบบเครื่องมือดังนี้

2.2.1 คอลัมน์ต้องเป็นคอลัมน์ใส่ สามารถสังเกตการทำงานได้ สามารถเห็นฟองอากาศชัดเจนตลอดคอลัมน์

2.2.2 เป็นคอลัมน์ที่มีรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันอย่างน้อย 2 ขนาด เพื่อสามารถใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบการลอยแร่ได้

2.2.3 สามารถที่จะปรับเปลี่ยนความสูงของคอลัมน์ได้ เพื่อประโยชน์ของการนำมาศึกษาทดลองลอยสินแร่ต่าง ๆ ให้ได้เกรด และ recovery สูงสุด ตลอดจนสามารถปรับตำแหน่งของช่องป้อนให้อยู่ที่ระดับต่าง ๆ ได้

2.2.4 สามารถที่จะควบคุมอัตราการไหลของแร่ป้อน น้ำล้างและอากาศได้ สามารถที่จะทำการได้อย่างต่อเนื่อง

2.2.5 การนำแร่ลอยและหางแร่ออกจากคอลัมน์ทำได้ง่าย

2.2.6 ใช้วัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูก สามารถสร้างได้เองภายในประเทศ

2.3 การสร้างเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

จากหลักการออกแบบดังกล่าวได้เลือกทรงกระบอกที่ทำได้ด้วย อะคริลิกใสมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. และ 10 ซม. จะตัดเป็นท่อน ๆ เพื่อความสะดวกในการปรับเปลี่ยนความสูงและระดับของช่องป้อน ความสูงของคอลัมน์สามารถปรับได้สูงถึง 6 เมตร จับยึดคอลัมน์ทั้งสองด้วยโครงเหล็ก (ดูรูปที่ 2.1 และ 2.2 ประกอบ) คอลัมน์ประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 4 ส่วน ได้แก่

2.3.1 ส่วนหัวหัวแร่ (concentrate discharge) จะเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของตัวคอลัมน์ หลังจากหัวแร่ที่ลอยติดฟองอากาศลอยสู่ส่วนบนสุดของคอลัมน์ จะถูกน้ำล้าง (wash water) ล้างก่อนไหลล้นออกจากส่วนนี้ (ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ)

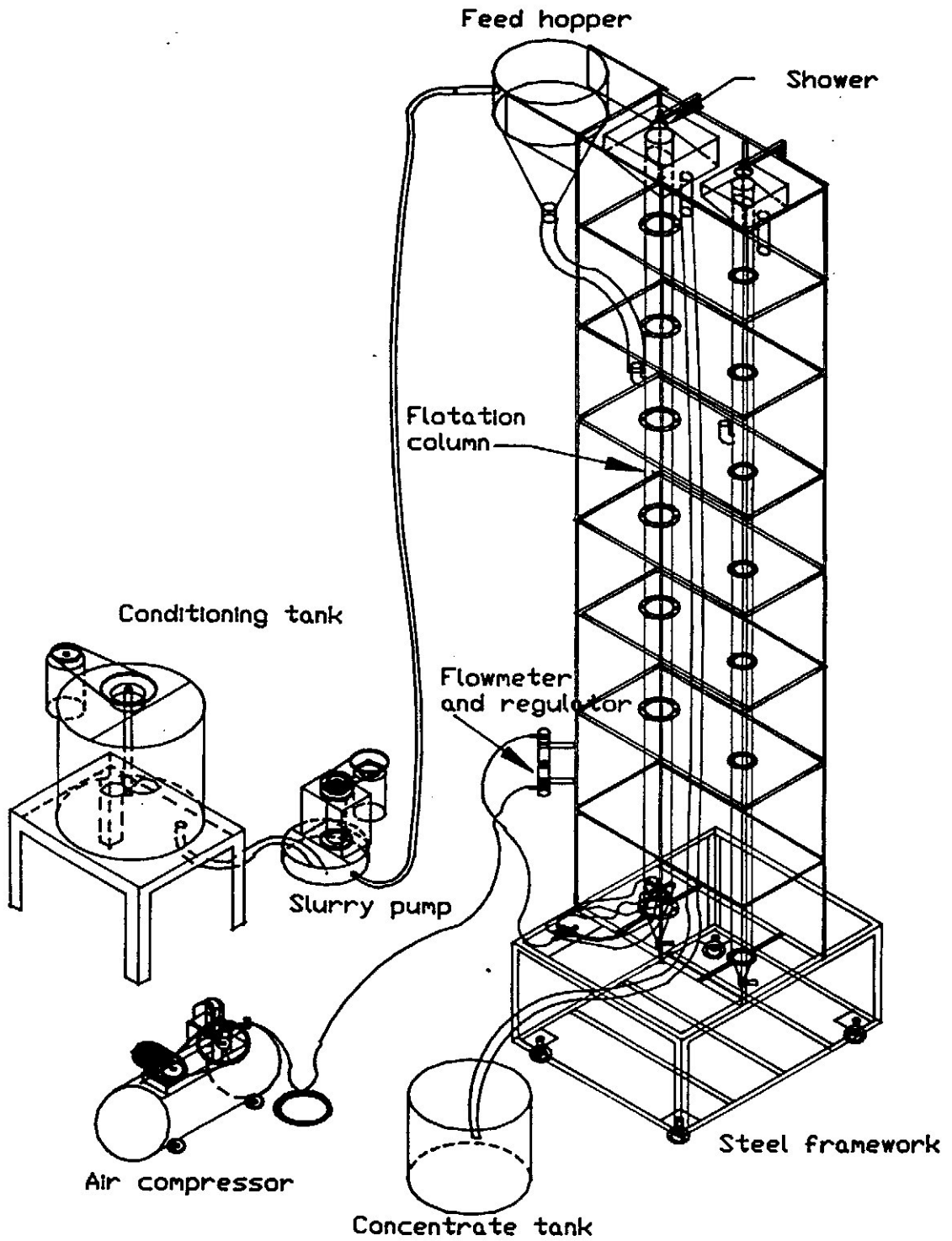
2.3.2 ส่วนช่องป้อนแร่ (ore feed) ส่วนนี้จะออกแบบให้เป็นช่องอย่างถาวร ติดอยู่กับคอลัมน์ขนาด 50 ซม. (ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ) เพื่อให้สามารถปรับระดับความสูงของช่องป้อนได้ตามความเหมาะสม

2.3.3 อุปกรณ์ทำฟองอากาศ (air spargers) เป็นหัวทรายที่ทำจากเม็ดทรายลักษณะเหมือนหัวทรายที่ใช้ในอ่างเลี้ยงปลา (ดูรูปที่ 2.2 ประกอบ) อากาศจะถูกอัดด้วยเครื่องอัดอากาศ (air compressor) เข้าสู่อุปกรณ์ทำฟองอากาศ ก็จะเกิดฟองอากาศขึ้นในคอลัมน์ ขนาดของฟองอากาศขึ้นอยู่กับหัวทรายที่เลือกใช้ และขึ้นอยู่กับน้ำยาเคมี ชนิดเคลือบฟองอากาศหรือในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ส่วนปริมาณอากาศจะถูกควบคุมโดยเครื่องวัดอัตราการไหล (flowmeter)

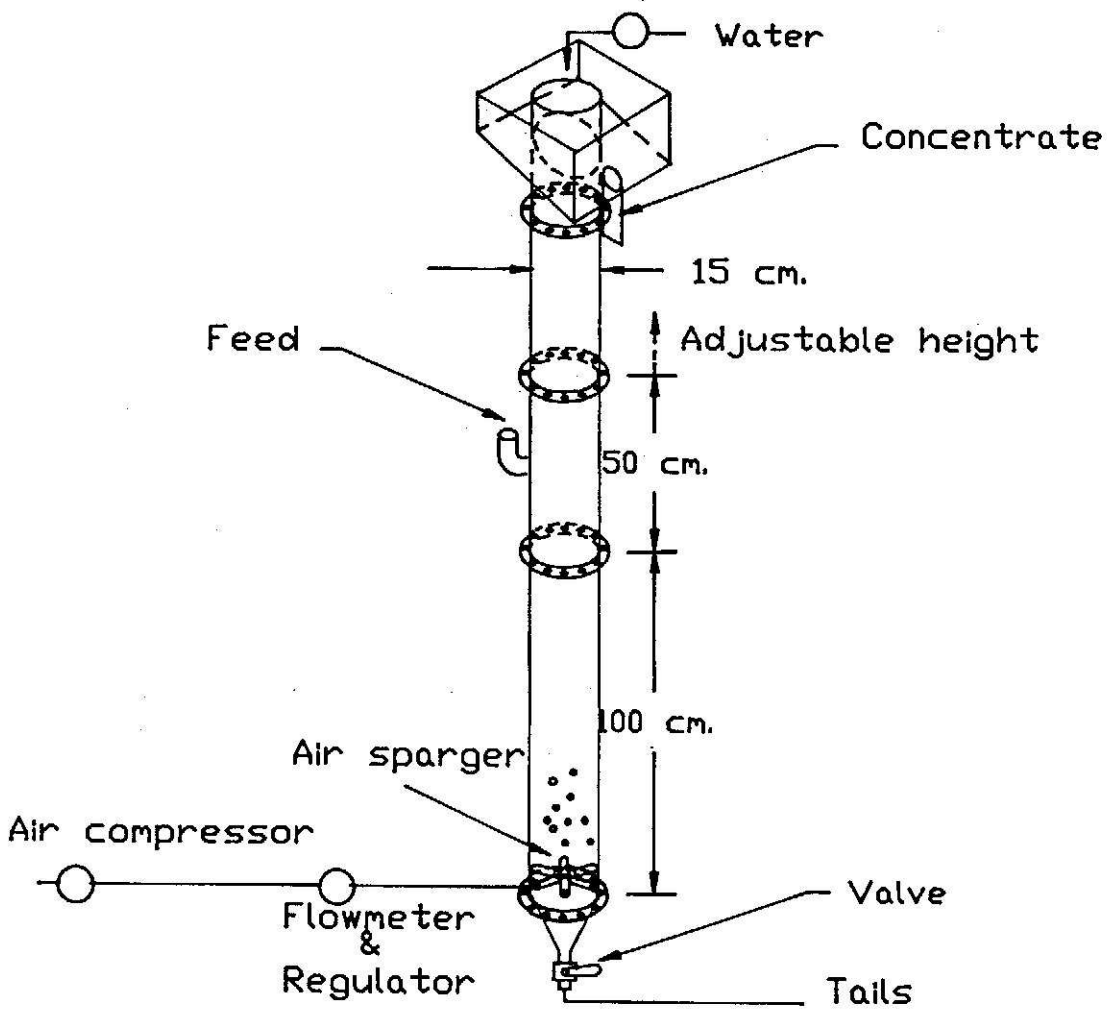
2.3.4 ถังกวนปรับสภาพและปั๊ม ถังกวนปรับสภาพเป็นถังที่มีความจุมากกว่า 30 ลิตร มีใบพัดกวนแร่เพื่อปรับสภาพผิวแร่ก่อนการลอยแร่ แร่ที่ปรับสภาพแล้วจะปล่อยให้ไหลลงสู่ถังพัก (sump) และป้อนขึ้นสู่ถังพักแร่ซึ่งอยู่เหนือส่วนบนของคอลัมน์โดยใช้ปั๊ม (slurry pump) ก่อนป้อนเข้าสู่คอลัมน์



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ที่ออกแบบและส่วนประกอบ



รูปที่ 2.2 แสดงระบบของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอลัมน์

2.4 หลักการทำงานของเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์

การทำงานของคอลัมน์จะแตกต่างจากเซลล์ลอยแร่ คือ คอลัมน์จะไม่มีใบพัดกวนแร่ให้เกิดสภาวะปั่นป่วน เช่น เซลล์ลอยแร่ ในการผลิตฟองอากาศนั้น อากาศจะถูกพ่นเข้าสู่คอลัมน์ ผ่านตัวทำฟองอากาศซึ่งมีรูพรุนละเอียดรอบ ๆ ทำให้ได้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กเท่า ๆ กัน นอกจากนี้แล้วจะมีการใช้น้ำล้าง ฉีดผ่านท่อเจาะรู หรือฝักบัวทางตอนบนของ คอลัมน์ด้วย สำหรับแร่ป้อน (feed slurry) จะถูกปรับสภาพผิวด้วยน้ำยาเคมีให้มีคุณสมบัติในการลอยดีขึ้นในถังกวน เสียก่อนแล้วจึงป้อนเข้าสู่คอลัมน์ ในคอลัมน์ก็จะประกอบด้วย slurry zone หรือ collection zone และ froth zone เช่นเดียวกับในเซลล์ลอยแร่ขนาดเล็กต่าง ๆ จากแร่ป้อนจะชนกับฟองอากาศในทิศทางที่สวนกัน แร่ที่ต้องการจะลอยจะเกาะติดกับฟองอากาศและลอยขึ้นไปเหนือ interface level เข้าสู่ froth zone และไหลล้นออกไปยังส่วนที่เก็บหัวแร่ที่ froth zone หรือ cleaning zone นี้จะมีน้ำล้างฉีดพ่นทางตอนบนเพื่อช่วยสร้างชั้นของแร่ลอยให้มีความหนาและมีเสถียรภาพ และไหลล้นสู่ที่เก็บหัวแร่ได้ง่ายขึ้น ขณะเดียวกันน้ำล้างจะช่วยล้างแร่ลพิษที่ปะปนขึ้นไปใน froth zone เป็นการทำให้ได้หัวแร่ที่สะอาดขึ้น สำหรับหางแร่หรือแร่ที่ไม่ต้องการลอยนั้น จะถูกบีบออกทางตอนล่างของคอลัมน์

ตัวแปร (operational variable) ที่สำคัญตัวหนึ่งที่จะต้องควบคุมเพื่อให้การทำงานของคอลัมน์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพคือ ความหนาของ cleaning zone กล่าวคือถ้าความหนาของโซนนี้น้อยไป หัวแร่ที่ได้มีเกรดต่ำลง เนื่องจากแร่ลพิษที่ปะปนขึ้นไปใน cleaning zone ถูกกำจัดโดยน้ำล้างได้เพียงบางส่วน และถ้าความหนามากเกินไป recovery ก็ลดลงเพราะปริมาตรของ collection zone น้อยลง ซึ่งเป็นการลดโอกาสของแร่ที่จะชนและเกาะติดกับฟองอากาศนั่นเอง

3. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องลอบแนบคอลัมน์

3.1 การทดลอง

เพื่อให้เข้าใจกลไกการทำงานของคอลัมน์ จึงทำการทดลองลอบแนบ โดยศึกษาเปรียบเทียบกับตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ความสูงของคอลัมน์ (column height)

- ตำแหน่งของช่องป้อน (feed injection location)
- อัตราการป้อน (feed rate)
- อัตราการไหลของอากาศ (ฟองอากาศ) (air flowrate)
- อัตราการไหลของน้ำล้าง (wash water addition rate)
- เกรดของแร่ (feed grade)

การทดลองจะใช้วิธี batch test แล้วสังเกตผลและจะทดลองในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ใช้แร่ไฟไรต์ผสมกับทราย (ขนาด -65+200 เมช) ที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน เป็นแร่ตัวอย่าง และกำหนดตัวแปรคงที่ ดังต่อไปนี้

- ปริมาณสารเคมีที่ใช้ลอยแร่ จะใช้ KAX 50 กรัม/ตัน Aerofroth 65 100 กรัม/ตัน, Na_2SiO_3 300 กรัม/ตัน

- pH = 6 (ปรับโดยใช้ H_2SO_4)

- % solids = 10 ~ 12% (ปริมาตรน้ำในคอลัมน์ = 70 ลิตร เพราะฉะนั้นการลอยแร่แต่ละครั้งใช้ประมาณ 7 ~ 10 กิโลกรัม)

- เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพหัวแร่ 10 นาที

- เวลาที่ใช้ในการลอยแร่ประมาณ 10 นาที

ในการศึกษาผลของตัวแปรใด ๆ จะกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่แล้วเลือกค่าที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทดลองผลของตัวแปรตัวอื่นต่อไป เมื่อทำการลอยแร่ที่สภาวะใด ๆ ผลของการลอยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ลอย (แร่ไฟไรต์) เป็นหัวแร่ (concentrate) และส่วนที่จม (ทราย) เป็นหางแร่ (tailing) นำผลผลิตทั้ง 2 ส่วนล้าง และนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 80°C จนแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยแยกไฟไรต์ และทรายออกจากกันโดยวิธี sink and float ด้วย bromoform จดบันทึกผลไว้ เพื่อคำนวณหาค่า % grade ของไฟไรต์ และ recovery นำผลที่ได้มาพล็อตกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ และวิเคราะห์ผล

3.2 ผลการทดลอง

3.2.1 ความสูงของคอลัมน์

โดยปกติ collection zone ซึ่งหมายถึงบริเวณตั้งแต่ได้ส่วนช่องป้อนลงไปถึงฐานของคอลัมน์ และจะต้องมีความยาวพอที่จะทำให้อนุภาคที่ตกตัวเกาะติดกับผนังของอากาศที่เคลื่อนที่ส่วนทางขึ้นสู่ส่วนบนของคอลัมน์ การออกแบบความยาวทางคอลัมน์อาศัยความคิดรวบยอดอันนี้ ผลของความยาวของคอลัมน์ แปรเปลี่ยนตามชนิดของแร่ สำหรับการลอยสินแร่ไฟไรต์ ($25\% \text{FeS}_2$) จะศึกษาผลโดยการเปลี่ยนความยาวของคอลัมน์ ดังแสดงผลตามรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1 จากรูปที่ 3.1 จะพบว่า เมื่อให้ความยาวของคอลัมน์สั้นลง recovery จะลดลง ซึ่งเนื่องมาจาก อนุภาคที่เวลาเกาะติดกับผนังของอากาศน้อยลง (เวลาที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ไม่พอ) แต่เกรดของไฟไรต์จะสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อลดความยาวของคอลัมน์ เพราะว่ามีอนุภาคที่ผิวถูกเคลือบอย่างเต็มที่ที่สามารถเกาะติดกับผนังของอากาศลอยขึ้นไป ส่วนอนุภาคที่เป็นลูกคาบปานกลาง หรือเล็กน้อยมีโอกาสที่จะเกาะติดกับผนังของอากาศ แล้วลอยขึ้นสู่ส่วนบนของคอลัมน์น้อยลง

3.2.2 ตำแหน่งของช่องป้อน

การทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งของช่องป้อนที่มีต่อเกรดและ recovery ของการลอยแร่ไฟไรต์ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2 recovery ค่อย ๆ ลดลงเมื่อตำแหน่งช่องป้อนต่ำลงสู่ฐานของคอลัมน์ (ดูรูปที่ 3.2) ตำแหน่งของช่องป้อนจะสัมพันธ์กับเวลาที่อนุภาคค้างใน collection zone การที่ตำแหน่งของช่องป้อนลดสู่ฐานของคอลัมน์ ความยาวของ collection zone ลดลง ทำให้เวลาที่อนุภาคค้างอยู่ใน collection zone น้อยลง และมีผลทำให้ recovery ของแร่ไฟไรต์ลดลง recovery ของหัวแร่ไฟไรต์สูงขึ้นเมื่อตำแหน่งช่องป้อนลดลงใกล้ฐานของคอลัมน์ การลดลงของตำแหน่งช่องป้อน ก็เหมือนกับการทำให้ collection zone สั้นลง ซึ่งจะมีผลเหมือนกับการลดความยาวของคอลัมน์ เกรดที่เพิ่มขึ้นเมื่อลดตำแหน่งของช่องป้อนใกล้ฐานของคอลัมน์ก็เพราะว่าทำให้ cleaning zone ยาวเพิ่มขึ้น

3.2.3 ปริมาณน้ำล้าง

เหตุผลหลักที่ใช้ล้างในเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ เพื่อให้เกรดของหัวแร่ที่เก็บได้สูงขึ้น โดยชะล้างมลทินที่ขึ้นสู่ froth bed ตลอดจนช่วยรักษาระดับ froth bed ด้วย การทดลองได้ศึกษาผลของปริมาณของน้ำล้างต่อเกรดและ recovery ของการลอยแร่ไฟไรต์ น้ำล้างจะฉีดผ่านฝักบัวเป็นสเปรย์ ซึ่งอยู่เหนือระดับบนของคอลัมน์ประมาณ 5 ซม.

จะเห็นว่า น้ำล้างจะมีผลต่อเกรดและ recovery ของหัวแร่ไฟไรต์ จากรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.3 พบว่า recovery ของแร่ไฟไรต์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำล้าง ในขณะที่เกรดมีแนวโน้มคงที่ตามปริมาณน้ำล้าง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน น้ำล้างจะชะล้างแร่ที่มีลักษณะเป็นลูกคาบออกจาก froth bed แต่ในขณะเดียวกันยังทำให้ระดับน้ำในคอลัมน์คงที่ ซึ่งการที่ recovery สูงขึ้น เนื่องจากอัตราการลอยแร่สูงขึ้น

3.2.4 ปริมาณของฟองอากาศ

โอกาสการชนกันระหว่างฟองอากาศ และอนุภาคจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของฟองอากาศมากขึ้น แต่ถ้าปริมาณของฟองอากาศมากเกินไปก็จะหนุ่น หรือพุงเอามลทินขึ้นมาได้มากยิ่งขึ้น จากการทดลองพบว่า recovery ของแร่ไฟไรต์มีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณของฟองอากาศมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณมากขึ้นก็ทำให้ค่า recovery ค่อนข้างคงที่ (ดูรูปที่ 3.4) เกรดของแร่ไฟไรต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของฟองอากาศเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณฟองอากาศ และขนาดฟองอากาศที่เหมาะสมจะทำให้โอกาสการลอยแร่ไฟไรต์สูงขึ้น

3.2.5 อัตราการป้อนแร่

จากรูปที่ 3.5 และตาราง 3.5 จะพบว่า อัตราการป้อนแร่มีผลเล็กน้อยต่อเกรดและ recovery ของหัวแร่ไฟไรต์ โดยเฉพาะต่อ recovery กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเป็น 250 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะทำให้ recovery สูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของอนุภาคมากขึ้นทำให้โอกาสชนและเกาะติดกับฟองอากาศได้มากขึ้นในช่วงเวลาที่เท่ากัน ทำให้ recovery สูงขึ้น ส่วนเกรดของหัวแร่ลดลงเล็กน้อยเมื่ออัตราการป้อนแร่เพิ่มขึ้น เพราะโอกาสที่ลูกคาบจะลอยมีสูงขึ้นเช่นกันทำให้เกรดของหัวแร่ลดลงเล็กน้อย

3.2.6 เกรดของแร่ป้อน

จะเห็นว่าทั้งเกรดและ recovery ของแร่ไฟไรต์จะสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง เมื่อเกรดของแร่ป้อนสูงขึ้นถึง 25% แร่ไฟไรต์ เมื่อเกรดของแร่ป้อนสูงกว่าค่านี้จะทำให้ทั้งเกรดและ recovery ค่อนข้างคงที่ (ดูรูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.6) เมื่อเกรดของแร่ป้อนต่ำ ๆ อนุภาคของแร่ไฟไรต์มีปริมาณน้อยทำให้โอกาสที่จะลอยขึ้นน้อยลง recovery จึงต่ำ ส่วนเกรดต่ำลงเมื่อเกรดของแร่ป้อนต่ำลงเพราะ โอกาสที่มลทินจะลอยติดขึ้นมาด้วยมีสูงขึ้น

3.2.7 ปริมาณสารเคมี

ปริมาณของสารเคลือบผิวแร่ (KAX) สารเคลือบฟองอากาศ (aerofroth 65) และตัวกด (Na_2SiO_3) ถูกใช้ในปริมาณลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ใช้ปกติ ปรากฏว่าในกรณีของการลอยแร่โดยใช้ KAX ลดลงครึ่งหนึ่งทำให้เกรดและ recovery ลดลงเล็กน้อย (ดูตารางที่ 3.7) ในขณะที่ให้ปริมาณ Aerofroth 65 ลดลงจะทำให้เกรดหัวแร่ไฟไรต์สูงขึ้น แต่ recovery ลดลง ซึ่งเนื่องจากจำนวนฟองอากาศน้อยลง เมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบฟองอากาศน้อยลง เฉพาะแร่สะอาดที่เกาะฟองอากาศขึ้นไป แต่แร่ที่เป็นลูกคาบจะมีโอกาสเพียงเล็กน้อยที่จะเกาะติดฟองอากาศลอยขึ้นไป ปริมาณโซเดียมซิลิเกต 150 กรัม/ตันแร่ ทำให้ทั้งเกรดและ recovery ของหัวแร่ไฟไรต์สูงขึ้น เพราะปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่มากเกินไป นอกจากจะทำให้เปลืองแล้ว ก็ยังมีผลต่อการกัดแร่ที่ไม่เฉพาะเจาะจงด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ต่อผลการลอยแร่ไฟไรต์ เมื่อปรับค่าอัตรา
การไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที ลอย
แร่ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ
1.25 เมตร จากปลายบน อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม
/ตัน Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6
ใช้เวลาปรับสภาพผิวแร่ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที

ความสูงคอลัมน์ (เมตร)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
200	แร่ป้อน	6,265	100.00	23.30	100.00
	หัวแร่	1,160	18.52	90.55	71.95
	หางแร่	5,105	81.48	8.02	28.05
250	แร่ป้อน	5325	100.00	17.27	100.00
	หัวแร่	730	13.71	97.29	77.22
	หางแร่	4595	86.29	4.56	22.78
350	แร่ป้อน	5625	100.00	23.58	100.00
	หัวแร่	1070	19.02	90.87	73.31
	หางแร่	4555	80.98	7.71	26.69
400	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	20.07	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20

ตารางที่ 3.2 แสดงผลของตำแหน่งของช่องป้อนต่อการลอยแร่ไฟไรต์ เมื่อปรับค่าอัตรา
การไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที ลอย
แร่ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูงของคอลัมน์ 4 เมตร
อัตราการผลิตแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65
100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพผิวแร่
10 นาที เวลาละลาย 10 นาที

ระดับความสูงของช่องป้อน (ซม.)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
125	แร่ป้อน	5915	100.00	23.50	100.00
	หัวแร่	1010	17.08	97.17	70.61
	หางแร่	4905	82.92	8.33	29.39
175	แร่ป้อน	5485	100.00	21.75	100.00
	หัวแร่	930	16.96	92.91	72.43
	หางแร่	4555	83.04	7.22	27.57
225	แร่ป้อน	5905	100.00	23.63	100.00
	หัวแร่	920	15.58	97.65	64.38
	หางแร่	4985	84.42	9.97	35.62
275	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	20.07	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20
325	แร่ป้อน	5805	100.00	25.50	100.00
	หัวแร่	1360	23.43	89.29	82.04
	หางแร่	4445	76.57	5.98	17.96

ตารางที่ 3.3 แสดงผลของน้ำล้างต่อการลอยแร่ไฟโรต์ เมื่อปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ลอยแร่ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 4 เมตร ความสูงของช่องป้อน 1.25 เมตร จากปลายบน อัตราการลอยแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพผิวแร่ 10 นาที เวลา ลอยแร่ 10 นาที

ปริมาณน้ำล้าง (ลิตร/นาที)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟโรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
2.59	แร่ป้อน	9220	100.00	24.45	100.00
	หัวแร่	1370	14.85	96.28	58.52
	หางแร่	7850	85.14	11.91	41.48
4.65	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	17.86	93.35	76.80
	หางแร่	7250	82.14	7.08	23.20
6.22	แร่ป้อน	9300	100.00	23.84	100.00
	หัวแร่	1600	17.20	94.54	68.22
	หางแร่	7700	82.80	9.15	31.78
7.27	แร่ป้อน	8930	100.00	18.74	100.00
	หัวแร่	1230	13.77	96.30	70.78
	หางแร่	7700	86.23	6.35	29.22
9.76	แร่ป้อน	9400	100.00	21.66	100.00
	หัวแร่	1800	19.15	94.77	83.80
	หางแร่	7600	80.85	4.34	16.20

ตารางที่ 3.4 แสดงผลของปริมาณการไหลของอากาศต่อการลอยแร่ไฟไรต์ เมื่อปรับค่าปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาถึ ลอยแร่ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ตำแหน่งของช่องป้อนแร่อยู่ที่ระดับ 1.25 เมตร จากปลายบน ความสูง 4 เมตร อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพผิวแร่ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที

ปริมาณการไหลของอากาศ (ลิตร/นาถึ)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
4.77	แร่ป้อน	9520	100.00	21.82	100.00
	หัวแร่	1470	15.44	88.38	62.53
	หางแร่	8050	84.56	9.67	37.47
8.57	แร่ป้อน	8850	100.00	22.93	100.00
	หัวแร่	1600	18.08	93.02	73.37
	หางแร่	7250	81.92	7.45	26.63
10.2	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	20.06	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.94	7.08	23.20
11.9	แร่ป้อน	9800	100.00	23.61	100.00
	หัวแร่	1750	17.86	94.18	71.23
	หางแร่	8050	82.14	8.27	28.77
13.8	แร่ป้อน	7980	100.00	23.72	100.00
	หัวแร่	1430	17.92	94.87	71.66
	หางแร่	6550	82.08	8.19	28.34

ตารางที่ 3.5 แสดงผลของอัตราการป้อนแร่ต่อการลอยแร่ไฟไรต์ เมื่อปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.56 ลิตร/นาที ลอยแร่ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูงของคอลัมน์ 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตร จากปลายบน KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพผิวแร่ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที

อัตราการป้อนแร่ (กก./ชั่วโมง)		น้ำหนัก (%)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
100	แร่ป้อน	5885	100.00	24.18	100.00
	หัวแร่	1180	20.05	91.76	76.09
	หางแร่	4705	79.95	7.23	23.91
120	แร่ป้อน	5685	100.00	23.53	100.00
	หัวแร่	1100	19.35	92.08	75.73
	หางแร่	4585	80.65	7.08	24.27
150	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	20.807	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20
240	แร่ป้อน	5455	100.00	24.12	100.00
	หัวแร่	1230	22.55	90.16	84.30
	หางแร่	4225	77.45	4.89	15.70

ตารางที่ 3.6 แสดงผลของเกรดของแร่ป้อนต่อการลอยแร่ไฟไรต์ เมื่อปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที ลอยในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูงของคอลัมน์ 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตร จากปลายบน อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพผิวแร่ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที

เกรดของแร่ป้อน (% ไฟไรต์)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
1.41	แร่ป้อน	9310	100.00	1.41	100.00
	หัวแร่	110	1.18	60.37	50.77
	หางแร่	9200	98.82	0.70	49.23
3.50	แร่ป้อน	7540	100.00	3.50	100.00
	หัวแร่	190	2.52	68.79	49.56
	หางแร่	7350	97.48	1.81	50.44
8.68	แร่ป้อน	8880	100.00	8.68	100.00
	หัวแร่	530	5.97	91.45	62.86
	หางแร่	8350	94.03	3.43	37.14
12.92	แร่ป้อน	7950	100.00	12.92	100.00
	หัวแร่	780	8.81	93.11	63.44
	หางแร่	7250	91.19	5.18	36.50
24.39	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	20.07	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

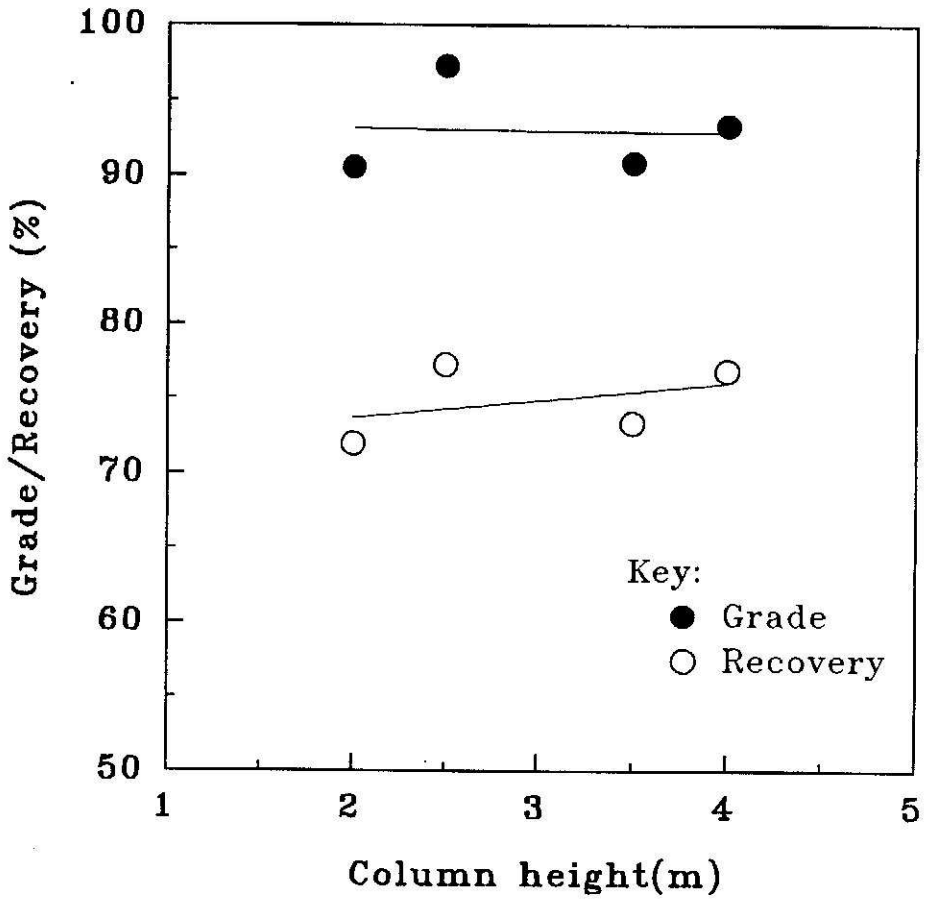
เกรดของแร่ป้อน (% ไฟไรต์)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
31.55	แร่ป้อน	5490	100.00	31.55	100.00
	หัวแร่	1390	25.32	96.16	77.66
	หางแร่	4100	74.68	9.65	22.84

ตารางที่ 3.7 แสดงผลของปริมาณสารเคมีลอยแร่ต่อการลอยแร่ไฟไรต์ เมื่อปรับค่าอัตราการไหลทางอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที ลอยในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูงของคอลัมน์ 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตรจากปลายบน อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพป้อนแร่ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที

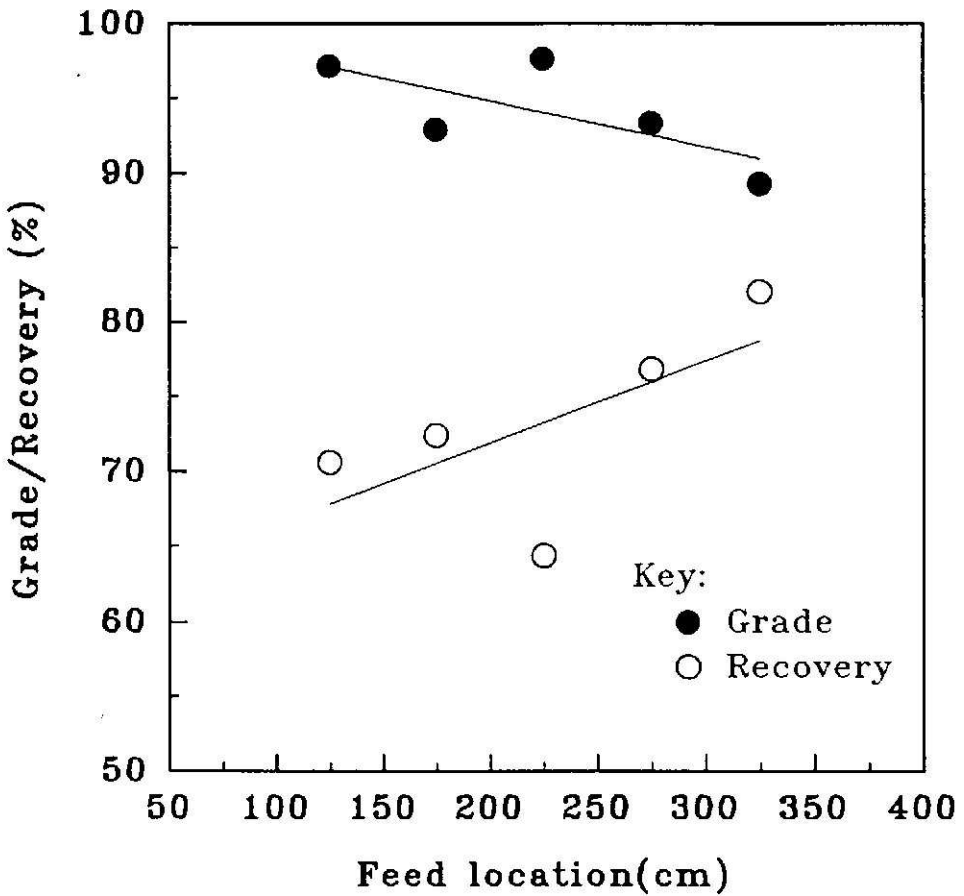
สารเคมีลอยแร่ (กรัม/ตันแร่)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
KAX (25)	แร่ป้อน	9180	100.00	22.56	100.00
	หิวแร่	1680	18.30	92.81	75.30
	หางแร่	7500	81.70	6.82	24.70
KAX (50)	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หิวแร่	1820	20.07	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20
Aerofroth 65 (50)	แร่ป้อน	8080	100.00	20.96	100.00
	หิวแร่	1180	14.60	97.90	68.22
	หางแร่	6900	85.40	7.80	31.78
Aerofroth 65 (100)	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หิวแร่	1820	20.07	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

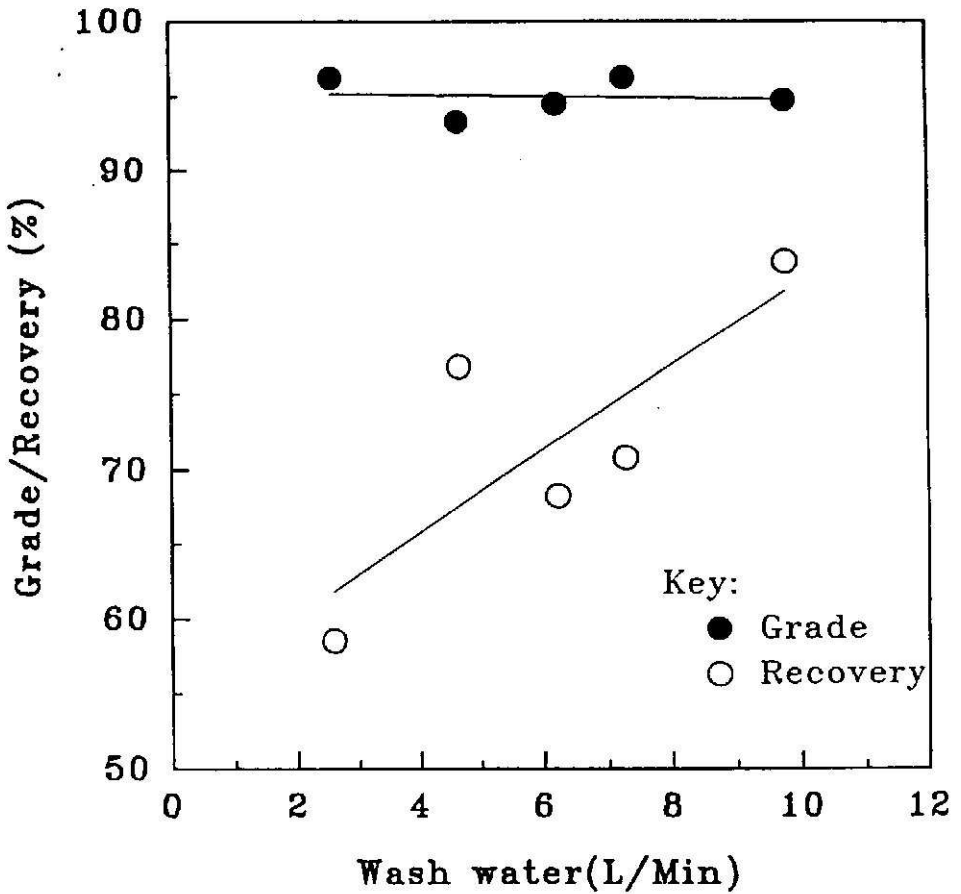
เกรดของแร่ป้อน (% ไฟไรต์)		น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (%)	ไฟไรต์ (%)	การกระจายตัว (%)
Na ₂ SiO ₃ (150)	แร่ป้อน	8890	100.00	26.43	100.00
	หัวแร่	1940	21.82	97.18	80.24
	หางแร่	6950	78.18	6.68	19.76
Na ₂ SiO ₃ (300)	แร่ป้อน	9070	100.00	24.39	100.00
	หัวแร่	1820	20.07	93.35	76.80
	หางแร่	7250	79.93	7.08	23.20



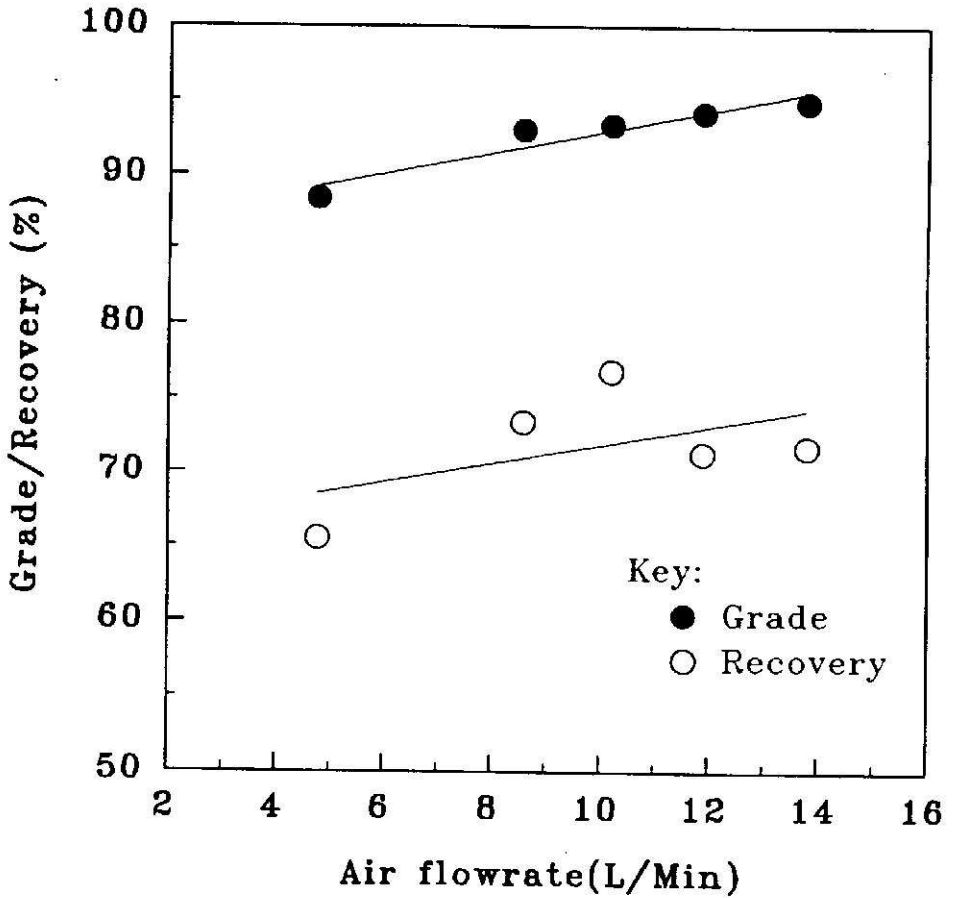
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคอลัมน์กับเกรดและ recovery ของการลอยแร่ไฟโรต์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตร อัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาในการปรับสภาพ 10 นาที เวลาละลายแร่ 10 นาที



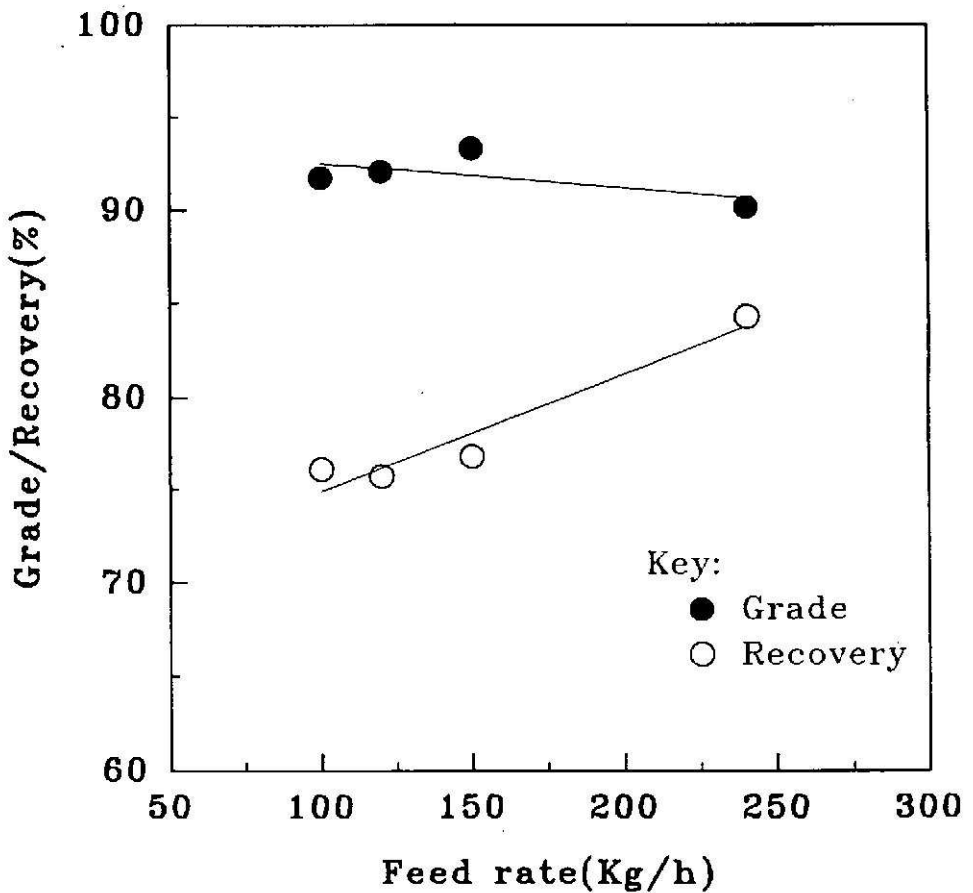
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของช่องป้อน กับเกรดและ recovery ของการลอยแร่ไมไรต์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 4 เมตร อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาในการปรับสภาพ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที



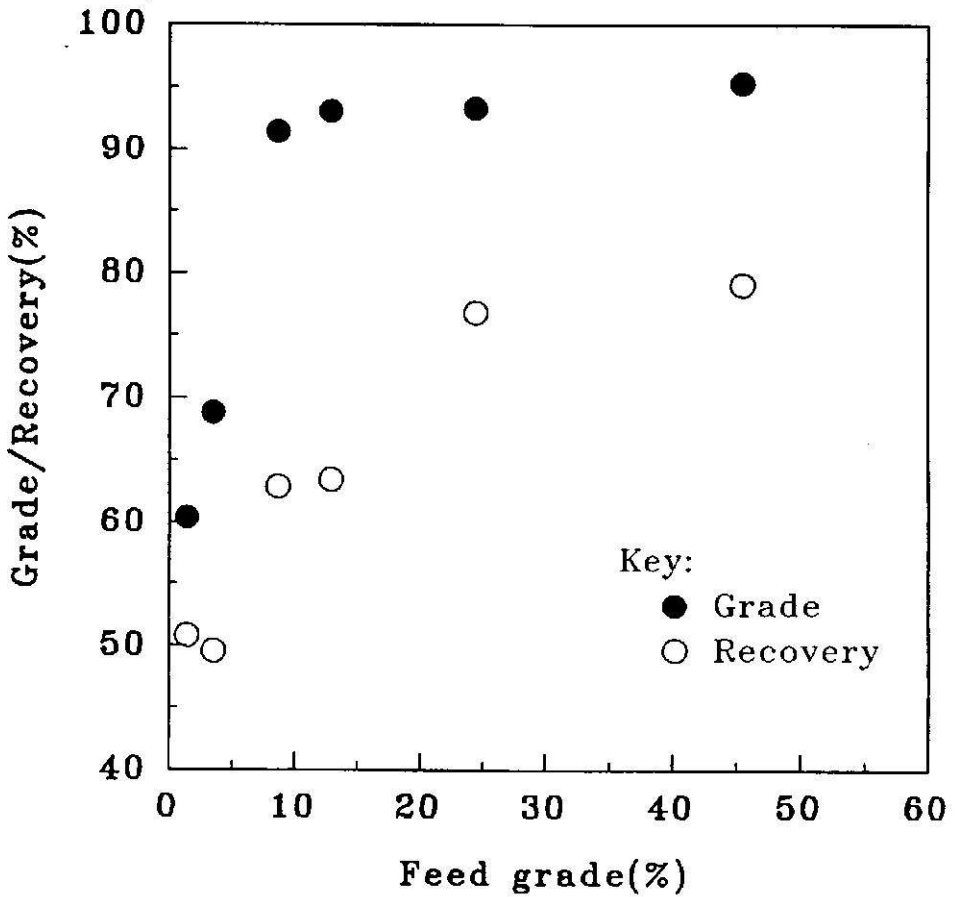
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของน้ำล้างกับเกรด และ recovery ของการลอยแร่ไฟไรต์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตรจากปลายบน อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาในการปรับสภาพ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลของอากาศกับเกรด และ recovery ของการลอยแร่ไฟโรต์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตร จากปลายบน อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง ปริมาณ น้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที่ KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาในการปรับสภาพ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนแร่กับเกรด และ recovery ของการลอยแร่ไฟไรต์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตรจากปลายบน อัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาปรับสภาพ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเกรดของแร่ป้อนกับเกรด และ recovery ของการลอยแร่ไมไรต์ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 4 เมตร ตำแหน่งของช่องป้อนอยู่ที่ระดับ 1.25 เมตรจากปลายบน อัตราการไหลของอากาศ 10.2 ลิตร/นาที ปริมาณน้ำล้าง 4.65 ลิตร/นาที อัตราการป้อนแร่ 150 กก./ชั่วโมง KAX 50 กรัม/ตันแร่ Aerofroth 65 100 กรัม/ตันแร่ Na_2SiO_3 300 กรัม/ตันแร่ pH 6 ใช้เวลาในการปรับสภาพ 10 นาที เวลาลอยแร่ 10 นาที

4. สรุป

เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ที่สร้างขึ้น มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. และ 10 ซม. สามารถปรับความสูงของคอลัมน์ได้ตามต้องการ ซึ่งมีความจุในอัตราประมาณ 250-300 กิโลกรัม/ชั่วโมง (สำหรับคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม.) ตำแหน่งของช่องป้อน สามารถปรับเปลี่ยนระดับได้ เพื่อความเหมาะสมของการลอยแร่ชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งมีธรรมชาติที่แตกต่างกัน ขนาดของฟองอากาศสามารถปรับให้มีขนาดเหมาะสมกับการลอยแร่โดยเลือกหัวทรายให้เหมาะสม หรือควบคุมโดยปริมาณของสารเคลือบฟองอากาศ

จากการทดลองลอยแร่ไฟไรต์ เพื่อทดสอบสมรรถนะของการลอยแร่โดยเครื่องที่สร้างขึ้น ปรากฏว่า ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ ในการทดสอบแบบลอยในขั้นตอนเดียว (batch test) ที่สภาวะการลอยที่เหมาะสมจะให้เกรดหัวแร่ไฟไรต์สูงถึง 97% และ recovery 80% (ดูตารางที่ 3.7) และคาดว่า recovery จะสูงขึ้นเมื่อนำทางแร่มาลอยใหม่โดยคอลัมน์ขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม.) ต่อเป็นวงจรเมื่อลอยแร่อย่างต่อเนื่อง

สรุปตัวแปรที่อาจมีผลต่อการลอยแร่โดยเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ดังนี้

- ความยาวของคอลัมน์
- ตำแหน่งของช่องป้อน
- ปริมาณน้ำล้าง
- อัตราการป้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ % solids ในคอลัมน์
- เกรดของแร่ เป็นต้น

นอกจากนั้นในการลอยแร่ใด ๆ ตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่ สารเคมี และปริมาณสภาพของของผสม เวลาที่ใช้ปรับสภาพ ตลอดจนเวลาที่ใช้ลอยแร่ เป็นต้น ดังนั้น การจะนำเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ไปใช้ลอยแร่ชนิดใด ๆ ก็จำเป็นจะต้องมีการนำมาทดสอบในคอลัมน์ขนาดโรงประลอง เพื่อจะได้ออกแบบและขยายสเกลให้มีขนาดความจุที่ต้องการอย่างแท้จริงได้ ในการขยายสเกลของคอลัมน์ สามารถทำตามวิธีที่เสนอโดย Dobby และ Finch (5)

5. เอกสารอ้างอิง

- 1) รัชฎา เลหาพานิช การพัฒนาทางเทคโนโลยีการลอยแร่ ข่าวสารการแร่ ฉบับที่ 6 ปีที่ 37 หน้า 20-30.
- 2) Weeler, D.A., "Historical View of Column Flotation Development", *Column Flotation' 88*, ed. by Sastry, K.V.S, SME. Inc., Littleton, 1988, pp. 3-4.
- 3) _____, "Column Flotation-The Original Column", *Ibid*, pp. 17-40.
- 4) Moon, K.S. and Sirois, L.L., "Theory and Industrial Application of Column Flotation in Canada", *Ibid*, pp. 91-101.
- 5) Dobby, G.S. and Finch, J.A., "Flotation Column Scale-up and modelling", *CIM Bulletin*, May 1986, pp. 89-96.
- 6) Moys, M.H. and Finch, J.A., "Developments in the Control of Flotation Columns", *Inter. J. of Mineral Proc.*, Vol.23, 1988, pp. 265-278.
- 7) _____, "The Measurement and Control of Level in Flotation Columns", *Column Flotation' 88*, ed. by Sastry, K.V.S, SME. Inc., Littleton, 1988, pp. 102-112.
- 8) Yianatos, J.B., Finch, J.A. and Laplante, A.R., "Selectivity in Column Flotation Froths", *Inter. J. of Mineral Proc.*, Vol. 23 1988, pp. 279-292.
- 9) Ross, V.E. and Deventer, J.S.J. van, "Mass Transport in Flotation Column Froths", *Column Flotation' 88*, ed. by Sastry. K.V.S, SME. Inc., Littleton, 1988, pp. 129-139.
- 10) Laplante, A.R., Yianatos, J. and Finch, J.A. "On The Mixing Characteristics of The Collection Zone in Flotation Columns", *Ibid*, pp. 69-79.

- 11) Mavros, P., Lasaridis, N.K. and Matis, K.A., "A Study and Modelling of Liquid-Phase Mixing in a Flotation Column", *Inter J. of Mineral Proc.*, Vol. 26, 1989, pp. 1-16.
- 12) Espinosa-Gomez, R, Yianatos, J. and Finch, J.A., "Carry Capacity Limitations in Flotation Columns", *Flotation Column' 88*, ed. by Sastry, K.V.S, SME. Inc., Littleton, 1988, pp. 143-147.
- 13) Amelunxen, R.L. et. al, "Mechanics of Column Flotation Operation", *Flotation Column' 88*, ed. by Sastry, K.V.S, SME. Inc., Littleton, 1988, pp. 149-155.
- 14) Sastry, K.V.S. and Lofftus, K.D., "Mathematical Modelling and Computer Simulation of Column Flotation", *Ibid*, pp. 57-67.
- 15) Yang, D.C., "A New Packed Column Flotation System", *Ibid*, pp. 257-265.
- 16) Degner, V.R., and Sabey, J.B., "Wemco/Lecds Flotation Column Development", *Ibid*, pp. 267-279.
- 17) Schneider, J.C. and Weert, G.V., "Design And Operation of The Hydrochem Flotation Column", *Ibid*, pp. 287-292.
- 18) Raju, G.B., Prabhakar, S. and khangaonkar, P.R., "Beneficiation of Low Grade Ores by Electro-Column Flotation Technique", *Ibid*, pp. 293-298.
- 19) Hu, W. and Liu, G., "Design And Operating Experiences With Flotation Columns in China", *Ibid*, pp. 35-41.
- 20) Reddy, P.S.R. et. al., "Flotation Column for Fine Coal Beneficiation", *Inter. J. of Mineral Proc.*, Vol. 24, 1988, pp. 161-172.

- 21) Jameson, G.J., "A new Concept in Flotion Column Design", *Flotation Column' 88*, ed. by Sastry, K.V.S, SME. Inc., Littleton, 1988, pp. 281-285.
- 22) Kennedy, A., "The Jameson Flotation Cell", *Mining Magazine*, October 1990, pp. 281-285.
- 23) Mckay, J.D., Foot, D.G. and Huiatt, J.L., "Column Flotation of Montana Chromite Ore", *Mineral and Metall. Proc.*, August 1986, pp. 170-177.
- 24) Kosick, G.A. Kuehn, L.A. and Freberg, M., "Column Flotation of Galena at the Polaris Concentrator", *CIM Bulletin*, No. 290, Vol. 81, 1988, pp. 54-60.
- 25) Subramanian, K.N., Connelly, D.E.G. and Wong, K.Y., "Commercialization of A Column Flotation Circuit for Gold Sulfide Ore", *Flotation Column' 88*, ed. by Sastry, K. V.S, SME Inc., Littleton, 1988, pp. 13-18.
- 26) Zipperian, D.E. and Svensson, U., "Plant Practice of the Flotaire Column Flotation Machine For Metallic, Nonmetallic and Coal Flotation", *Ibid*, pp. 43-53.
- 27) Peterson, M.R., Duchene, L.J. and Shirts, M.B., "Column Flotation of Multiple Products From a Fluorite Ore", *Report of Investigation/1990 (RI 9309)*, U.S. Bureau of Mines, 1990.
- 28) Nicol, S.K., et. al, "Column Flotation of Ultra fine Coal : Experience At BHP-UTah Coal Limited's Riverside Mine", *Flotation Column' 88*, ed. by Sastry, K.V.S., SME Inc, littleton, 1988, pp. 7-11.

- 29) Luttrell, G.H., et. al, "Microbubble Flotation of Fine Coal",
Ibid, pp. 205-211.
- 30) Kawatra, S.K. and Eisele, T.C., "Studies Relating to Removal
of Pyritic Sulfur from Coal by Column Flotation," Ibid,
pp. 213-219.
- 31) Parekh, B.K., et. al, "Recovery of Fine Coal From Preparation
Plant Refuse Using Column Flotation," Ibid, pp. 227-233.
- 32) Misra, M. and Harris R., "Column Flotation of Fine Coal From
Waste Coal Refuse ", Ibid, pp. 235-241.
- 33) Narasimhan, K.S., et. al., "Column Flotation for Fine Coal
Recovery in India", Ibid, pp. 243-247.
- 34) Attia, Y.A, and Yu, S., "Feasibility of Separation of Coal
Flocs by Column Flotation", Ibid, pp. 249-253.
