

อิทธิพลของความเอียงต่อการเก็บกู้สินแร่ดีบุกด้วยโต๊ะสั่นแบบแห้ง

ศิวโรดม ศรีลักษณ์

บทคัดย่อ

โต๊ะสั่นแบบแห้ง อาศัยหลักการความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะสามารถแต่งสินแร่ดีบุกออกจากทรายได้ตามกระบวนการทางวิศวกรรมเหมืองแร่ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ การเคลื่อนไหวที่สัมพันธ์กับความเอียงของโต๊ะ แรงเสียดทานระหว่างเม็ดแร่และผิวของโต๊ะ แนวลูกชิ้น กระบวนการSegregation ซึ่งผลการทดลองพบว่าความเอียงตามแนวแกน $X, Y = 3, 5$ องศาเป็นการทดลองที่ให้ผลเปอร์เซ็นต์การเก็บกู้สินแร่ดีบุกมากที่สุด ผลการทดลอง ถูกนำมาสร้างแบบจำลองสมการปริภูมิสามมิติ เพื่อใช้ในการสร้างแผนผังกระบวนการการไหลของโปรแกรมต่อไปในอนาคต โดยจะพัฒนาให้สามารถใช้พร้อมกันหลายชนิด สำหรับการแต่งแร่ดีบุกที่มีปริมาณมากขึ้น โดยจะควบคุมโต๊ะสั่นด้วยระบบแม่เหล็กไฟฟ้าในท้ายที่สุด

คำสำคัญ : โต๊ะสั่น ดีบุก แต่งแร่ เหมืองแร่

สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ติดต่อ, อีเมล: siwarote@hotmail.com รับเมื่อ 15 มกราคม 2562 ตอขรับ 2 เมษายน 2562

Effects of Slope on Dry Shaking Table to Recovery Tin Ore

Siwarote Siriluck

Abstract

Dry shaking table is used to separate tin ore from sand. In this research, the segregation effect, friction between ore and surface, the table angles, riffle levels are observed. The results showed that the X-Y angles at 3,5 degrees gave the best of %tin ore recovery. All experiments were simulated by mathematic model in 3D equations to use in the program flowchart. The future work, the multiple shaking tables with various interval size levels will test on the pilot scale. And the electromagnetic system will be used to adjust slope on the dry shaking tables.

Keywords : Shaking table, Tin ore, mineral processing, mining

Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna,

Corresponding author, E-mail: siwarote@hotmail.com

1. บทนำ

การแต่งแร่ด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ แร่เป็นการแต่งแร่ด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ประวัติศาสตร์อันยาวนานในการร่อนทองตามแม่น้ำ ตั้งแต่ 2700 ปีก่อนคริสตกาล ในยุคอียิปต์โบราณพบว่า มีหลักฐานถึง 250 หน้างานแต่งแร่ที่แถบอาราเบีย-นูเบีย ในประเทศอียิปต์ [1] ส่วนแร่อื่นๆ เช่นการแยกตะกั่วเงินออกจาก ทราช มีหลักฐานในยุค 475-400 ปีก่อนคริสตกาลในเมืองแอตติกา(ปัจจุบันแถบกรุงเอเธนส์)ในกรีซ [2]การแต่งแร่จะทำการบดแร่ให้มีขนาดที่เหมาะสม ประโยชน์เพื่อให้หัวแร่และหางแร่แยกออกจากกัน ขนาดของแร่แยกออกจากกัน(Liberated size) ถ้าแร่หลุดออกจากกันที่ขนาดหยาบนับเป็นเรื่องที่ดีเพราะจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการบดได้ [3]

ทฤษฎีการแต่งแร่ด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Gravity Concentration) โดยแร่ที่ต่างชนิดกันเมื่อมีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) สูงจะมีน้ำหนักมากกว่าแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ด้วยน้ำหนักที่แตกต่างกันนี้สามารถนำไปแยกแร่เหล่านั้นออกจากกันได้ แต่การที่จะแยกแร่ให้ได้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของแร่นั้นๆด้วย [4] กล่าวคือ ถ้าอนุภาคของแร่สองชนิดซึ่งมีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมากและขนาดอนุภาคใหญ่ ก็สามารถแต่งแร่ออกจากกันได้ง่าย

ในงานวิจัยนี้จะทำการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่นแต่งแร่แบบแห้งที่ยกตัวด้วยแรงแม่เหล็ก(Maglev) โดยแร่ที่นำมาแต่งนั้นเป็นแร่สาริตขนาด 0.25 มิลลิเมตร หัวแร่ใช้สินแร่ดิบบุกออกไซด์ หางแร่ใช้ทรายแม่น้ำ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของความสามารถในการเก็บกู้แร่กับความเอียงของโต๊ะตาม

แนวแกน X- Y การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการใช้งานของโต๊ะสั่นแต่งแร่แรงเสียดทานต่ำขนาดสาริต โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ศึกษาจะถูกใช้งานต่อไป เพื่อเป็นพื้นฐานของการควบคุมการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ ของการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่นพร้อมกันหลายชนิด รูปแบบระบบขนาดใหญ่ของเงื่อนไขการแต่งแร่จะถูกเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบซึ่งจะถูกนำมาออกแบบสร้างชุดควบคุมอัตโนมัติ(Automatic controller) ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network : ANN)

2. ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎี สมการที่เกี่ยวข้อง และ เครื่องจักร

เกณฑ์พิจารณาความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Concentration Criterion, C.C.) เป็นสูตรคำนวณอย่างง่ายที่ถูกใช้เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการแต่งแร่ด้วยวิธีของสมบัติที่แตกต่างของความถ่วงจำเพาะระหว่างหัวแร่และหางแร่ในตัวกลางต่างๆ [5] ดังสมการที่ (1)

$$CC = \frac{S.G.H.M. - S.G.Me.}{S.G.Me. - S.G.Le.} \quad (1)$$

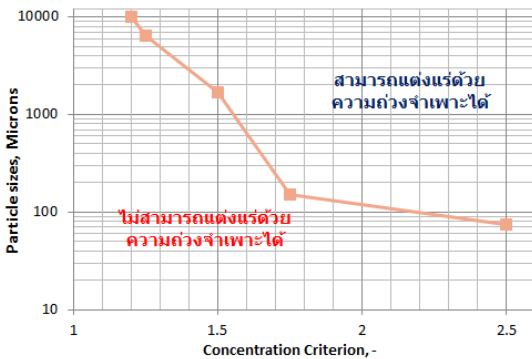
โดย

$S.G.H.M.$ คือ ความถ่วงจำเพาะของแร่หนัก ในงานวิจัยนี้คือ สินแร่ดิบบุกในช่วง ถ.พ.6.8-7.11 [6]

$S.G.L.M.$ คือ ความถ่วงจำเพาะของแร่เบา ในงานวิจัยนี้คือ ทรายแม่น้ำมีช่วง ถ.พ.2.5-2.75 [7]

$S.G.M.C.$ คือ ความถ่วงจำเพาะของตัวกลาง โดยปกติถ้าเป็นน้ำ คือ ถ.พ.เป็น 1.0 ส่วนในงานวิจัยชิ้นนี้ตัวกลางคืออากาศซึ่ง ถ.พ.เป็น 0.00121 [8]

ส่วนค่าของ C.C. เป็นการบ่งบอกว่าอยู่ในขอบเขตของการแต่งแร่ด้วยความถ่วงจำเพาะได้หรือไม่ ค่าของ C.C. มีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เส้นขอบเขตของความเป็นไปได้ในการแต่งแร่ด้วยวิธีความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ [9]

ค่า C.C. ที่มากกว่า 2.5 หรือมากกว่านั้น สามารถแยกแร่ได้ตั้งแต่ขนาดใหญ่อันถึงขนาด 74 ไมครอน (200 Mesh)

ค่า C.C. ระหว่าง 2.5 – 1.75 สามารถแยกแร่ได้ตั้งแต่ขนาดใหญ่อันถึงเล็กที่สุดที่สามารถแยกได้ที่ขนาด 149 ไมครอน (100 Mesh)

ค่า C.C. ระหว่าง 1.75 – 1.50 สามารถแยกแร่ได้ตั้งแต่ขนาดใหญ่อันถึงเล็กที่สุดที่สามารถแยกได้ที่ขนาด 1.68 มิลลิเมตร (10 Mesh)

ค่า C.C. ระหว่าง 1.50 – 1.25 สามารถแยกแร่ได้ตั้งแต่ขนาดใหญ่อันถึงเล็กที่สุดที่สามารถแยกได้ที่ขนาด 6.35 มิลลิเมตร (0.25 นิ้ว)

ค่า C.C. น้อยกว่า 1.25 ไม่สมควรแต่งแร่ด้วยคุณสมบัติความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ควรใช้คุณสมบัติอื่นเพื่อแต่งแร่ [9]

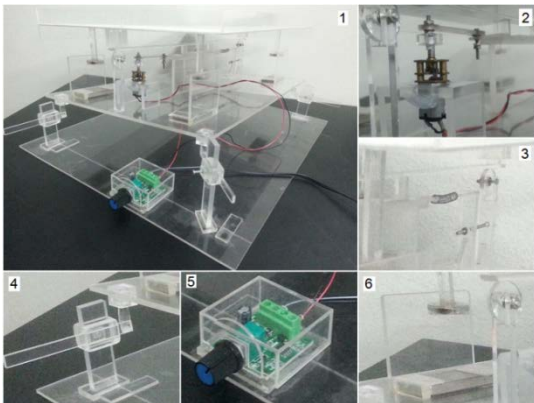
จากการคำนวณจะได้ค่า C.C.ของการแต่งแร่ดิบในตัวกลางน้ำอยู่ในช่วง 4.07 – 3.31 และ C.C.ของการแต่งแร่ดิบในตัวกลางที่เป็นอากาศอยู่ในช่วง 2.84 – 2.47 ซึ่งสามารถแต่งแร่ได้โดยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ

เครื่องมือแต่งแร่เริ่มจากจากร่อนแร่ในน้ำด้วยแรงคน ในยุคต้นทองที่แคลิฟอร์เนีย ในปี 1848 ได้ทำการแยกทองออกจากทรายด้วยวิธีการแยกด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะถูกพัฒนาจนมีการจดสิทธิบัตรมากมายเกี่ยวกับการแต่งแร่ทองคำโดยไม่ใช้น้ำ โตะแต่งแร่แบบแห้งมีการพัฒนาจาก ของ Mcdonald, 1983 [10] จนมาถึง ของ Pneumatic shaking table ของ Thomson ในปี 1978 ซึ่งเป็นการพัฒนาให้เกิด Oliver gravity separator ในปัจจุบัน [11] ซึ่งใช้แยกแร่ทองคำออกจากมลทินที่มีความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะมาก และมีความสม่ำเสมอของเม็ดแร่

การใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันจากกระบวนการที่มีมาตรฐานการผลิตอย่างการแยกพลาสติก Polypropylene, PP ความถ่วงจำเพาะ 0.9 g/cm³ ออกจาก Polyvinyl chloride, PVC ความถ่วงจำเพาะ 1.4 g/cm³ ได้ถูกทดลองแต่งด้วย โตะลม (Air Tabling) ที่มีลมพัดด้านล่างผ่านรูพรุนของตัวโตะสั่น ซึ่งรูนี้จะมีขนาดเล็กกว่า วัสดุเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง ที่ 2.38 - 3.36 mm โดย คีอจิบิยา และ ฟุจิตะ ในปี 2005 [12] นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยโตเกียว ผลการทดลองออกมาพบว่า ที่ช่องวัสดุเบาพบพลาสติก PP มากกว่า 90% และในช่องวัสดุหนัก จะพบ พลาสติก PVC มากกว่า 90% ซึ่งหากเอาไปแยกด้วยตัวกลางน้ำที่มี ถ.พ. 1.0 อาจจะเป็นอีกวิธีแต่วัสดุ นั้นจะเป็ยกหลังกระบวนการ

3. เครื่องมือและแร่ที่ใช้ในการทดลอง

โตะแต่งแร่สร้างจาก Poly-Methyl-methacrylate (PMMA) เป็น Thermo-Setting Plastic ขาโตะที่ตั้งลอยอยู่บนอากาศด้วยอำนาจของแม่เหล็กถาวรชนิดนีโอไดมียม โดยหันขั้วเดียวกันเข้าหากันที่ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (Dynamic Desk, DD.) และส่วนที่ไม่ขยับคือส่วนฐาน (Static Base, SB.) การปรับองศาของโตะปรับที่การตั้งขาในส่วนของ SB. การขยับของส่วน DD. ใช้มอเตอร์กระแสตรงขับโดยทำระบบข้อเหวี่ยงและสปริงโดยใช้ความถี่ที่ 300 รอบต่อนาที ช่วงซั๊กที่ 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 โตะต้นแต่งแร่แบบแห้งที่ใช้ในการทดลอง 1) โตะแต่งแร่ขนาดทดลองแสดงส่วนประกอบที่สำคัญ 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12V ที่ติดตั้งกับข้อเหวี่ยง 3) สปริงที่ใช้ตั้งช่วงซั๊ก 4) แท่นปรับระดับส่วนสูง 1 ด้าน ซึ่งสามารถปรับได้อิสระทั้ง 4 มุมของโตะต้น 5) วงจรปรับรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบที่เหมาะสม 6) แท่นแม่เหล็กชนิดสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งส่วน SB. และแม่เหล็กถาวรชนิดกลมแบบที่ติดตั้งที่ส่วน DD.

แร่ที่ใช้ขนาด -40+60 เมช โดยหัวแร่คือ สินแร่ดิบจาก ประเทศเมียนมาร์ ส่วนหางแร่คือทรายแม่น้ำ

4. ขอบเขตการทดลอง วิธีการทดลอง การคำนวณร้อยละของการเก็บกู้สินแร่ดิบในหัวแร่ การวิเคราะห์หัวแร่และหางแร่

หัวแร่และหางแร่ มาจากคนละแหล่ง ไม่มีแร่ลูกคาบ ไม่มีฝุนแร่ เม็ดแร่ทุกเม็ดเป็นอิสระต่อกัน เม็ดแร่ทุกชนิด มีขนาดใกล้เคียงกันจากการคัดขนาดตะแกรง นำหัวแร่ทั้งหมดบรรจุลงในปริมาตรทรงกระบอก เต็ม แร่จนเต็มปริมาตร เกลี่ย ชั่งน้ำหนัก ทำการทดลองซ้ำจนได้ ค่าการกระจายตัวของข้อมูลน้อยกว่า 3% จากนั้นทำกับหางแร่เช่นกัน จากนั้นแร่ป้อนที่ใช้ในการเริ่มต้นมีสัดส่วน หัวแร่:หางแร่ เป็น 50:50 % โดยน้ำหนัก

การคำนวณร้อยละของการเก็บกู้สินแร่ดิบในหัวแร่ คิดจากสมการที่ 2

$$\%Recovery = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100 \quad (2)$$

โดย

- C คือ น้ำหนักของหัวแร่, กรัม
- c คือ เปอร์เซ็นต์เกรดของสินแร่ดิบในหัวแร่หลังแต่งได้, เปอร์เซ็นต์
- F คือ น้ำหนักของแร่ป้อน โดยในงานวิจัยนี้ผสมขึ้นมาใช้ครั้งละ 10.00 กรัมต่อการทดลอง
- f คือ เปอร์เซ็นต์เกรดของสินแร่ดิบในแร่ป้อนก่อนทำการแต่งแร่ ในงานวิจัยนี้ผสมขึ้นมาได้เป็น 50%

5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ โต้ะสันในพารามิเตอร์ของความลาดเอียงที่มีผลในการ แต่งแร่ จากนั้นจะนำไปสู่การหาผลสรุปของตรรกะการ เลือกพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการแต่งแร่ด้วย โต้ะสันเพื่อ ใช้ในการออกแบบอัลกอริทึม เพื่อนำมาออกแบบสร้าง ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automatic controller) ด้วย เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network : ANN) ซึ่งแบ่งออกเป็น ส่วนที่ 1 คือ ผลการทดลองจาก โต้ะสัน ส่วนที่ 2 ผลการทดลองจากเครื่องมือทาง คณิตศาสตร์ Non-linear regression method ด้วยชุด อัลกอริทึม ของ Generalized Reduced Gradient Algorithm (GRG Algorithm) และ ส่วนที่ 3 แผนผัง กระบวนการไหลของโปรแกรม(Program flow chart) เมื่อจะใช้งานจริงต่อไปกับแร่ต่างๆกับ โต้ะสัน

5.1 ผลการทดลองจากการแต่งแร่ด้วยโต้ะสัน

หลังการเตรียมแร่ โดยจะทำการป้อนแร่ทั้งหมด 10 กรัม เข้าสู่เครื่องแต่งแร่ด้วยโต้ะสันเพื่อหามุมลาดเอียงที่ เหมาะสมที่สุดโดยมุมเอียงตามแกน X ที่ 1 2 3 และ 4 องศา และแกน Y ที่ 3 4 5 และ 6 องศา จากนั้นส่วนของ หัวแร่และส่วนของหางแร่จะถูกนำมาชั่งน้ำหนัก โดย ส่วนของหัวแร่จะนำมาเทียบค่า%สินแร่ดีบุกในหัวแร่ ด้วยสมการความสัมพันธ์ของน้ำหนักในหนึ่งหน่วย ปริมาตรที่สัมพันธ์กับ %ความบริสุทธิ์ของสินแร่ดีบุกใน ตัวอย่าง สุดท้ายจะนำไปเข้าสู่กระบวนการสมมูลมวล เพื่อคำนวณหา%การเก็บกู้สินแร่ดีบุก ซึ่งผลการทดลอง ทั้งหมดได้แสดงไว้ดังนี้ ผลของน้ำหนักหัวแร่ที่มุมเอียง ตามแกน X-Y ที่ (1,3) (1,4) (1,5) (1,6) (2,3) (2,4) (2,5) (2,6) (3,3) (3,4) (3,5) (3,6) (4,3) (4,4) (4,5) และ (4,6) แสดงในตารางที่ 1

น้ำหนักของหัวแร่ที่มากที่สุดพบว่า มุมเอียงตาม แกนแกน X-Y เป็น 3 และ 5 องศา น้ำหนักของหัวแร่ที่ น้อยที่สุดพบว่ามุมเอียงตามแกนแกน X-Y เป็น 1 และ 3 องศา โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหัวแร่เป็น 4.39 กรัม ส่วน เบียงเบนมาตรฐานเป็น 0.82 กรัม สัมประสิทธิ์ของความ ผันแปรของข้อมูลเป็น 18.8% ชุดข้อมูลนี้จะมีจุดสูงสุด ที่ 5.33 กรัมแล้วมีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักหัวแร่ในหน่วย กรัม ที่มุมเอียงตามแกนแกน X-Y ที่ค่าต่างๆ

Conc. weight (g)	X=1°	X=2°	X=3°	X=4°
Y=3°	2.82	3.14	4.21	4.87
Y=4°	4.52	4.35	5.15	4.96
Y=5°	4.82	5.11	5.33	4.96
Y=6°	3.06	3.42	4.61	4.93

%สินแร่ดีบุกในหัวแร่ที่มากที่สุดพบว่า มุมเอียงตาม แกนแกน X-Y เป็น 2 และ 4 องศา น้ำหนักของหัวแร่ที่ น้อยที่สุดพบว่ามุมเอียงตามแกนแกน X-Y เป็น 1 และ 6 องศา โดยค่าเฉลี่ยของ%สินแร่ดีบุกในหัวแร่เป็น 65.69 % ส่วนเบียงเบนมาตรฐานเป็น 6.01 % สัมประสิทธิ์ของ ความผันแปรของข้อมูลเป็น 9.15% โดยชุดข้อมูลนี้มีค่า น้อยที่สุดที่ตำแหน่งความลาดเอียงX-Y ที่ 1,6 องศา จากนั้นก็มีค่ามากในทุกๆ พิกัดที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของ%สินแร่ดีบุกในหัวแร่ที่มุม เอียงตามแกนแกน X-Y ที่ค่าต่างๆ

%Tin ore in conc.	X=1°	X=2°	X=3°	X=4°
Y=3°	62.06	62.10	72.33	66.94
Y=4°	64.38	73.76	67.09	66.63
Y=5°	66.70	68.52	71.48	68.85
Y=6°	52.48	52.78	67.68	67.24

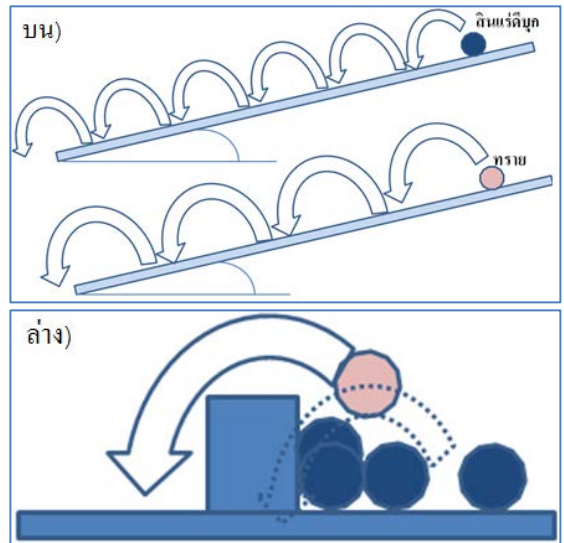
%การเก็บกู้สินแร่ดีบุกที่มากที่สุดพบว่า มุมเอียงตามแนวแกน X-Y เป็น 3 และ 5 องศา น้ำหนักของหัวแร่ที่น้อยที่สุดพบว่ามุมเอียงตามแนวแกน X-Y เป็น 1 และ 6 องศา โดยค่าเฉลี่ยของ%การเก็บกู้สินแร่ดีบุกเป็น 58.4 % ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 14.2 % สัมประสิทธิ์ของความผันแปรของข้อมูลเป็น 24.4% โดยชุดข้อมูลนี้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยบริเวณตอนกลางของข้อมูลส่วนรอบนอกนั้นจะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยโดยรอบในการทดลอง

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของ%การเก็บกู้สินแร่ดีบุกที่มุมเอียงตามแนวแกน X-Y ที่ค่าต่างๆ

%Tin ore recovery	X=1°	X=2°	X=3°	X=4°
Y=3°	35.0	39.2	60.9	65.2
Y=4°	58.2	64.2	69.1	66.1
Y=5°	64.3	70.0	76.2	68.3
Y=6°	32.1	36.1	62.4	66.3

จากการสังเกตถึงการเคลื่อนที่ของเม็ดแร่จากการทดลองจะพบว่าการเคลื่อนที่ของโต๊ะสั่นแบบไปกลับจะทำให้เกิดการชนระหว่างโต๊ะกับเม็ดแร่ ซึ่งเม็ดแร่ขนาดเดียวกันจะได้รับการถ่ายโอนปริมาณโมเมนตัมต่อพื้นที่จากโต๊ะสั่นในปริมาณที่เท่ากัน แต่การที่เม็ดสินแร่ดีบุกที่มีถ.พ.มากกว่าเม็ดแร่ทราย ซึ่งทั้งสองมีปริมาตรที่เท่ากันจึงทำให้มวลต่ออนุภาคของเม็ดสินแร่ดีบุกมีค่ามากกว่าทรายโดยการทดลองนี้จะมีความแตกต่างประมาณ 2.5 เท่า จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ความเร็วของเม็ดแร่ที่เป็นความเร็วหลังการรับการถ่ายโอนโมเมนตัมจากโต๊ะที่ส่งมาให้สินแร่ดีบุกนั้นมีทิศทางออกจากพื้นผิวของโต๊ะสั่นแล้วกระโดดออกจากพื้นผิวโต๊ะได้น้อยกว่ากรณีของเม็ดแร่ทราย และเมื่อตกกระทบสู่พื้น โต๊ะอีก

ครั้งก็จะมีรูปแบบเดิมไปดังที่กล่าวมาจนกระทั่งตกสุดทางออกจากพื้นที่ของโต๊ะสั่นข้างต้นซึ่งอธิบายได้ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 (บน)การเคลื่อนไหวของเม็ดแร่ดีบุกและเม็ดแร่ทรายบนพื้นโต๊ะสั่นที่มีความเอียง (ล่าง) สินแร่ดีบุกที่ติดลูกชิ้นซึ่งสะสมตัวและการเคลื่อนตัวของเม็ดทรายที่เหยียบสินแร่ดีบุกข้ามแนวลูกชิ้นได้

เมื่อทราบกลไกของการเคลื่อนไหวของเม็ดแร่ นั้นจึงได้ออกแบบลูกชิ้นที่มีลักษณะขวางการเดินทางของเม็ดแร่ไว้ นั่นเอง เพราะประโยชน์ของลูกชิ้นโดยแท้ที่จริงคือการสร้างการหน่วงขวางดักเม็ดแร่ที่มี ถ.พ.สูงให้ไม่สามารถกระโดดข้ามลูกชิ้น ได้แล้วติดอยู่ที่ลูกชิ้นและสะสมตัวอยู่บริเวณนั้น ในขณะที่เดียวกันความสูงของมันต้องต่ำกว่าระดับการกระโดดข้ามของเม็ดทรายเช่นกัน ดังนั้นองศาของแกน X ในการทดลองนี้จะเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์ดังนี้ เมื่อความลาดเอียงมากเวลาที่ใช้ในการเดินทางของเม็ดแร่สุดทาง โต๊ะตาม

แนวแกน X จะน้อยตามไปด้วย เมื่อความลาดเอียงมาก ลูกชั้นที่ถูกออกแบบไว้จะมีความสามารถป้องกันการกระโดดข้ามของสินแร่ดีบุกได้น้อย แต่ถ้าความลาดเอียงน้อย โอกาสของเม็ดทรายก็จะมีโอกาสที่กระโดดไม่ข้าม ลูกชั้นด้วย เช่นเดียวกับความเอียงของโต๊ะสั้นตามแนว Y ที่จะมีความสัมพันธ์กับการคายหัวแร่ที่ถูกคักไว้ตามแนวของลูกชั้นด้วย ถ้ามีการสะสมตัวของแร่ดีบุกที่ฐานลูกชั้นก็จะทำให้เม็ดแร่อื่นเหยียบเม็ดแร่ที่ติดบริเวณฐานแล้วกระโดดข้ามผ่านไปได้ ซึ่งผลการทดลองที่ให้ค่า % การเก็บกู้สินแร่ดีบุกที่มีค่ามากที่สุดจึงต้องมีมุมเอียงที่มีค่าเหมาะสมต่อ การถ่ายเทปริมาณ โมเมนตัมต่อพื้นที่ของโต๊ะที่ให้กับเม็ดแร่เพื่อให้มีความเร็วต้นที่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ของสินแร่ดีบุกและเม็ดแร่ทราย ส่วนพารามิเตอร์อื่นเช่นความสูงของลูกชั้น ความเร็วรอบไปกลับในการเคลื่อนที่ของแผ่นพื้นโต๊ะสั้น ความยาวความกว้างของโต๊ะสั้นจะเป็นตัวแปรควบคุม

5.2 การวิเคราะห์ห้วงรอบกระบวนการของการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั้นแยกแร่แบบแห้ง

ผลที่ดีที่สุดได้ทำการทดลองอีกครั้งพร้อมทั้งบันทึกวิดีโอโดยใช้แกน X, Y = 3,5 องศา ถูกนำมาวิเคราะห์รูปแบบของการทดลองของการคัดแยกแร่ตามเวลาสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อทำการป้อนแร่แล้วที่มุมขวาบนของโต๊ะสั้น แร่ที่มีความบริสุทธิ์ 50% สินแร่ดีบุกสีดำเลื่อมซึ่งปนกับทรายเม็ดสีน้ำตาลทั้งสิ้น 10 กรัม จะถูกคั่นในขณะนี้ จะเห็นว่า มีแร่บางส่วนกระโดดข้ามลูกชั้นลำดับที่ 1 ไปแล้วซึ่ง โดยมากเป็นเม็ดทราย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดลองแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั้น ที่วินาทีที่ 1

ในวินาทีที่ 4 เม็ดทรายจะสามารถกระโดดข้ามลูกชั้นที่ 1 ได้โดยที่สินแร่ดีบุกยังคงติดอยู่ที่ลูกชั้นที่เป็นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่ ที่ลูกชั้นที่ 1 นี้กำลังเกิด Segregation effect คือ กระบวนการแยกชั้นของอนุภาคที่มีความแตกต่างกันของความถ่วงจำเพาะเมื่อเกิดการสั่นแนวราบแบบไปกลับอย่างต่อเนื่อง โดยสินแร่ดีบุกจะแทรกซึมตัวลงไป ปริมาตรรวม (Percolation mechanism) อยู่ด้านล่างแล้วทำให้เม็ดทรายเสมือนว่าดันขยับพาตัวเองขึ้นมาอยู่ชั้นด้านบน (Convection mechanism) และการตั้งกองหลังลูกชั้นที่ 1 ก็จะแผ่ฐานออกไปด้านล่างซึ่งจะขึ้นกับชนิดของแร่ด้วยโดยมีปัจจัยของมุมเสถียรภาพตั้งกองของวัสดุ (Angle of repose) เข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย [13] ทั้งยังมีการขยับตัวและมุมเอียงในทิศแกน Y พาอนุภาคลงไปด้านล่างอีกด้วยดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดลองแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั้น ที่วินาทีที่ 4

ในวินาทีที่ 8 เม็ดทรายจำนวนหนึ่งก็ยังเดินทางแบบกระโดดเข้าสู่แนวของลูกชั้นที่ 3 ส่วนเม็ดทรายจำนวนที่มากกว่าได้กระโดดข้ามมายังแนวลูกชั้นที่ 2 แล้ว บริเวณด้านหลังของแนวลูกชั้นที่ 1 การตั้งกองที่สูงเกินไปทำให้สินแร่ดิบุกกระโดดข้ามมายังลูกชั้นแนวที่ 2 ได้ ในช่วงกระบวนการนี้ที่ด้านหลังลูกชั้นก็จะพบ Segregation effect เป็นผลให้พบทรายเสมือนว่าคั่นตัวขึ้นมาเป็นชั้นบนสุดแล้วก็กระโดดไปที่แนวลูกชั้นถัดไป [13] อย่างไรก็ตามพบว่า มีสินแร่ดิบุกจำนวนประปรายเหยียบฐานสินแร่ดิบุกด้านล่างกระโดดมาเช่นกัน ในเรื่องของการตั้งกองสูงและอัตราการกระจายตัวของอนุภาคบนพื้นผิวโต๊ะหลังลูกชั้นนั้น มีปัจจัยเรื่องของ แรงเสียดทาน (Friction force) ที่เพิ่มมากขึ้นจากการซ้อนทับของชั้นแร่แล้วกดทับ และปัจจัยของค่าคงที่ของแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวโต๊ะกับผิวของแร่ (Coefficient friction) โดยในขณะนี้พบว่า ที่หลังแนวลูกชั้นที่ 4 และ 5 มีเม็ดทรายจำนวนหนึ่งตกพื้นที่หน้าโต๊ะลงไปแล้วตามแนวแกน Y โดยพบว่า ปริมาตรแร่นั้น มีสีน้ำตาลเป็นส่วนมากโดยที่พบสินแร่ดิบุกที่มีสีดำปนเจอในส่วนนี้



รูปที่ 6 การทดลองแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่น ที่วินาทีที่ 8

ในวินาทีที่ 12 พื้นที่ในการแยกแร่ถูกใช้ไปจนถึงแนวหลังของลูกชั้นที่ 5 ซึ่งเป็นบริเวณที่ทรายค่อนข้าง

บริสุทธิ์ที่กระโดดมาไกล ส่วนสินแร่ดิบุกที่มีความบริสุทธิ์พบที่บริเวณแนวหลังลูกชั้นที่ 1 กระบวนการของ Segregation effect ก็จะเพิ่มพื้นที่โดยไปเกิดบริเวณแนวหลังลูกชั้นที่ 2 อีกด้วย ส่วนแนวหลังลูกชั้นที่ 3 จะเริ่มมีการสะสมตัวของแร่ทั้งสองชนิด ปริมาณส่วนใหญ่ของทรายที่กระโดดไปเร็วจะเริ่มตกพื้นที่โต๊ะและถูกจัดเป็นหางแร่โดยมีจำนวนสะสมมากขึ้น หั่วแร่ที่สะสมตัวจะเป็นสีดำชัดเจนมากขึ้นที่แนวหลังของลูกชั้นที่ 1 ดังรูปที่ 7



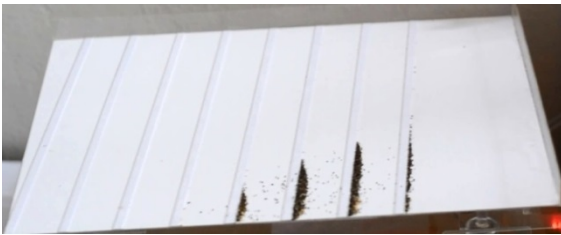
รูปที่ 7 การทดลองแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่น ที่วินาทีที่ 12

ในวินาทีที่ 16 สินแร่ดิบุกที่มีความบริสุทธิ์พบที่บริเวณแนวหลังลูกชั้นที่ 1 และ 2 กระบวนการของ Segregation effect ก็จะเพิ่มพื้นที่โดยไปเกิดบริเวณแนวหลังลูกชั้นที่ 3 และ 4 อีกด้วย หั่วแร่ที่มีความบริสุทธิ์เริ่มพบได้ในปริมาณที่มากขึ้นดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดลองแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่น ที่วินาทีที่ 16

ในวินาทีที่ 20 แร่ทรายทั้งหลายได้กระโดดออกไป ช่วงหลังของแนวลูกชั้นที่ 4 ไปในปริมาณมาก ส่วนที่ยัง ถูกคัด คัดด้านหลังของแนวลูกชั้นที่ 1 2 3 และ 4 เมื่อนำมารวมกันแล้ว นำมาวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสินแร่ดีบุกในตัวอย่างแล้วจะพบประมาณ 70% และจะได้น้ำหนักหัวแร่คิดเป็น 5.33 กรัมจาก 10 กรัมป้อน เมื่อคำนวณออกมาในปริมาณของ % การเก็บสินแร่ดีบุกมีค่า 76.2% นั่นหมายถึงกระบวนการนี้สินแร่ดีบุกได้ปะปนไปกับหางแร่ประมาณ 23.8% ซึ่งปริมาณนี้เราสามารถนำมารวมกับ การป้อนครั้งที่ 2 แล้ว ป้อนแร่เพื่อทำการคัดขนาดอีกเพื่อการเก็บแร่ที่สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น หรือถ้าต้องการความบริสุทธิ์ที่มากขึ้น ก็สามารถนำหัวแร่มาใช้เป็นแร่ป้อนอีกครั้งก็ได้ ซึ่งสามารถทำให้ความบริสุทธิ์มากขึ้นกว่า 70% ได้ตามกระบวนการที่กล่าวมา



รูปที่ 9 การทดลองแร่ด้วย โตะสั้น ที่วินาทีที่ 20

จากกระบวนการทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนครบรอบกระบวนการ การป้อนแร่สู่การเก็บหัวแร่ได้ใช้เวลา ที่ 22 วินาทีสำหรับแร่ทั้งหมด 10 กรัม

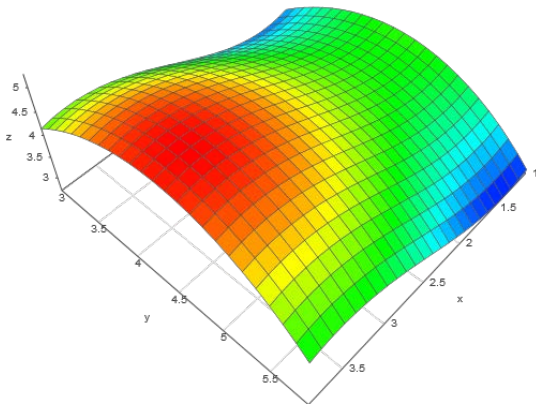
5.3 ผลการหาสมการเพื่ออธิบายพฤติกรรมจาก Generalized Reduced Gradient Algorithm (GRG Algorithm)

การสร้างระนาบปริภูมิสามมิติจากผลการทดลอง จากหัวข้อที่ 4.1 โดยใช้วิธี GRG Nonlinear solving method โดยใช้เงื่อนไขของการเคลื่อนเข้าหาบรรจบกันที่ 0.0001 (Convergence factor) วิธีการทดสอบค่าใช้วิธี Forward derivatives ไปเรื่อยๆ และจำนวนในการทดสอบของค่ามีจำนวน (Population size) ที่ 10000 ค่า โดยเงื่อนไขที่ตรวจสอบของพารามิเตอร์ทั้งหมด เพื่อดำเนินการหาค่าคงที่จากสมการ พหุนามกำลังสาม ซึ่งมีรูปสมการปกติดังสมการที่ 3 ซึ่งเป็น

$$Z = ax^3 + by^3 + cx^2 + dy^2 + ex + fy + g \quad (3)$$

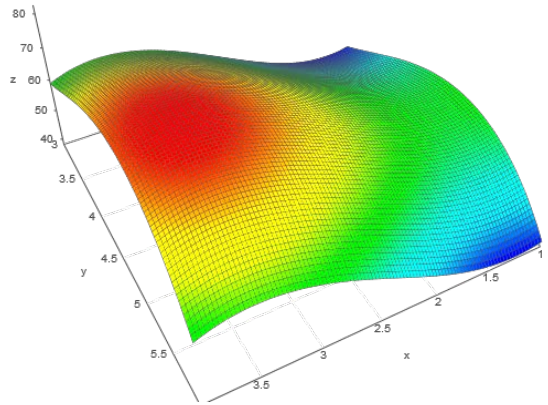
ค่าคงที่ในสมการนี้คือ a b c d e f และ g ทั้งหมดจะถูกนำมาหาค่า เพื่อจะทำสมการความสัมพันธ์ของน้ำหนักหัวแร่ที่ได้กับความสัมพันธ์ขององศามุมเอียงของแกน X และแกน Y ของ โตะสั้น จะได้ตามความสัมพันธ์ดังรูปที่ 10 โดยจุดที่สูงที่สุด มุมเอียงแกน X,Y จะเป็น (3,5) องศา

ซึ่งสมการความสัมพันธ์ของ %สินแร่ดีบุกในหัวแร่ และ %การเก็บสินแร่ดีบุก กับความสัมพันธ์ขององศา มุมเอียงของแกน X และแกน Y ของ โตะสั้น ก็มีผลการทดลองเหมือนกับน้ำหนักหัวแร่ ดังรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



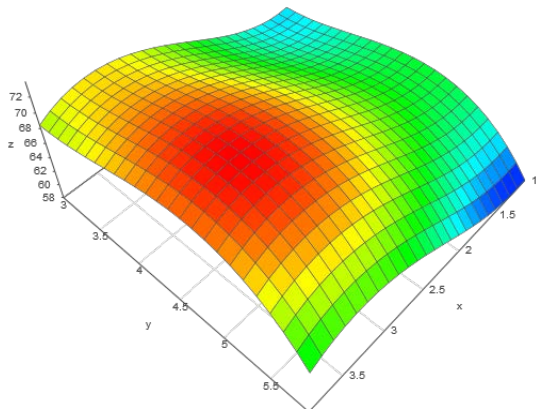
$$Z_1 = -0.23x^3 - 0.04y^3 + 1.69x^2 - 0.03y^2 - 3.28x + 2.62y - 1.64$$

รูปที่ 10 สมการและระนาบปริภูมิของความสัมพันธ์ของน้ำหนักหัวแร่ (Z_1) ที่สัมพันธ์กับ มุมเอียงของแกน X และแกน Y, $R^2 = 82\%$



$$Z_3 = -4.19x^3 - 2.76y^3 + 30.04x^2 + 28.58y^2 - 55.78x - 83.49y + 136.86$$

รูปที่ 12 สมการและระนาบปริภูมิของความสัมพันธ์ของการเก็บกู้สินแร่ดีบุก (Z_3) ที่สัมพันธ์กับ มุมเอียงของแกน X และแกน Y, $R^2 = 81\%$



$$Z_2 = -1.66x^3 - 1.37y^3 + 11.14x^2 + 15.78y^2 - 18.91x - 57.50y + 138.53$$

รูปที่ 11 สมการและระนาบปริภูมิของความสัมพันธ์ของ%สินแร่ดีบุกในหัวแร่ (Z_2) ที่สัมพันธ์กับ มุมเอียงของแกน X และแกน Y, $R^2 = 64\%$

เมื่อพิจารณาถึงการแต่งแร่เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าจึงควรพิจารณาถึงเรื่องของ %การเก็บกู้สินแร่ดีบุกสูงสุดมากกว่าที่จะพิจารณาเรื่องของ %สินแร่ดีบุกในหัวแร่ซึ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ของสินแร่ในตัวอย่างเพราะจะเป็นการทิ้งสินแร่ดีบุกไว้ในหางแร่ ดังนั้นการหาจุดสูงสุดของ%การเก็บกู้สินแร่ดีบุก จะใช้กระบวนการอนุพันธ์ทางคณิตศาสตร์ (Differentiate) ของ สมการ

$$Z_3 = -4.19x^3 - 2.76y^3 + 30.04x^2 + 28.58y^2 - 55.78x - 83.49y + 136.86 \tag{4}$$

$$\frac{dz_3}{dx} = -12.57x^2 + 60.08x - 55.78 = 0 \tag{5}$$

โดยได้ค่า x ที่ความชันเป็น 0 ที่ 3.61 และ 1.23

$$\frac{dz_3}{dy} = -8.28x^2 + 57.16x - 83.49 = 0$$

(6)

โดยได้ค่า y ที่ความชันเป็น 0 ที่ 4.80 และ 2.09

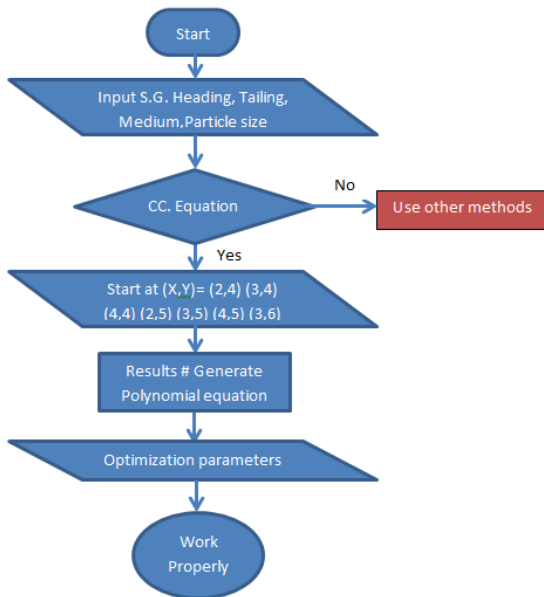
ดังนั้นคู่อันดับที่จะแทนค่าใน Z_3 คือ (3.61,4.80) โดยคู่อันดับนี้ให้ค่า Z_3 %การเก็บกู้แร่สูงสุดที่ 82% ($R^2=81\%$) จากการคำนวณ และ (1.23,2.09) แต่คู่อันดับที่ 2 เป็นความชันเป็นศูนย์ในลักษณะกราฟพาราโบลาคว่ำจึงจะให้ค่าต่ำสุดออกมาที่%การเก็บกู้แร่สูงสุดที่ 31%

จากพฤติกรรมดังกล่าวจึงทำให้ทราบว่า การที่โตะสั้นเอียงน้อย จะทำให้การส่งแรงจากโตะสั้นไปที่อนุภาคน้อยทำให้กระโดดข้ามลูกชั้นได้ไม่ดีและมีแนวโน้มที่จะใช้เวลานานบนโตะสั้นดังนั้นการเริ่มต้นเพื่อทดสอบค่าตามแนวแกน X ควรเริ่มจากค่ามุมเอียงที่ 3 องศาเป็นต้นไป และตามแนวแกน Y ควรเริ่มจากค่ามุมเอียงที่ 3 องศาเป็นต้นไป เพราะเมื่อหางแร่กระโดดไม่พ้นลูกชั้น จึงทำให้หัวแร่และหางแร่สะสมตัวบริเวณลูกชั้น จึงพบว่าแร่มีความบริสุทธิ์น้อย เมื่อโตะสั้นเอียงมากจะทำให้อนุภาครั่วใช้แรงปฏิกิริยาจากโตะสั้นที่มีต่ออนุภาคมากทำให้กระโดดข้ามลูกชั้นได้ง่ายเกินไป และมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาน้อยเกินไปเพื่อทดสอบค่าตามแนวแกน X ควรใช้ค่ามุมเอียงที่น้อยกว่า 4 องศา และตามแนวแกน Y ควรเริ่มจากค่ามุมเอียงที่น้อยกว่า 6 องศา เพราะจะทำให้ทั้งหัวแร่และหางแร่กระโดดพ้นลูกชั้นไปทั้งหมด จึงพบว่าแร่ที่สะสมตัวบริเวณลูกชั้นมีปริมาณน้อย การหาความเอียงที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่มีความละเอียดอ่อน และต้องใช้ผู้มีประสบการณ์สูงในการตั้งค่าการสั้นและการปรับเปลี่ยน

จากสมการปกติที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ยังจัดว่ามีค่าคงที่ 7 ตัว ยังจัดว่าเป็นสมการที่ซับซ้อน แต่ในลักษณะของการใช้งานด้วยแร่ชนิดเดียวและขนาดของแร่ขนาดเดียว ยังพบว่ามีความห่างไกลที่จะพบสมการ Universal of concentration separation หรือ Empirical equation สำหรับโตะสั้นแต่งแร่สำหรับแร่ทุกชนิด แต่จากการจำลองรูปแบบการทดลองออกมาเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ในครั้งนี้ก็ยังมีส่วนดีที่พบ ค่าของมุมเอียงที่ดีที่สุดในการแต่งแร่ด้วยโตะสั้น ซึ่งนำไปสู่การเลือกใช้ค่ามุมเอียงที่เหมาะสมในแร่อื่นๆ และขนาดอื่นๆอีกด้วยตามแผนผังกระบวนการไหลของโปรแกรม

5.4 แผนผังกระบวนการการไหลของโปรแกรม (Program flow chart)

แผนผังกระบวนการ จะเริ่มจากการหาค่าความถ่วงจำเพาะของหัวแร่ หางแร่ ตัวกลางที่ใช้ในการแต่งแร่ และขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการแต่งแร่ จากนั้นนำมาคำนวณบริเวณที่เป็นไปได้ของการแต่งแร่ด้วยวิธีใช้ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ถ้าไม่อยู่ในพื้นที่ก็จะเสนอให้ใช้วิธีการแต่งแร่อื่น ถ้าอยู่ในพื้นที่จะทำการทดสอบแร่เหล่านั้น โดยความลาดเอียงของแกน X จะอยู่ในช่วง 2 – 4 องศา และความลาดเอียงตามแนวแกน Y จะอยู่ในช่วง 4-6 องศา เมื่อได้ค่าของ %การเก็บกู้แร่ จะนำมาหาสมการพหุนามเพื่อหาค่าคงที่ทั้ง 7 ตัว แล้วหาจุดที่ให้ค่า%การเก็บกู้แร่ ที่สูงสุดจากนั้นก็จะนำมาใช้ตั้งค่าความเอียงของโตะสั้นแต่งแร่ โดยสามารถแสดงแผนผังได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนผังกระบวนการการไหลของโปรแกรม

6. งานพัฒนาในภายภาคหน้า

พารามิเตอร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดแร่ เช่น ความสูงของลูกชิ้น ช่วงชัก ความถี่ จะยังมีการศึกษาต่อไปในอนาคต วัสดุที่ใช้เป็นผิวของโตะที่ต้องสัมผัสกับแร่โดยตรง

ขาโตะในงานนี้ที่ใช้เป็นแม่เหล็กถาวรทั้ง DD และ SD จะถูกพัฒนาเพื่อใช้กับแม่เหล็กไฟฟ้า การควบคุมความสูงต่ำของโตะ ความเอียงองศาของโตะ จะเกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้ามากน้อยจากการควบคุม ณ จุดเดียว สปริงและข้อเหวี่ยงที่ใช้ในการขยับของโตะ จะถูกพัฒนาด้วย แรงผลักแม่เหล็กความถี่ต่ำด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยระบบวงจรควบคุมความถี่

การปรับจูนความเอียงของโตะจะทำการเช็คจากสีหัวแร่ที่ไหลออกมาในช่องหัวแร่จาก Color sensor และจะมีการปรับมุมมองตามแผนผังของกระบวนการไหล

ของโปรแกรมในข้อ 5.3 ซึ่งจะทำให้ได้หัวแร่ที่มีสีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งพบจุดเหมาะสม

สมการ Polynomial กำลังสาม ที่มีตัวแปร 7 ตัวจะยังคงมองหาชุดสมการที่มีความคล่องตัวมากกว่านี้ในอนาคต

การเพิ่มความเร็วของอนุภาคตามแนวแกน X และ Y สามารถนำมาใช้ร่วมกับพัลลวมที่มีความเร็วของลมในการพัดพาอนุภาคในการเดินทางด้วยสำหรับแร่ที่มีมูลค่ามาก แต่แนวคิดนี้จะไม่คุ้มเท่ากับแร่ที่มีราคาถูกเพราะจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

สุดท้ายการควบคุมความลาดเอียง ของโตะ สัน จำนวนหลายตัวเพื่อการแต่งแร่ที่ขนาดแตกต่างกันในเวลาเดียวกันด้วย ระบบแหล่งจ่ายไฟเดียว มีแผนผังกระบวนการการไหลของโปรแกรมรูปแบบเดียว และมีการใช้คนควบคุมจำนวนน้อยโดยเป็นระบบโตะแต่งแร่ที่ไม่ใช้น้ำในการแต่งแร่ จะตอบสนองกับการออกแบบโรงแต่งแร่ที่ใช้กับชุดแต่งแร่ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Mobile plant) เพื่อให้ชาวบ้านได้สามารถลงทุนได้เพื่อการพัฒนาแหล่งแร่อย่างยั่งยืนกับภาคประชาชนท้องถิ่น หลังจากนั้นเจ้าของเหมืองรายใหญ่ก็จะรับซื้อหัวแร่จากชาวบ้าน เพราะปัจจุบันการแต่งแร่ในปัจจุบันนายทุนจะได้ประโยชน์มากกว่าชาวบ้านในสายตานักสิ่งแวดล้อม

7. สรุปผลการทดลอง

การแต่งแร่ด้วยวิธีใช้ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะด้วยเครื่องโตะสันแบบแห้งสามารถแต่งแร่สาริตสินุกออกจากทรายได้ กลศาสตร์การเคลื่อนตัวแบบกระโดดของเม็ดแร่บนโตะที่มีความเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ผิวของโตะ สันกับเม็ดแร่ ยังพบว่าเม็ดทรายจะมี

การเคลื่อนไหลไปสู่ทางเร็วกว่าเม็ดดินุกซึ่งอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างและโมเมนต์ของเม็ดแร่หลังการชน

การติดตั้งแนวลูกชั้นบนพื้นโต๊ะตามแนวแกน Y จะพบปรากฏการณ์ Segregation effect บริเวณหลังการแนวลูกชั้น ซึ่งเกิดจากผลของ Percolation mechanism และผลของ Convection mechanism ของเม็ดแร่ดินุกกับเม็ดทราย

การทดลองป้อนแร่ที่ มีมุมเอียงตามแนวแกน X, Y = 3,5 องศา เป็นการทดลองที่ให้ผลดีที่สุด พบว่าจากการป้อนแร่ 10 กรัม น้ำหนักของหัวแร่เก็บได้ 5.33 กรัม คิดเป็น 53.3% ของแร่ป้อน โดยเปอร์เซ็นต์สินแร่ดินุกในหัวแร่ถูกปรับปรุงขึ้นมาจาก 50% เป็น 71.48% และเปอร์เซ็นต์การเก็บกู้สินแร่ดินุกเท่ากับ 76.2%

ระนาบปริภูมิสามมิติจากผลของการเก็บกู้สินแร่ดินุกทุกการทดลอง ถูกนำมาสร้างสมการพหุนามกำลังสามโดยใช้ GRG Nonlinear solving method พบว่า มีค่า $R^2 = 81\%$ ความยุ่งยากของค่าคงที่ 7 ตัวยังคงเป็นเรื่องยากสมการนี้ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการหาความเอียงตามแนวแกน X-Y เพื่อให้ได้ค่า Z (%การเก็บกู้สินแร่ดินุก) ที่ดีที่สุดตามแผนผังกระบวนการไหลของโปรแกรมต่อไปในอนาคต เมื่อใช้พร้อมกันหลายยูนิต สำหรับการแต่งแร่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยจะควบคุมโต๊ะสั่นด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าในท้ายที่สุด

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับสินแร่ดินุกที่ใช้ในการทดลองถูกบริจาคจาก ผู้ประกอบการซึ่งไม่ประสงค์ออกนาม จากแหล่งแร่มาวฉี (Mawchi) สหพันธรัฐเมียนมาร์ ส่วนโต๊ะแต่งแร่นี้ถูกสร้างจากกรวางแผน ออกแบบ คำนวณ และควบคุมการผลิตโดย

นายศิโรตม์ ศิริลักษณ์ ขอบคุณเป็นอย่างสูงในส่วนของ การผลิตที่ทำด้วยความตั้งใจและมีฝีมืออันประณีต โดย นายภิเชก ศรีบุญเรือง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณจรัสชัย รัตนาลดาวัลย์ และ ภคศิริ ศิริลักษณ์ ซึ่งเปิดโอกาสให้ใช้เวลาทุ่มเททำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนคอยช่วยเหลือผู้วิจัยเสมอมาจนเสร็จสิ้น

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Klemm, R. Klemm and A. Murr, "Gold of the Pharaohs--6000 years of gold mining in Egypt and Nubia," *Journal of African Earth Sciences*, Vol.33(3-4),pp. 643-659, 2001.
- [2] H. U. Sverdrup and P. Schlyter, "Modeling the survival of Athenian owl tetradrachms struck in the period from 561-42 BC from then to the present.," in *Proceedings of the 30th international conference of the system dynamics society*, St. Gallen, Switzerland, Vol. 5, pp. 4024-43, 2012.
- [3] S. Siriluck, "Neodymium magnet and mineral processing engineering," *Engineering Journal*, Chiangmai University, Vol.20(2),pp. 1-9, 2013.
- [4] S. Siriluck and A. Chomseang, "Dressing Concentrated Iron-Ore from Iron-Ore Tailing Using High Alumina Jig Ragging By Concentrator Jig," in *The 1st National Conference on Engineering Research for Thailand Development*, Chiangmai, Thailand, 2011.

- [5] S. Roy, "Recovery Improvement of Fine Iron Ore Particles by Multi Gravity Separation," *The Open Mineral Processing Journal*, Vol.2(14), pp. 17--30, 2009.
- [6] F. Aplan, "Gravity Concentration," Fuerstenau, MC E Han, KN (Ed.). *Principles of Mineral Processing*. SME, pp. 185-219, 2003.
- [7] M. A. El-Reedy, "Concrete and Materials Tests," in *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*, Boca Raton, CRC Press , 2015, p. 137.
- [8] J. M. Moffatt, "Hydrostatics," in *The Book of Science: A Familiar Introduction to the Principles of Natural Philosophy, Adapted to the Comprehension of Young People, Comprising Mechanics, Hydrostatics, Hydraulics, Pneumatics, Acoustics, Pyronomics, Optics, Electricity, Galvanism, Magnetis*, London, Andesite Press, 2015, p. 152.
- [9] A. Gupta and D. S. Yan, "Mineral Processing Design and Operations: an Introduction", Amsterdam in Netherlands: Elsevier B.V, 2006.
- [10] E. H. H. Macdonald, "Alluvial Mining: the Geology, Technology, and Economics of Placers", London: Chapman and Hall, 1983.
- [11] J. Thomas, "Principles of Gravity Separation in Gravity Separation Technology," In: Summarizes the design and operation of the Oliver Gravity separator., Colorado, Oliver Manufacturing Company, Rocky Ford, CO. , 1978, p. 19.
- [12] G. Dodbiba and T. Fujita, "Separation of Plastics for Recycling," in *7th World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration*, Beijing, China , 2005.
- [13] A. Jain, M. J. Metzger and B. Glasser, "Effect of Particle Size Distribution on Segregation in Vibrated Systems," *Powder Technology*, 237, pp. 543-553, 2013.