

รายงานวิชาการ

ฉบับที่ กนอ. /2563

การเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์

กลุ่มนวัตกรรมอุตสาหกรรมแร่

กองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
นายวิษณุ ทับเที่ยง

ผู้อำนวยการกองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง
นายสกล อนันต์วณิชย์ชา

หัวหน้ากลุ่มนวัตกรรมอุตสาหกรรมแร่
นายบวรวิทย์ อัครจันทโชติ

จัดพิมพ์โดย กองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
75/10 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท
เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 02-2023558 โทรสาร 02-2023558

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2563
จำนวน 10 เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

บวรวิทย์ อัครจันทโชติ

“การเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์”

โดย บวรวิทย์ อัครจันทโชติ

เอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์

บรรลือศักดิ์ อินทรศิริ

พิเชษฐ์ แต่งวิเชียร

: กลุ่มนวัตกรรมอุตสาหกรรมแร่

กองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2563

จำนวน 39 หน้า

รายงานวิชาการ ฉบับที่ กนอ. /2563

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำรายงานขอขอบคุณกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานให้ความช่วยเหลือทดลองเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ จากกระบวนการทำเหมืองและแต่งแร่ จนประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ รวมทั้งขอขอบพระคุณในความกรุณาไปยัง คุณสกล อนันต์วิชัยชา ผู้อำนวยการกองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำหรับความอนุเคราะห์และการสนับสนุนต่างๆ รวมถึงข้อคิดเห็น และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์เพื่อจัดทำรายงานการศึกษาฉบับนี้

บทคัดย่อ

แร่แคลไซต์เป็นแร่อุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ ที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากมาย ในอุตสาหกรรมสี อาหารสัตว์ และเคมีภัณฑ์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ดำเนินการศึกษาวจัย เพื่อเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำเหมืองและแต่งแร่ของผู้ผลิต ซึ่งมีการสะสม ปริมาณมากและเพิ่มขึ้นทุกปี โดยหางแร่ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ หางแร่แคลไซต์ชนิดหยาบ ขนาดประมาณ 5 - 15 มิลลิเมตร และหางแร่แคลไซต์ชนิดละเอียดขนาด -0.5 มิลลิเมตร ซึ่งในเบื้องต้น คาดการณ์ว่า หางแร่ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสะสมรวมกันประมาณ 100,000 ตัน และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกๆปี

ผลิตภัณฑ์แคลไซต์แบ่งคุณภาพตามความสว่าง (Lightness, L) ในปัจจุบันคือผลิตภัณฑ์ที่มีปริ มारการใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไป กำหนดค่าความสว่าง (Lightness, L) ไม่น้อยกว่า 90 อุปสรรค โดย หางแร่ทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากคุณสมบัติด้านความสว่าง (Lightness, L) โดยวิเคราะห์ได้อยู่ ในช่วง 60-80 เท่านั้น

นอกจากปัจจัยด้านความสว่างแล้ว คณะผู้ศึกษายังใช้ระบบการวัดสีที่แตกต่างกัน ระหว่าง หางแร่ที่ผลิตได้ กับผลิตภัณฑ์แคลไซต์มาตรฐาน เรียกว่า ค่า ΔE โดยค่า ΔE ยิ่งมีค่าน้อยเท่าใดแสดงว่าตัวอย่าง ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกับมีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกันมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นหากตัวอย่างที่ทำการทดลองมีค่า ΔE ที่เทียบกับแร่แคลไซต์มาตรฐาน แล้วน้อยก็แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีคุณภาพใกล้เคียงแร่แคลไซต์มาตรฐาน

ในเบื้องต้นคณะผู้ศึกษา ได้วางแผนการทดลอง โดยอาศัยวิธีการหลัก 3 วิธีได้แก่ การคิดขนาด การล้างดินที่เป็นมลทินออก และวิธีการทางเคมีในการใช้สารละลายล้างดินที่เป็นมลทินออก เพื่อให้ผิวหางแร่มี ค่าความสว่างที่สูงขึ้น

สามารถ สรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. หางแร่ชนิดหยาบขนาด -20+30 เมช มีค่าสีใกล้เคียงกับแร่คุณภาพ B มากที่สุด มีค่าความ สว่าง (L) ประมาณ 88

2. ในการเพิ่มคุณภาพหางแร่ชนิดละเอียด ควรจะล้างที่ความเข้มข้นของแร่ต่อน้ำ ในช่วงระหว่างร้อยละ 30-40(% Solid) เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที แต่ไม่เกิน 60 นาที ได้ค่าความสว่าง (L) ประมาณ 88 ซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้ทดแทนวัตถุดิบได้โดยตรง

3. หากต้องการเพิ่มคุณภาพหางแร่ทั้งสองชนิดให้มีคุณภาพทัดเทียมกับผลิตภัณฑ์แคลไซต์ มาตรฐานที่มีการใช้ประโยชน์ ควรจะเพิ่มวิธีการทางเคมีเพิ่มเติม ได้แก่

3.1 นำหางแร่แคลไซต์ชนิดหยาบ ไปกวนกับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น ของกรด 0.5 โมลาร์ ผสมกับแร่ในอัตราส่วนแร่ต่อกรด 50% และทำการกวนเป็นเวลา 10 นาที ได้หางแร่ ที่มีความสว่าง (L) 92

3.2 นำหางแร่แคลไซต์ชนิดละเอียด นำไปกวนกับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นของกรด 0.5 โมลาร์ ผสมกับแร่ด้วยอัตราส่วนแร่ต่อกรด 50% และทำการกวนเป็นเวลา 10 นาที ได้หางแร่ ที่มีความสว่าง (L) 92

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกนอก	1
ปกใน	2
กิตติกรรมประกาศ	3
บทคัดย่อ	4
สารบัญ	5
สารบัญภาพ	7
สารบัญตาราง	8
บทที่ 1 บทนำ	9
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินการ	9
1.2 วัตถุประสงค์	9
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	9
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	10
บทที่ 2 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 แร่แคลไซต์ (Calcite)	11
2.2 คุณลักษณะของตัวอย่างแร่แคลไซต์ที่ทำการทดลอง	14
2.3 ระบบสี CIE L,a,b	14
บทที่ 3 การเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดหยาบ	17
3.1 แนวคิดการทดลอง	17
3.2 ขอบเขตการทดลอง	17
3.3 ผลการทดลอง	20
3.4 สรุปผลการทดลอง	22
บทที่ 4 การเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดละเอียด	24
4.1 แนวคิดการทดลอง	24
4.2 ขอบเขตการทดลอง	24
4.3 ผลการทดลอง	26
4.4 สรุปผลการทดลอง	30
บทที่ 5 การเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ ด้วยวิธีการทางเคมี	31
5.1 แนวคิดในการทดลอง	31

5.2	ขอบเขตการทดลอง	31
5.3	ผลการทดลอง	34
5.4	สรุปผลการทดลอง	37
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	38
6.1	สรุปผลการศึกษาที่สำคัญ	38
6.2	ข้อเสนอแนะในการขยายผลเป็นการทดลองในระดับที่สูงขึ้น	38

สารบัญภาพ

รายการ	หน้า
ภาพที่ 2-1 ผลึกแร่แคลไซต์ (CaCO_3)	11
ภาพที่ 2-2 แบบจำลองระบบสี CIELAB 1976 ซึ่งแสดง L, a, b color space	15
ภาพที่ 2-3 แบบจำลองระบบสี CIE Lab แบบ 3 มิติ	15
ภาพที่ 2-4 แสดงค่า Δa และ Δb ในระบบ CIELAB	16
ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง (Flow sheet)	18
ภาพที่ 3-2 การล้างตัวอย่างด้วยน้ำ	19
ภาพที่ 3-3 การแยกแร่ด้วย Magnetic separator ชนิด Induce roll	19
ภาพที่ 3-4 การแยกแร่ด้วย Magnetic separator ชนิด Induce roll	20
ภาพที่ 3-5 แผนภูมิเส้นแสดงการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง	21
ภาพที่ 4-1 การกวนและล้างด้วยน้ำ	24
ภาพที่ 4-2 ขั้นตอนการทดลองเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดละเอียด (ละเอียด)	25
ภาพที่ 4-3 การล้างตัวอย่างและการอบแห้ง	25
ภาพที่ 4-4 แผนภูมิเส้นแสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดแร่	26
ภาพที่ 4-5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และค่า ΔE ของหัวแร่ที่ผ่านการกวนและล้าง	27
ภาพที่ 4-6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า % SOLID กับ ΔE เมื่อควบคุมเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที	28
ภาพที่ 4-7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า ΔE ของหัวแร่ ที่ได้จากการทดลองปรับตัวแปร %SOLID และเวลา	30
ภาพที่ 5-1 แผนผังกระบวนการทดลองฟอกสีตัวอย่างแร่แคลไซต์ชนิด ละเอียด	32
ภาพที่ 5-2 การทดลองฟอกสีตัวอย่างแร่แคลไซต์ชนิด ละเอียด	32
ภาพที่ 5-3 การอบแห้งและการวัดสีตัวอย่าง หลังการทดลองฟอกสี	33
ภาพที่ 5-4 แผนผังกระบวนการทดลองฟอกสีตัวอย่างแร่แคลไซต์ชนิด ละเอียด	33

สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 3-1 แสดงผลการทดสอบการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Sieve Analysis)	20
ตารางที่ 3-2 แสดงผลการวัดสีและค่า ΔE ของตัวอย่างก่อนล้าง ที่ช่วงขนาดต่าง ๆ	21
ตารางที่ 3-3 แสดงค่า ΔE ของแร่ที่ผ่านการล้างและไม่ติดแม่เหล็กที่ขนาดต่าง ๆ	22
ตารางที่ 3-4 แสดงค่า ΔE เฉลี่ยของหัวแร่แต่ละช่วงขนาด	22
ตารางที่ 4-1 ผลการกระจายตัวของเม็ดแร่ (Sieve Analysis)	26
ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกวน และ ΔE ของหางแร่ที่ผ่านการล้าง	27
ตารางที่ 4-3 ผลการวัดสีเฉลี่ย และ ค่า ΔE ของหัวแร่ เมื่อควบคุมเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที	28
ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองเพิ่มคุณภาพ โดยปรับสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) และระยะเวลา	29
ตารางที่ 5-1 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.1 โมลาร์	34
ตารางที่ 5-2 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.2 โมลาร์	34
ตารางที่ 5-3 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.3 โมลาร์	35
ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.4 โมลาร์	35
ตารางที่ 5-5 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.5 โมลาร์	36
ตารางที่ 5-6 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง หยาบ ที่ความเข้มข้นกรด 0.5 โมลาร์	36

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินการ

ผู้ประกอบการทำเหมืองและการแต่งแร่แคลไซต์ โยดทั่วไปผลิตแร่แคลไซต์สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในกลุ่มอุตสาหกรรมสี อาหารสัตว์ และเคมีภัณฑ์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้ดำเนินการศึกษาวิจัย ในการเพิ่มคุณภาพหางแร่ โดยมีเป้าหมายของหางแร่ที่นำมาใช้ในการศึกษาคั้งนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ หางแร่แคลไซต์จากกระบวนการล้างแร่แคลไซต์ มีขนาดเม็ดแร่ โตกกว่า 300 ไมครอน แต่ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และหางแร่ขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร มีการคาดการณ์ปริมาณหางแร่ทั้ง 2 แบบมีปริมาณสะสม ณ ปัจจุบัน 100,000 ตัน และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกๆปี ซึ่งปริมาณแร่ที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปัญหาด้านการบริหารจัดการหางแร่ของสถานประกอบการเป็นอย่างยิ่ง

ผลิตภัณฑ์แคลไซต์แบ่งคุณภาพตามความสว่าง (Lightness, L) ในปัจจุบันคือผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไป กำหนดค่าความสว่าง (Lightness, L) ไม่น้อยกว่า 90 อุปสรรค โดยหางแร่ทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากคุณสมบัติด้านความสว่าง (Lightness, L) โดยวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 60-80 เท่านั้น

ในการศึกษาวิจัยนี้ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ พิจารณาใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ของสีที่ว่า “หากของ 2 อย่าง มีสีที่เหมือนหรือใกล้เคียงกันมาก เมื่อวัดค่าความแตกต่างของสีแล้วย่อมมีค่าที่แตกต่างกันน้อย “ ในทางวิทยาศาสตร์ค่าความแตกต่างของสีคือค่า ΔE โดยค่า ΔE มีค่ายิ่งน้อยเท่าไรก็แสดงให้ว่ามีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกันมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นหากตัวอย่างที่ทำการทดลองมีค่า ΔE ที่เทียบกับแร่มาตรฐานแล้วน้อยก็แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีคุณภาพใกล้เคียงแร่มาตรฐาน(ค่า $\Delta E < 1.00$ หมายถึงไม่มีความแตกต่างในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญในการเปรียบเทียบสองสีควบคู่กันไป $\Delta E < 3.00$ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไป)

แนวความคิดเบื้องต้นในการศึกษาก็คือ หางแร่ที่ใช้ในการศึกษามีค่า ΔE เมื่อเทียบกับแร่มาตรฐานสูงมาก ก็เนื่องจากว่ามีฝุ่นและสิ่งสกปรกเคลือบเม็ดแร่ เมื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกออก แร่ก็น่าจะมีสีที่ใกล้เคียงกับแร่มาตรฐาน ยิ่งขึ้น โดยวิธีการที่ใช้ในการศึกษานี้ก็คือ คัดขนาด การกวนแร่ ล้างแร่ด้วยน้ำ และกระบวนการทางเคมี

หากผลการศึกษาคั้งนี้ถูกนำไปพัฒนาต่อยอดในการผลิตจริงที่โรงงานจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่หางแร่ดังกล่าวคิดเป็นมูลค่าประมาณ 45 ล้านบาท และยังเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของกิจกรรมของกรม ฯ ในการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการนำแนวคิด Circular Economy มาใช้ในการประกอบกิจการต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษา ทดลองการเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ ให้คุณภาพสูงขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ
- 2) เพื่อนำเสนอแนวคิดในการเพิ่มมูลค่าหางแร่แคลไซต์ ให้มีคุณภาพเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ในภาคอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของคุณภาพและแหล่งที่มาของหางแร่แคลไซต์ และคุณลักษณะการใช้วัตถุดิบของโรงงาน
- 2) วิเคราะห์ทดสอบข้อมูลทั้งทางฟิสิกส์และเคมี ทำการประมวลผลเพื่อออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์
- 3) ทำการทดลองเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ในห้องปฏิบัติการตามที่ได้ออกแบบไว้

4) วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อนำเสนอแนวคิดในการขยายการทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ (pilot scale) ต่อไป

5) สรุปผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) เพิ่มทางเลือกในการพัฒนาทางแร่เคลไซต์ให้มีคุณภาพและมูลค่าสูงขึ้น เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบของโรงงาน ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มของทางแร่ ประมาณ 45 ล้านบาท

2) สามารถนำผลการศึกษาไปเผยแพร่ให้แก่ผู้ประกอบการที่กำลังประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบและการบริหารจัดการทางแร่

3) เป็นกรณีศึกษาตัวอย่างในการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการนำแนวคิด Circular Economy มาใช้ในการประกอบกิจการ

บทที่ 2

แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แร่แคลไซต์ (Calcite)

แร่แคลไซต์ จัดเป็นแร่ที่อยู่ในกลุ่มคาร์บอเนต ($X\text{-CO}_3$) ที่มีความเสถียรมากที่สุดในโลก ชื่อ“แคลไซต์”มาจากคำว่า “Calx” ซึ่งเป็นคำในภาษาละติน หมายถึง ปูนเผา โดยมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี ดังนี้

2.1.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

รูปผลึกของแร่แคลไซต์ มีลักษณะเป็นแบบระบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) ซึ่งสามารถเกิดและพบเป็นรูปผลึกได้มากกว่า 300 แบบและเป็นรูปผลึกที่มีซับซ้อนมาก รูปผลึกที่พบบ่อยคือ รูปผลึกที่เป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน โดยมีแนวแตกเรียบสมบูรณ์ 3 แนว ทำมุมกัน 74 องศา 55 ลิปดา เมื่อเคาะหรือสก๊ตให้แตกออกมาก็จะมีลักษณะเป็นรูปคล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนเสมอ หรือบางครั้งอาจมีลักษณะเป็นแท่งหัวแหลม ๆ ยาว ๆ คล้ายฟันสุนัขเรียกว่า “แร่ฟันหมาหรือหินเขี้ยวหมา” (Dog-tooth Spar) และมีรูปแผ่นแบนหนา ในบางครั้งสามารถพบเกิดเป็นสายแร่ลักษณะเป็นเส้นใยตั้งฉากกับสายแร่ เรียกว่า ซาตินสปาร์ (Satin Spar) เช่นเดียวกับแร่ยิปซัมชนิดซาตินสปาร์ นอกจากนี้ยังอาจเกิดในลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆรวมกันเป็นกระจุก เนื้อแน่นละเอียด หรือพบในลักษณะเป็นหินงอกหินย้อยก็ได้ แร่แคลไซต์มีความแข็งของสเกลมอร์ (Mohs scale) เท่ากับ 3 มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ประมาณ 2.72 ความวาวของผิวแร่มีลักษณะคล้ายแก้ว หรือด้านคล้ายดิน มีความโปร่งใสไปจนถึงโปร่งแสง โดยปกติแร่แคลไซต์ที่พบส่วนใหญ่จะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากตัวแร่มีมลทินปน เช่น พวกแร่ไพไรต์ แร่มาลาไคต์ ทองแดง เป็นต้น สามารถทำให้มีสีอื่นได้ เช่น สีเทา แดง เขียว เหลือง น้ำเงิน น้ำตาล หรือสีดำ ผงละเอียดสีขาวหรือสีเทา แร่แคลไซต์ที่มีความสะอาดที่สุด คือใสหรือไม่มีสี เรียกว่า “ไอซ์แลนด์สปาร์” (Iceland Spar)



ภาพที่ 2-1 ผลึกแร่แคลไซต์ (CaCO_3)

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

แร่แคลไซต์ สูตรเคมี คือ CaCO_3 มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ CaO 56.0% และ CO_2 44.0% บางชนิดอาจมีแมงกานีส สังกะสี หรือเหล็กเข้าไปแทนที่ธาตุแคลเซียม หากมีการแทนที่อย่างสมบูรณ์ด้วยธาตุแมงกานีส จะได้เป็นแร่โรโดโครไซต์ ธาตุแมงกานีสที่เข้าแทนที่แคลเซียมเพียงเล็กน้อยก็จะเปลี่ยนกลายเป็นแร่ซีเดอไรต์ เป็นต้น

2.1.3 ลักษณะเด่นและวิธีการตรวจ

ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ คือหยดกรดเกลือแล้วเกิดเป็นฟองฟู (acid test) เหมือนกับแร่ตระกูล Carbonates ชนิดอื่น เช่น dolomite และ siderite แต่จะไม่ทำปฏิกิริยาเป็นฟองฟูเหมือนแร่แคลไซต์ มีค่าความแข็งที่ผิว เท่ากับ 3 ตามระดับสเกลของมอร์ (Mohs scale) เมื่อเอามีดหรือเหรียญทองแดงขีดก็จะเกิดเป็นรอย และมีลักษณะเด่นที่รอยแยกแนวเรียบเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ลักษณะเป็นแท่งปลายแหลม ยาวๆคล้ายฟันสุนัขความยาวคล้ายแก้ว

2.1.4 การเกิดแร่

แร่แคลไซต์จัดเป็นแร่ประกอบหินที่สามารถพบเห็นได้มากที่สุด โดยพบเป็นแร่สำคัญในหินตะกอนมวลขนาดใหญ่ และสามารถพบได้ทั่วไปในหินชั้นและหินแปร โดยเฉพาะบริเวณที่มีหินปูนในตัวหินปูนเองอาจมีสายแร่แคลไซต์ ตัดผ่านหรือตกผลึกใหม่เนื่องจากความร้อนหรือความดันกลายเป็นหินอ่อน นอกจากนี้ยังพบแคลไซต์ในโพรงของหินภูเขาไฟเช่นหินบะซอลต์ และพบเป็นเพื่อนแร่อยู่ในแร่ชนิดอื่น เช่นในแร่ Fluorite, quartz, barite, sphalerite, galena, celestite, sulfur, gold, copper, emerald, apatite, biotite, zeolites, แร่ตระกูล sulfides, carbonates, borates และ แร่โลหะพื้นฐานชนิดต่างๆ ที่เกิดจากน้ำร้อนใต้ผิวโลก (Hydrothermal Deposits) โดยแบ่งการเกิดของแคลเซียมคาร์บอเนตได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่ หินคาร์บอเนต (Carbonate Rock) และแร่แคลไซต์ (Calcite)

2.1.4.1. หินคาร์บอเนต (Carbonate Rock)

หินคาร์บอเนต หมายถึง หินตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต(CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่ เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในรูปของแร่ประกอบหิน ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของหินคาร์บอเนตได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการกำเนิดหิน

1) หินตะกอนคาร์บอเนต (Sedimentary Carbonate Rock)

การจำแนกชนิดของหินตามหลักการทางธรณีวิทยาของหินคาร์บอเนตนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดของแร่องค์ประกอบ สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

หินปูน(Lime Stone) จัดเป็นหินตามธรรมชาติที่ประกอบไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต(CaCO_3) ซึ่งเกิดอยู่ในรูปแคลไซต์(Calcite) หรือบางครั้งจะอยู่ในรูปของอราโกไนต์(Aragonite) ซึ่งทั้งสองมีสูตรเคมีเหมือนกัน แต่มีรูปร่างผลึกแตกต่างกัน โดโลไมต์ (Dolomite, CaMgCO_3) เป็นแร่อีกชนิดหนึ่งที่พบมากในหินปูน โดโลไมต์ส่วนมากจะเกิดจากการแทนที่โดยปฏิกิริยาของแมงกานีสในรูปสารละลายที่เพิ่มขึ้นในหินปูน ในบรรดาหินตะกอนทั้งหมดประมาณร้อยละ 20 เป็นหินปูนหรือโดโลไมต์หรือผสมกันระหว่างสองชนิดนี้ สิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่พบในหินปูน คือ ดินเคลย์ (Clay) ซิลิกา (Silica) สารพวกอินทรีย์วัตถุ และกลุ่มแร่ออกซิไฮดรอกไซด์ของเหล็ก ส่วนใหญ่หินปูนมักเกิดจากกระบวนการชีวดินทรีย์ (Biogenic Process) และจากสิ่งมีชีวิตที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของสิ่งมีชีวิตที่มีส่วนประกอบของคาร์บอเนตที่ห่อหุ้มตัวอยู่ (Carbonate-secreting Organisms) หรือคาร์บอเนตชนิดอินทรีย์ที่ด้วยโครงสร้างกระดูกทั้งหมดในร่างกายของสิ่งมีชีวิต หรือบางครั้งตะกอนคาร์บอเนตอาจเกิดจากกระบวนการตกผลึกทางเคมีของสารอนินทรีย์ต่าง ๆ จากน้ำทะเลโดยตรง ในบริเวณน้ำนิ่งหรือน้ำไหลช้า (Low-Energy Environment) เช่นในทะเลสาบน้ำเค็ม (Lagoon) และบริเวณน้ำลึกซึ่งมักมีความบริสุทธิ์ต่ำ เป็นต้น

ชอล์ก (Chalk) เป็นหินปูนรวมเนื้อละเอียดเกิดในน้ำตื้น ประกอบไปด้วยซากสัตว์ในทะเล

มาร์ล (MarL) เป็นหินปูนเนื้อร่วนมีแหล่งกำเนิดในทะเลสาบ ซึ่งได้แคลเซียมคาร์บอเนตจากลำธารหรือน้ำพุ

ทราเวอร์ทีน (Travertine) จัดเป็นหินปูนที่มีลักษณะเนื้อหลายแบบ ขึ้นอยู่กับพื้นที่แต่ละแหล่งที่เกิด บางแหล่งอาจมีลักษณะเนื้อแน่น เป็นเส้นใย หรือเป็นชั้นๆ หรืออ่อนนุ่มและมีรูพรุน ซึ่งเรียกกันว่า Calcarous Tufa ซึ่งทราเวอร์ทีนส่วนใหญ่จะเกิดจากการตกผลึกอย่างรวดเร็วของแคลเซียมคาร์บอเนตรอบๆน้ำพุร้อน

2) หินอัคนีคาร์บอเนต (Igneous Carbonate rock)

เป็นลักษณะพิเศษของหินอัคนีที่มีคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบหลัก แม้จะมีปริมาณน้อย แต่ในบริเวณที่ขาดแคลนหินคาร์บอเนตก็สามารถนำมาใช้ทดแทนได้เป็นอย่างดี

3) หินแปรคาร์บอเนต (Metamorphic Carbonate rock)

เป็นหินปูนหรือโดโลไมต์ที่มีการจัดเรียงรูผลึกใหม่ เป็นที่รู้จักกันดีคือ หินอ่อน (Marble) นั้นเอง ซึ่งเกิดจากความร้อนใต้พิภพ

2.1.4.2 แร่แคลไซต์

แร่แคลไซต์ (Calcite) หรือแคลสปาร์ (Calspar) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ผลึกของแคลไซต์มีหลายชนิดทำให้มีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของผลึกที่พบเห็น โดยสามารถพบเห็นได้ทั่วไปทั้งหินตะกอนและบริเวณหินแปร โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นแหล่งหินปูนจะมีโอกาสพบแร่แคลไซต์ได้มาก หรือแม้บางครั้งในเนื้อหินปูนอาจมีสายแร่แคลไซต์ตัดผ่านหรือตัวหินปูนมีการตกผลึกใหม่เนื่องจากความร้อนและความดันสูง จากใต้พิภพจนกลายเป็นหินอ่อน ซึ่งในเนื้อหินอ่อนสามารถพบแร่แคลไซต์ได้เสมอ แร่แคลไซต์เป็นแร่ทุติยภูมิในหินอัคนี เนื่องจากการสลายตัวของ Lime Stone หรืออาจพบในช่องว่างรูโพรงของหินลาวา เช่น หินบะซอลต์ นอกจากนี้ยังอาจพบในสายแร่บางชนิด เช่น ฟลูออไรต์ เป็นต้น

2.1.5 ธรณีวิทยาแหล่งแร่

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยาเบื้องต้นของแร่แคลไซต์จากการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งหินปูน (Limestone) และแหล่งแร่แคลไซต์ (Calcite) ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต แร่แคลไซต์สามารถพบได้ทั่วไปในพื้นที่ที่มีหินชั้นและหินแปร โดยเฉพาะในบริเวณที่มีหินปูนมักจะพบแร่แคลไซต์ได้มาก ในตัวหินปูนเองอาจมีสายแร่แคลไซต์ตัดผ่าน

2.1.6 แหล่งแร่

1) แหล่งแร่ในประเทศ

สามารถพบทั่วไปในจังหวัดที่มีหินปูน ตั้งแต่เชียงรายจนถึงจังหวัดยะลา พบมากจังหวัดลพบุรี สระบุรี จันทบุรี กาญจนบุรี ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครสวรรค์ และเพชรบุรี โดยแหล่งแร่แคลไซต์ที่มีคุณภาพสูงสามารถทำการผลิตเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ได้แก่ จังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา

2) แหล่งแร่ต่างประเทศ

ในต่างประเทศมีแหล่งสำคัญมากมาย เกินกว่าที่ทางผู้ศึกษาจะอธิบายได้หมด จะขอกกล่าวเพียงแค่แหล่งที่มีความสำคัญและมีชื่อเสียง เช่น ที่ภูเขาอาร์ช ประเทศเยอรมนี แหล่งแร่ที่คัมเบรียและแคนคาไซต์ ประเทศอังกฤษ ประเทศแม็กซิโก ไอล์แลนด์ โรมานี รัสเซีย นามิเบีย คองโก และสหรัฐอเมริกา และแหล่งอื่น ๆ ทั่วโลก

2.1.7 ประโยชน์ของแร่แคลไซต์

จากคุณสมบัติที่ดีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่สามารถบดให้เป็นผงละเอียดได้ง่าย มีความเสถียรภาพทางเคมีและไม่เป็นพิษ และคุณสมบัติอื่น ๆ โดยเฉพาะความขางสูง (Brightness) และการดูดซึมน้ำมัน (Oil Absorption) ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถนำไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมสี เช่น

1. แร่แคลไซต์ที่คุณภาพต่ำจะใช้ทำปูนซีเมนต์และปูนขาว นำมาบดผสมทำอาหารสัตว์ ผสมทำเครื่องเคลือบดินเผา
2. แร่แคลไซต์ที่มีคุณภาพสูงจะใช้เป็นฟิลเลอร์ผสมในอุตสาหกรรมพลาสติกหรือยาง อุตสาหกรรมสี ช่วยให้สีมีความต่อเนื่องและเป็นเนื้อเดียวกัน
3. แร่แคลไซต์นำมาเพิ่มเนื้อกระดาษช่วยให้เกิดการใช้เยื่อกระดาษลดลงในอุตสาหกรรมกระดาษ และใช้เป็นตัวเคลือบผิวให้เนื้อผิวกระดาษเรียบเนียนยิ่งขึ้น และช่วยให้กระดาษสามารถดูดซึมหมึกและสีพิมพ์ได้ดีขึ้น
4. แร่แคลไซต์ที่มีลักษณะเป็นก้อนหากมีสีและเนื้อสวยงามนำมาขัดทำหินประดับ
5. แร่แคลไซต์ที่มีลักษณะเป็นผลึกจะใช้เป็นวัตถุดิบผลิตแสงเลเซอร์

2.2 คุณลักษณะของตัวอย่างแร่แคลไซต์ที่ทำการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้อ้างอิงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคลไซต์ซึ่งกำหนดคุณภาพตามความสว่าง (Lightness, L) ในปัจจุบันคือผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไป กำหนดค่าความสว่าง (Lightness, L) ไม่น้อยกว่า 90 อุปรรรค โดยทางแร่ทั้ง 2 ชนิดที่นำมาทำการศึกษาวิจัยไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากคุณสมบัติด้านความสว่าง (Lightness, L) จากการวิเคราะห์ได้ค่าความสว่างอยู่ในช่วง 60-80

2.3 ระบบสี CIE L,a,b

2.3.1 การวัดค่าความขาวด้วยระบบสี CIE Lab Color Model

CIE Lab คือ ระบบสีที่ไม่อิงอุปกรณ์ (Device Independent Color) เป็นระบบสีที่สัมพันธ์กับการมองเห็นของมนุษย์ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ใดๆ กล่าวคือเมื่อวัดค่าสีได้เท่ากันแล้ว อุปกรณ์ต่างๆ จะแสดงสีที่เห็นจะเหมือนกันในสภาวะแวดล้อมอย่างเดียวกัน เช่น กล้อง สแกนเนอร์ จอภาพ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

คิดค้นโดย สถาบัน Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) พัฒนาระบบสี CIE Lab ในปี ค.ศ. 1976 โดยอาศัยทฤษฎีการมองเห็นสีตรงข้าม โดยให้ตัวเลขในการแทนค่าสีต่างๆในแกน L , a , b ดังนี้

L (Lightness) ใช้กำหนดค่าความสว่าง-มืด

โดย $L = 100$ (Bright)

และ $L = 0$ (Dark)

a (Red – Green) ใช้กำหนดค่าสีแดงและสีเขียว

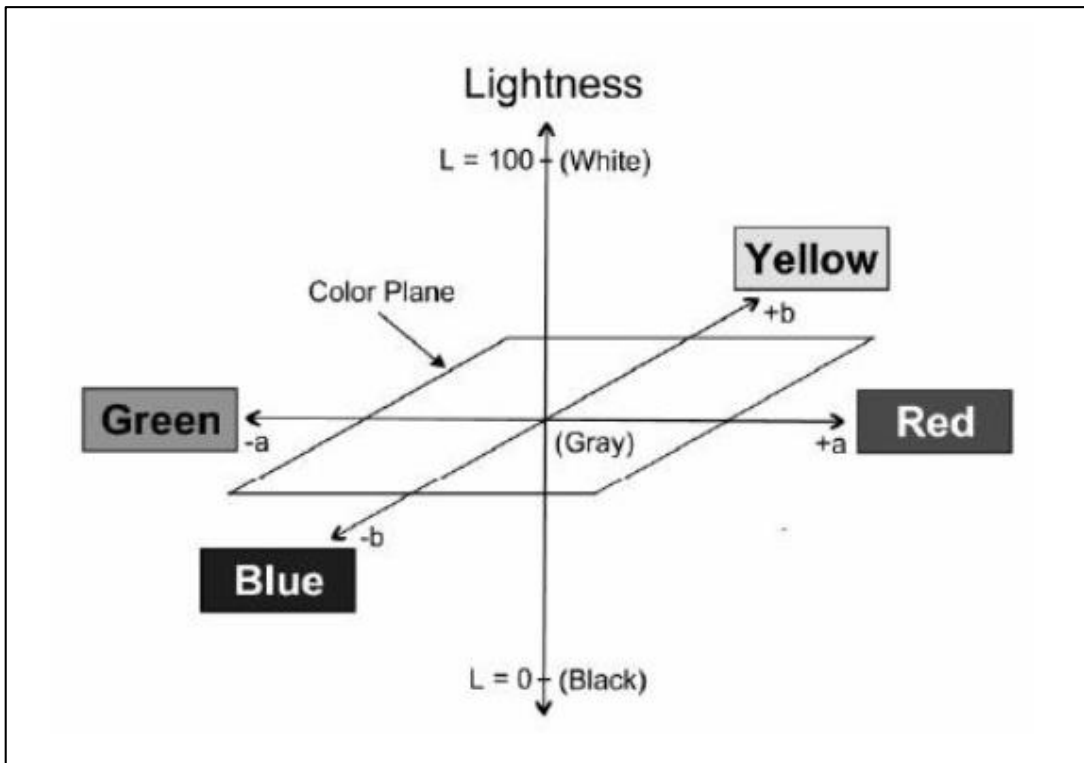
โดย $+a$ มีค่าเป็นบวก = สีแดง (Red)

และ $-a$ มีค่าเป็นบวก = สีเขียว (Green)

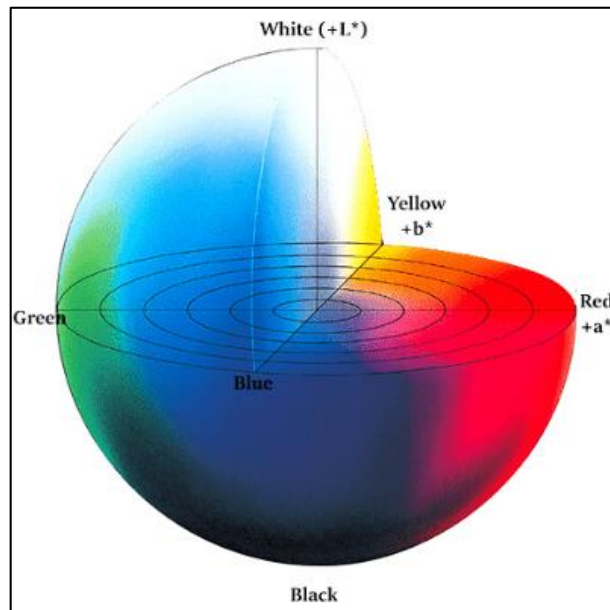
b (Blue – Yellow) ใช้กำหนดค่าสีน้ำเงินและสีเหลือง

โดย $+b$ มีค่าเป็นบวก = สีเหลือง (Yellow)

และ $-b$ มีค่าเป็นบวก = สีน้ำเงิน (Blue)



ภาพที่ 2-2 แบบจำลองระบบสี CIELAB 1976 ซึ่งแสดง L, a, b color space



ภาพที่ 2-3 แบบจำลองระบบสี CIE Lab แบบ 3 มิติ

2.3.2 การวัดความแตกต่างของสี (Color differences)

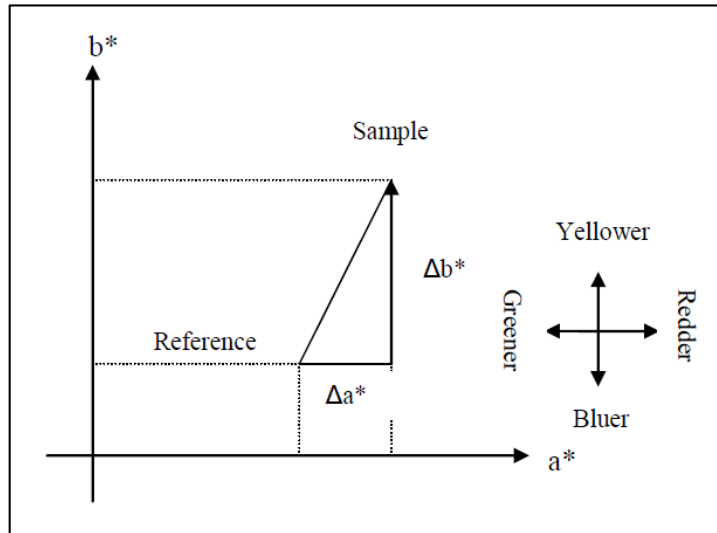
การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ระบบ CIE ดังรูปที่ 2 โดยการหาค่าความแตกต่างของสีนั้นสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง, ความเป็นสีแดง-เขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ดังนี้คือ

$$\begin{aligned}\Delta L &= L \text{ ของตัวอย่าง} - L \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน} \\ \Delta a &= a \text{ ของตัวอย่าง} - a \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน} \\ \Delta b &= b \text{ ของตัวอย่าง} - b \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}\end{aligned}$$

เมื่อได้ค่า ΔL , Δa และ Δb แล้วทำการคำนวณหาค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (total color difference) หรือเรียกว่า ΔE^* โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ ค่า(ΔE) มากกว่า 2 ถือว่าสีเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง(ขาวขึ้น) เมื่อทำการวัดเทียบกับตัวอย่างดิบและหากค่า(ΔE) ที่น้อยกว่า 2 ถือว่าสีเริ่มมีสีใกล้เคียงกับสีของตัวอย่างแรกที่ทำกรเปรียบเทียบ



ภาพที่ 2-4 แสดงค่า Δa และ Δb ในระบบ CIELAB

บทที่ 3

การเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดหยาบ

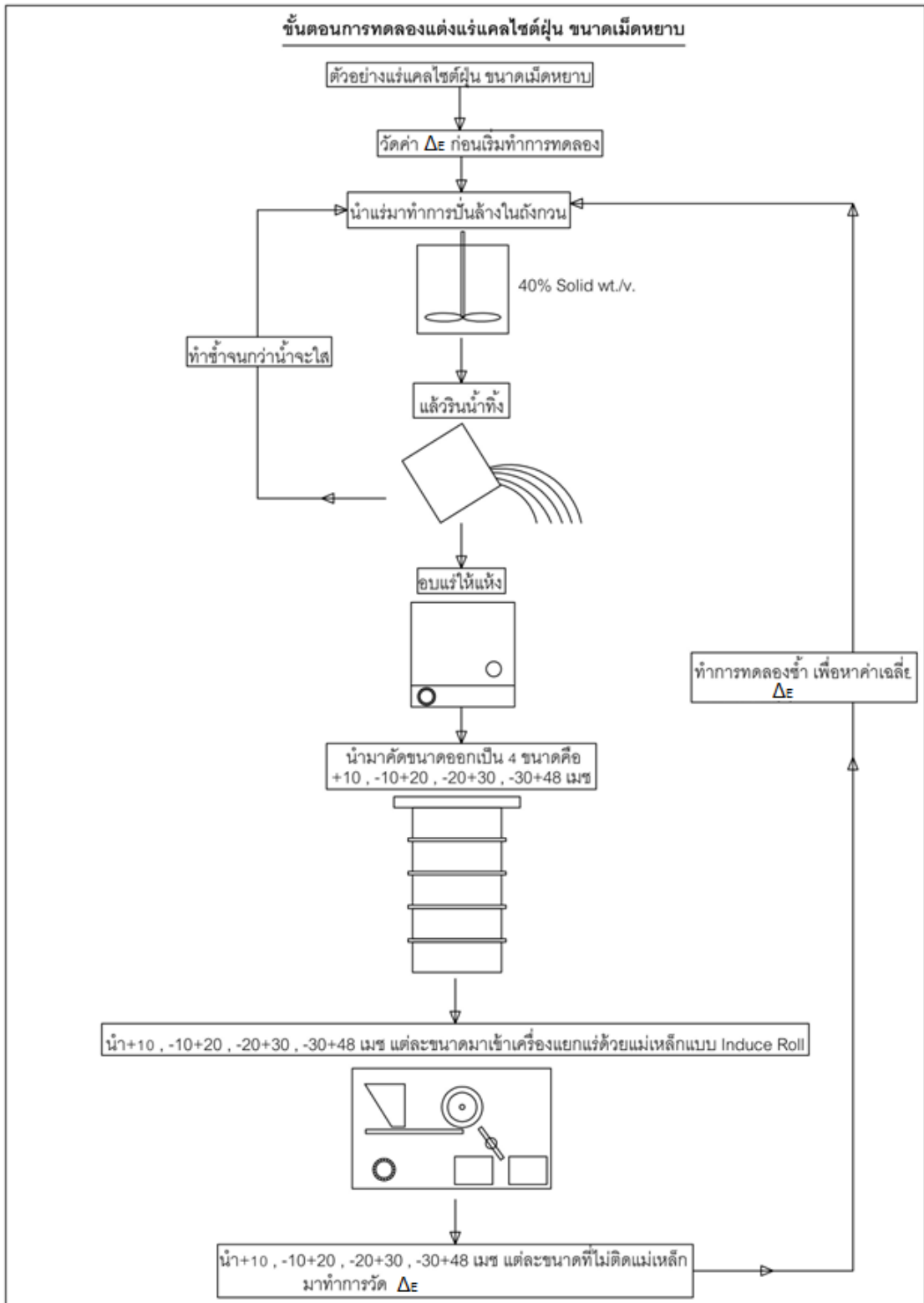
3.1 แนวคิดการทดลอง

ในการล้างแร่แคลไซต์ฝุ่น จะก่อให้เกิดทางแร่แคลไซต์ที่เป็นแร่ขนาดเล็กคือส่วนเม็ดละเอียด เป็นมูลดินทรายไหลลงบ่อบำบัด และส่วนเม็ดหยาบเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ทางแร่ดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไปตามเกณฑ์ที่ถูกค่ากำหนด แต่มีค่าความสว่างและสีที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์และไม่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบได้ รวมถึงข้อจำกัดด้านอุปกรณ์การวัดสีระหว่างห้องปฏิบัติการของผู้ผลิต และกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ซึ่งมีระบบการตรวจวัดที่แตกต่างกัน ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการส่งตัวอย่างที่ได้จากการทดลองไปยังห้องปฏิบัติการของผู้ผลิตแคลไซต์ และใช้เวลานานกว่าจะทราบผลการทดสอบและนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองต่อได้ คณะผู้ศึกษาจึงนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ของสีที่ว่า “หากของ 2 อย่าง มีสีที่เหมือนหรือใกล้เคียงกันมาก เมื่อวัดค่าความแตกต่างของสีแล้วย่อมมีค่าที่แตกต่างกันน้อย” ในทางวิทยาศาสตร์ค่าความแตกต่างของสีคือค่า ΔE โดยค่า ΔE มีค่าน้อยเท่าไรก็แสดงให้ว่ามีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกันมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นหากตัวอย่างที่ทำการทดลองมีค่า ΔE ที่เทียบกับแร่มาตรฐาน แล้วน้อยก็แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีคุณภาพใกล้เคียงแร่มาตรฐาน (ค่า $\Delta E < 1.00$ หมายถึงไม่มีความแตกต่างในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญในการเปรียบเทียบสองสีควบคู่กันไป $\Delta E < 3.00$ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไป) และได้กำหนดเป้าหมายในการทดลองที่ต้องการคือ การเพิ่มมูลค่าทางแร่แคลไซต์เพื่อให้ค่า ΔE ของหัวแร่ที่ได้มีค่าไม่เกิน 1 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์มาตรฐาน

คณะผู้ศึกษาจึงได้ตั้งสมมุติฐานว่า อุปสรรคที่ทำให้ค่า ΔE มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน อาจเกิดจาก การปะปนของมลทินคือดินโคลนและแร่โลหะ และผลการทดสอบโดยการวัดค่าความสว่าง(Lightness, L) ของตัวอย่างทางแร่แต่ละขนาดในเบื้องต้น พบว่า เม็ดแร่แต่ละขนาดจะให้ค่า ΔE ไม่เท่ากัน เนื่องจากมีมลทินเกิดอยู่ที่เม็ดแร่ไม่เท่ากัน อีกทั้งผลการศึกษานี้จะต้องสามารถนำไปขยายเป็นการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้ง่าย ดังนั้น จึงทำการศึกษาโดยเลือกตัวแปรด้านขนาดของเม็ดแร่ และเปรียบเทียบค่า ΔE

3.2 ขอบเขตการทดลอง

- 1) ทดสอบหาการกระจายตัวของขนาดเม็ดแร่ด้วยวิธี Sieve Analysis Test
- 2) ทำการวัดค่าสี (L a และ b) และ ΔE ของทางแร่ส่วนเม็ดหยาบก่อนจะทำการทดลองแต่งแร่ และเปรียบเทียบกับแร่มาตรฐาน
- 3) นำทางแร่ส่วนเม็ดหยาบไปล้างด้วยน้ำให้สะอาดแล้วนำไปอบให้แห้ง
- 4) นำแร่ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว มาคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 10 20 30 และ 48 เมช
- 5) นำแร่แต่ละขนาด (+10 , -10+20 , -20+30 และ -30+48) ทำการทดลองแยกแร่ด้วยแม่เหล็ก โดยเครื่อง Magnetic Separator ชนิด Induce Roll
- 6) ทำการวัดค่าสี (L a และ b) และ ΔE ของตัวอย่างส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก และเปรียบเทียบกับแร่มาตรฐาน
- 7) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 2) ถึง ข้อ 6) จำนวน 5 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง (Flow sheet)



ภาพที่ 3-2 การล้างตัวอย่างด้วยน้ำ



ภาพที่ 3-3 การแยกแร่ด้วย Magnetic separator ชนิด Induce roll



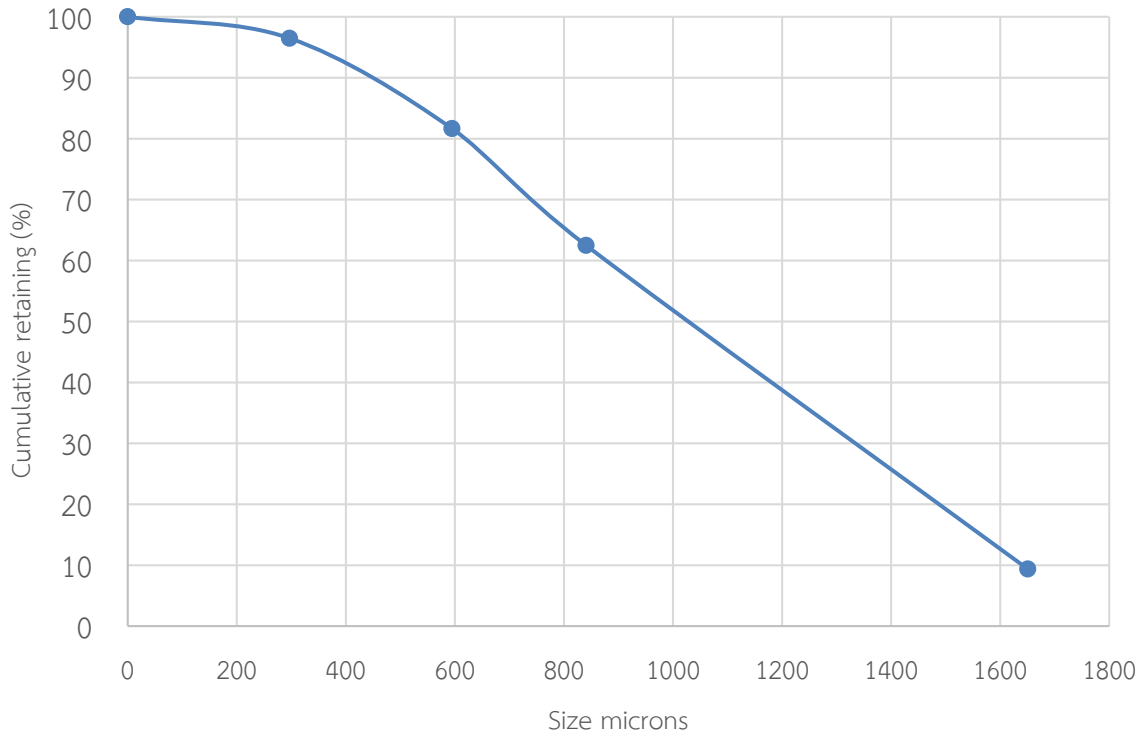
ภาพที่ 3-4 การแยกแร่ด้วย Magnetic separator ชนิด Induce roll

3.3 ผลการทดลอง

3.3.1 ผลการทดสอบการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Sieve Analysis)

ขนาดตะแกรง		น้ำหนักค้างตะแกรง (g.)	ร้อยละของ น้ำหนักค้างตะแกรง	ค้างตะแกรงสะสม Cumulative retained (%)
Mesh	Microns			
10	1651	95.34	9.37	9.37
20	841	540.56	53.1	62.47
30	595	195.18	19.17	81.64
48	297	150.97	14.83	96.47
pan	0	35.95	3.53	100
รวม	-	1018	100	-

ตารางที่ 3-1 แสดงผลการทดสอบการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Sieve Analysis)



ภาพที่ 3-5 แผนภูมิเส้นแสดงการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง

จากผลวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดของตัวอย่างพบว่า ช่วงขนาด-10+20 เมช (841 ไมครอน) เป็นช่วงที่มีปริมาณมากที่สุดของตัวอย่าง โดยมีปริมาณ 53.1 % ของตัวอย่างทั้งหมด และลำดับถัดมาคือช่วงขนาด -20+30 เมช (595 ไมครอน) มีปริมาณ 19.17 % ของตัวอย่างทั้งหมด

3.3.2 ผลการวัดค่าสีของตัวอย่างแร่ก่อนทดลอง

ช่วงขนาด (เมช)	ΔE (เทียบกับแร่มาตรฐาน)	ผลการวัดสี		
		L	a	b
+10	6.96	84.91	2.25	7.85
-10+20	3.06	87.55	-0.07	4.86
-20+30	1.78	89.15	0.35	3.66
-30+48	3.56	87.08	-0.07	5.15

ตารางที่ 3-2 แสดงผลการวัดสีและค่า ΔE ของตัวอย่างก่อนล้าง ที่ช่วงขนาดต่าง ๆ

3.3.3 ค่า ΔE ของตัวอย่างที่ผ่านการล้างแร่ด้วยน้ำและแยกด้วยแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่	ขนาด (เมช)	ร้อยละโดยน้ำหนักของ ส่วนติดแม่เหล็ก	วัดค่า ΔE ของส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก					
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
1	+10	0.7	5.96	6.12	6.21	5.85	6.12	<u>6.05</u>
	-10+20	0.6	3.12	3.06	2.95	2.96	3.15	<u>3.05</u>
	-20+30	0.5	1.35	1.25	1.45	1.48	1.48	<u>1.40</u>
	-30+48	0.6	3.35	3.35	3.15	3.05	3.33	<u>3.25</u>
2	+10	0.6	7.02	6.52	6.90	7.12	6.78	<u>6.87</u>
	-10+20	0.6	3.22	3.06	3.21	3.25	3.06	<u>3.16</u>
	-20+30	0.7	1.56	1.35	1.65	1.35	1.56	<u>1.49</u>
	-30+48	0.8	3.42	3.45	3.12	3.42	3.23	<u>3.33</u>
3	+10	0.6	6.78	6.58	6.65	6.66	6.75	<u>6.68</u>
	-10+20	0.6	2.75	2.65	2.75	2.56	2.65	<u>2.67</u>
	-20+30	0.5	1.64	1.66	1.75	1.64	1.55	<u>1.65</u>
	-30+48	0.6	2.95	2.85	2.97	3.18	2.86	<u>2.96</u>
4	+10	0.6	7.11	7.23	6.98	7.25	7.05	<u>7.12</u>
	-10+20	0.5	2.63	2.60	2.43	2.32	2.65	<u>2.53</u>
	-20+30	0.6	1.42	1.23	1.15	1.45	1.35	<u>1.32</u>
	-30+48	0.6	2.85	3.10	2.95	3.01	2.85	<u>2.95</u>
5	+10	0.6	7.90	7.23	7.56	7.65	7.45	<u>7.56</u>
	-10+20	0.8	3.56	3.32	3.33	3.41	3.40	<u>3.40</u>
	-20+30	0.7	1.80	1.65	1.75	1.82	1.74	<u>1.75</u>
	-30+48	0.6	3.33	3.20	3.12	3.35	3.25	<u>3.25</u>

ตารางที่ 3-3 แสดงค่า ΔE ของแร่ที่ผ่านการล้างและไม่ติดแม่เหล็กที่ขนาดต่างๆ

3.4 สรุปผลการทดลอง

1) จากผลการทดลองทั้ง 5 ตัวอย่าง สามารถสรุปผลค่า ΔE เฉลี่ยของแต่ละช่วงขนาด ได้ดังนี้

ขนาด (เมช)	ค่า ΔE เฉลี่ย
+10	6.86
-10+20	2.96
-20+30	1.52
-30+48	3.15

ตารางที่ 3-4 แสดงค่า ΔE เฉลี่ยของหัวแร่แต่ละช่วงขนาด

2) จากตารางที่ 3-4 พบว่า ช่วงขนาด-20+30 เมช มีค่า ΔE ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.52

3) แม้ว่าค่า ΔE ของช่วงขนาด -20+30 เมช จะเป็นค่าที่ต่ำที่สุดของการทดลองนี้ แต่ยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ต้องการ (ΔE ต้องไม่เกิน 1) อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวสูงกว่าไม่มากนัก คณะผู้ศึกษาจึงขอให้ข้อเสนอแนะว่า ผู้ผลิตแคลไซต์ สามารถคัดขนาดทางแร่ดังกล่าวในช่วงขนาด -20+30 เมช ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำและแยกด้วยแม่เหล็กแล้ว เพื่อนำไปผสม(Blend) กับแร่แคลไซต์เกรดสูงในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อป้อนเข้ากระบวนการบดละเอียดรวมกัน เพื่อให้ได้ Product ที่มีค่า ΔE ผ่านเกณฑ์มาตรฐานพอดี ซึ่งกระบวนการนี้ใช้เงินลงทุนไม่มาก สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ง่าย ซึ่งทางแร่ ขนาด -20+30 เมช จะมีสัดส่วนประมาณ 19 % ของทางแร่ทั้งหมด

บทที่ 4

การเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดละเอียด

4.1 แนวคิดการทดลอง

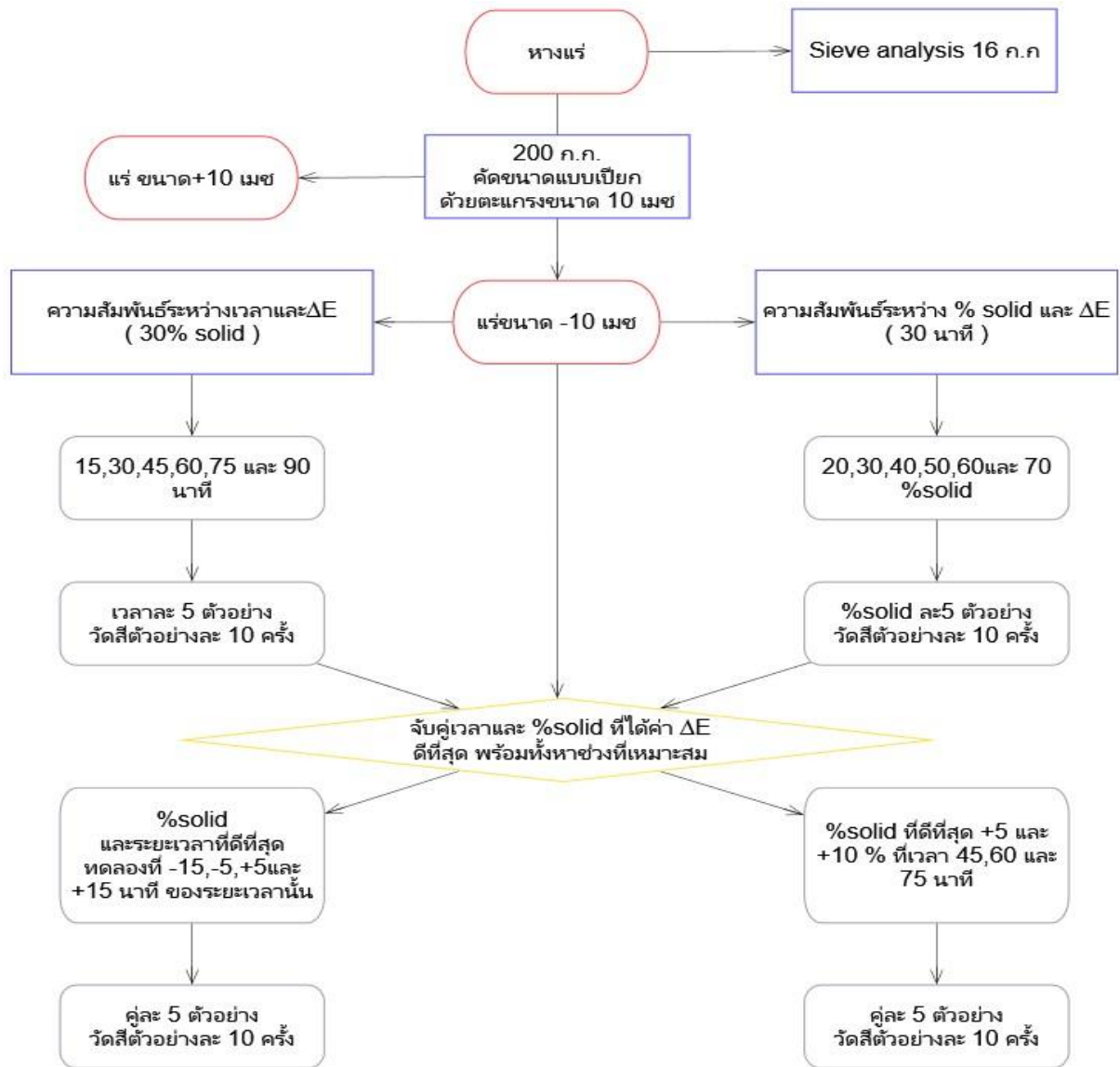
จากการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการวัดสี คณะผู้ศึกษาพบว่าหางแร่ที่ใช้ในการศึกษามีค่า ΔE เมื่อเทียบกับแร่มาตรฐาน สูงมาก อาจมีสาเหตุมาจาก มลทินฝุ่น โคลน และสิ่งสกปรกเคลือบบนผิวเม็ดแร่ ทำให้สภาพผิวมีสีคล้ำเข้ม และมีเม็ดดำปนมาก หากนำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกออกจากผิวแร่ น่าจะทำให้ตัวอย่างมีความสะอาดขึ้นและให้ค่าสีที่ใกล้เคียงกับแร่มาตรฐาน ได้ จึงมีแนวคิดที่จะทดลองนำตัวอย่างหางแร่แคลไซต์ส่วนละเอียดไปผ่านกระบวนการกวนและล้างด้วยน้ำ เพื่อศึกษาว่า ร้อยละของมวลตัวอย่างในน้ำและระยะเวลาการกวนที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อค่าสีของหัวแร่ตัวอย่างหลังการกวนและล้างน้ำอย่างไร โดยควบคุมจำนวนรอบของมอเตอร์ถึงกวนตัวอย่างครั้งที่ 1946 รอบต่อนาที และปริมาณน้ำที่ใช้ผสมตัวอย่างครั้งที่ 1 ลิตร

4.2 ขอบเขตการทดลอง

- 1) ทดสอบหาการกระจายตัวของขนาดเม็ดแร่ด้วยวิธี Sieve Analysis Test
- 2) ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการกวนและล้างแร่ กับคุณภาพของหัวแร่ที่ได้ โดยใช้แร่ขนาด - 10 เมช ไปกวนและล้างกับน้ำสะอาด ที่ระยะเวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที โดยกำหนดค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) คงที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแล้วนำแร่ไปอบแห้ง จากนั้นทำการวัดค่า ΔE และ L เพื่อเปรียบเทียบ
- 3) ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของแร่ในน้ำกับคุณภาพหัวแร่ที่ได้ โดยใช้แร่ขนาด -10 เมช ไปกวนและล้างกับน้ำสะอาด ที่ค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) ที่ 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% โดยควบคุมระยะเวลาการกวนและล้างน้ำครั้งที่ 30 นาที แล้วนำแร่ไปอบแห้ง จากนั้นทำการวัดค่า ΔE และ L เพื่อเปรียบเทียบ
- 4) คัดเลือกระยะเวลาการกวนและล้างแร่และค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) จาก 3.5 และ 3.6 ที่ดีที่สุด มาทำการทดลองอีกครั้ง โดยปรับค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) เพิ่มจากการทดลองเดิม 5% และ 10 % และ ปรับระยะเวลาการกวนและล้างน้ำ เพิ่มขึ้นและลดลง 5 นาที แล้วนำแร่ไปอบแห้ง จากนั้นทำการวัดค่า ΔE และ L เพื่อเปรียบเทียบ



ภาพที่ 4-1 การกวนและล้างด้วยน้ำ



ภาพที่ 4-2 ขั้นตอนการทดลองเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดละเอียด



ภาพที่ 4-3 การล้างตัวอย่างและการอบแห้ง

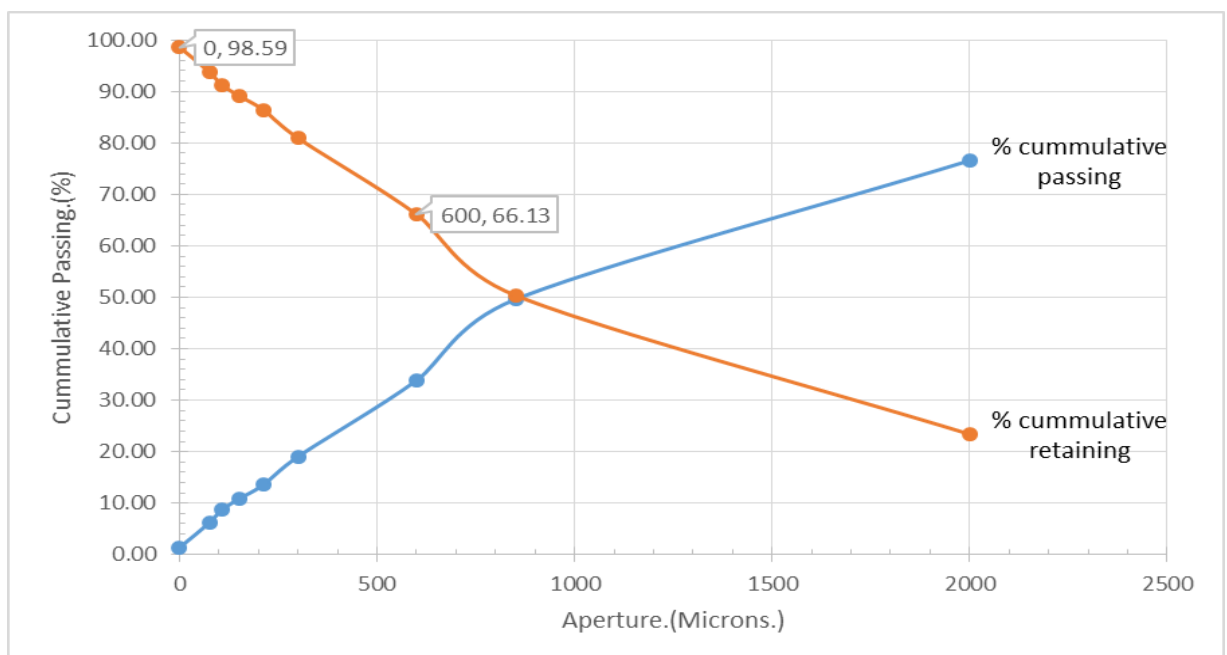
4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดแร่ (Sieve Analysis)

จากผลวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดแร่ (ตารางที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-4) แสดงให้เห็นว่า ช่วงขนาดที่มีปริมาณเม็ดแร่มากที่สุดคือ -10 ถึง +20 เมช (850-2,000 ไมครอน) โดยมีประมาณ 26.97% ของแร่ทั้งหมด รองลงมาคือช่วงขนาด +10 เมช (มากกว่า 2,000 ไมครอน)

ขนาดตะแกรง		น้ำหนัก ค้างตะแกรง (g.)	Retained Sieve (%)	Cumulative Retaining (%)	Cumulative Passing (%)
Aperture (Microns)	Mesh No.				
2000	10	3700	23.42	23.42	76.58
850	20	4261	26.97	50.39	49.61
600	30	2487	15.74	66.13	33.87
300	50	2338	14.80	80.92	19.08
212	70	868	5.49	86.42	13.58
150	100	432	2.73	89.15	10.85
106	140	343	2.17	91.32	8.68
75	200	390	2.47	93.79	6.21
0	pan	758	4.80	98.59	1.41
นน.หลัง Sieve		15,568	15,577	98.59	
สูญเสี		232	223	1.41	100.00
นน.ก่อน Sieve		15,800	15,800	100.00	

ตารางที่ 4-1 ผลการกระจายตัวของเม็ดแร่ (Sieve Analysis)



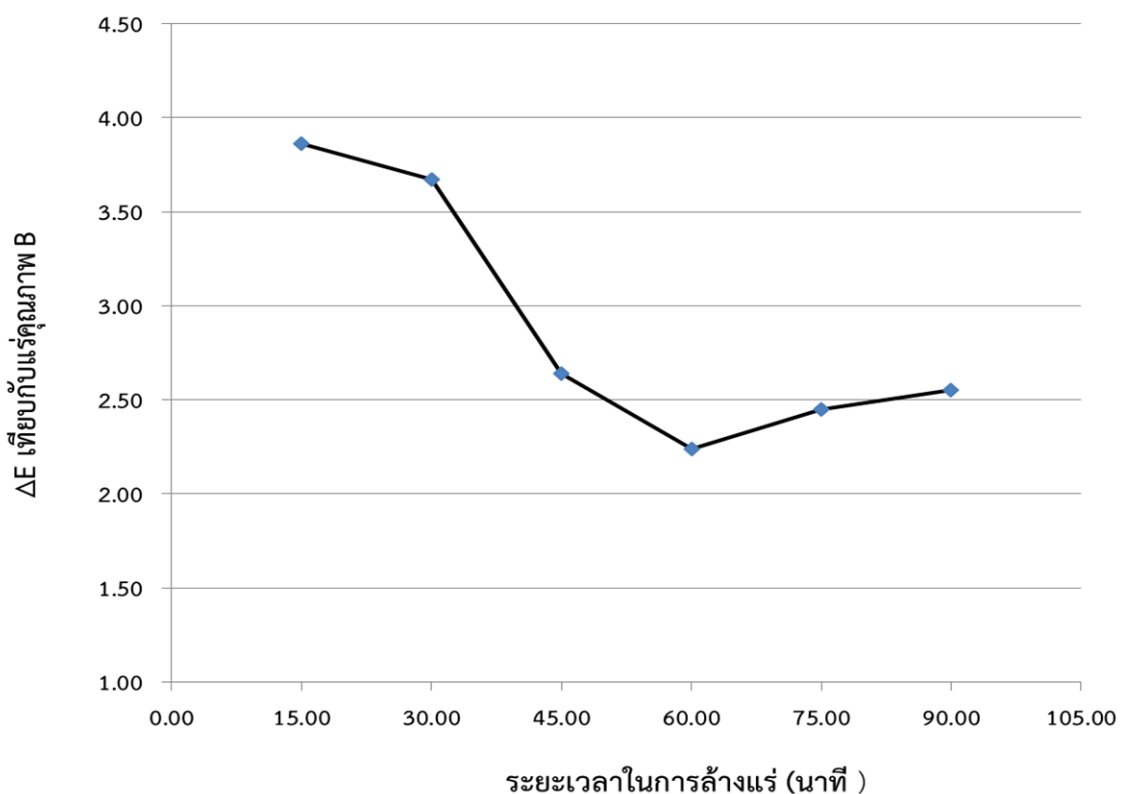
ภาพที่ 4-4 แผนภูมิเส้นแสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดแร่

4.3.2 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกวาด กับ ค่า ΔE ของหัวแร่ที่ได้ เมื่อควบคุม สัดส่วนของแร่ต่อน้ำคงที่ร้อยละ 30 (โดยน้ำหนัก)

จากผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการกวาดและล้างแร่ และค่า ΔE ของหัว แร่ที่ได้ (ตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-5) แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะเวลา 60 นาที ให้ค่า ΔE ดีที่สุดคือที่ 2.24 และ ค่าความสว่าง (L) 88.48 และพบว่าระยะเวลาการล้างแร่แปรผกผันกับค่า ΔE ที่ช่วงเวลา 15 – 60 นาที แต่ที่ ช่วงเวลา 75 – 90 นาที ค่า ΔE กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เวลาที่ใช้ในการ กวาดและล้างแร่ (นาที)	ΔE (เทียบกับแร่ มาตรฐาน)	ผลการวัดสีเฉลี่ย		
		L	a	b
15	3.86	87.16	-0.12	6.36
30	3.67	86.97	0.35	4.90
45	2.64	88.10	-0.02	5.44
60	2.24	88.48	-0.25	5.29
75	2.45	88.22	-0.07	5.16
90	2.55	88.16	-0.22	5.30

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกวาด และ ΔE ของหางแร่ที่ผ่านการล้าง



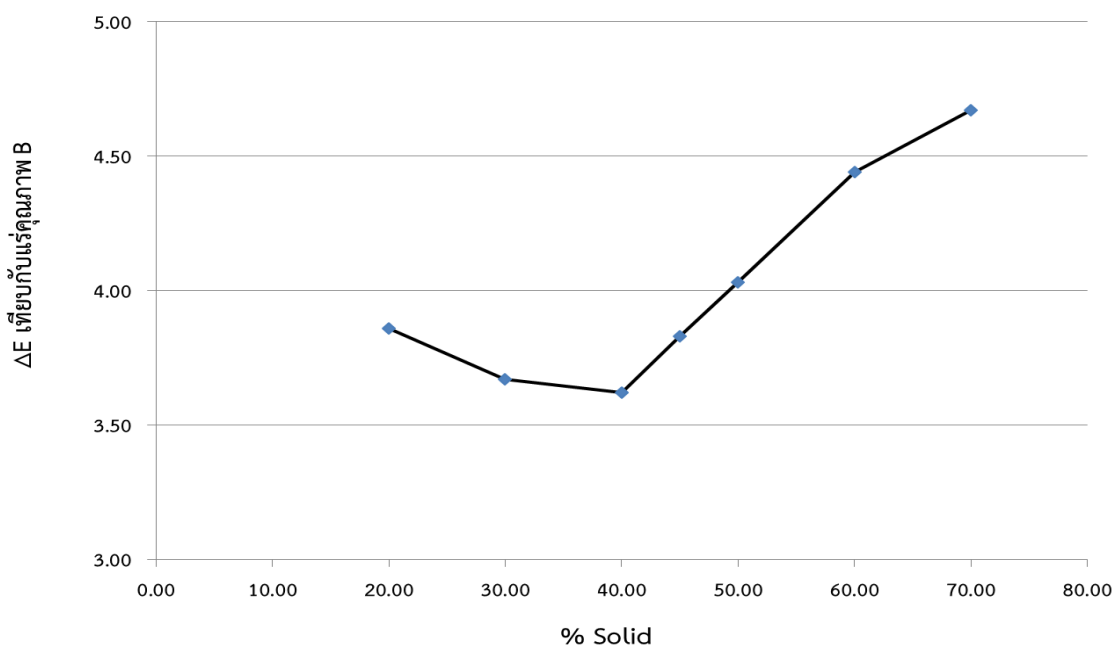
ภาพที่ 4-5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และค่า ΔE ของหัวแร่ที่ผ่านการกวาดและล้าง

4.3.3 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (% Solid) กับค่า ΔE ของหัวแร่ที่ได้ เมื่อควบคุมระยะเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที

จากผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ(% Solid) กับค่า ΔE ของหัวแร่ที่ได้ เมื่อควบคุมระยะเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที (ตารางที่ 4-3 และ ภาพที่ 4-6) แสดงให้เห็นว่า การทดลองที่ 40 % Solid ให้ค่า ΔE ดีที่สุด เท่ากับ 3.62 ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่า ΔE ของหัวแร่จากการทดลองที่ 20 และ 30 % Solid แต่มีค่า ΔE แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับค่า ΔE ที่ได้จากการทดลองที่ 50 % solid และการทดลองที่ค่าสูงกว่า และเมื่อทำการทดลองเพิ่มเติมที่ 45% solid ได้ค่า ΔE เท่ากับ 3.83 ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่ 40 %solid ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่ม % solid สูงกว่า 40% solid จะส่งผลให้ค่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (% Solid)	ΔE (เทียบกับแร่มาตรฐาน)	ผลการวัดสีเฉลี่ย		
		L	a	b
20	3.86	86.77	0.36	4.69
30	3.67	86.97	0.35	4.90
40	3.62	87.16	0.36	5.20
45	3.83	87.53	0.50	6.81
50	4.03	87.27	0.57	6.77
60	4.44	86.68	0.38	6.63
70	4.67	87.06	0.36	7.62

ตารางที่ 4-3 ผลการวัดสีเฉลี่ย และ ค่า ΔE ของหัวแร่ เมื่อควบคุมระยะเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที



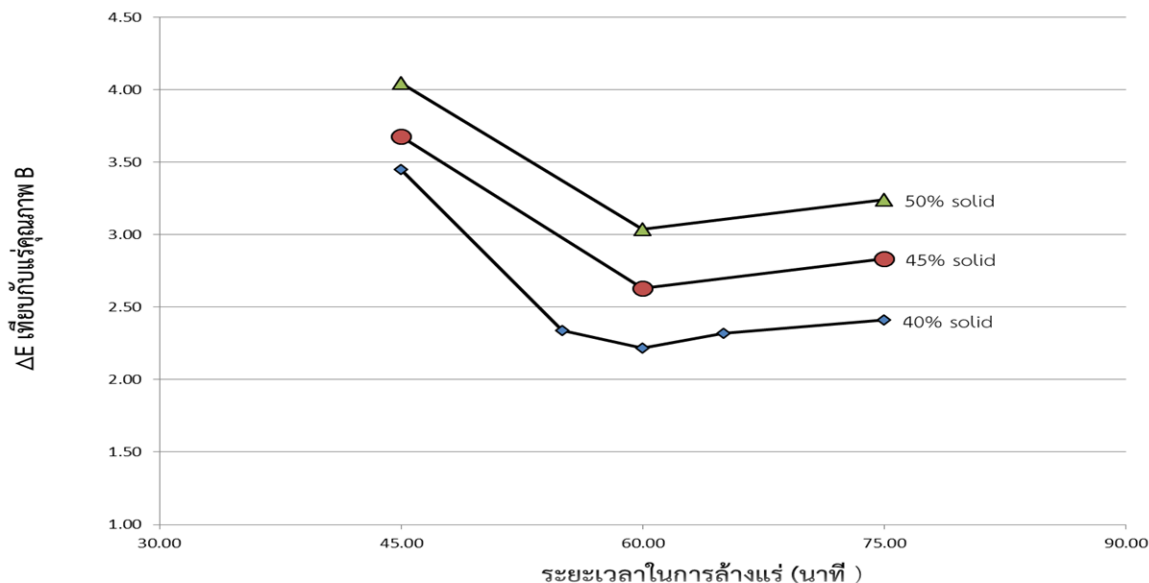
ภาพที่ 4-6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า % SOLID กับ ΔE เมื่อควบคุมระยะเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที

4.3.4 การทดลองเพิ่มคุณภาพ โดยปรับสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) และระยะเวลาการกวนและล้างแร่ จากการทดลองตาม 4.3.2 และ 4.3.3 พบว่า ค่า ΔE ของหัวแร่ที่ดีที่สุดได้จากการทดลองที่สัดส่วนของแร่ต่อน้ำ 40% solid และระยะเวลาการกวนและล้างแร่ที่ 60 นาที คณะผู้ศึกษาจึงได้ขยายผลโดยทำการทดลองเพิ่มเติม และกำหนดตัวแปรสัดส่วนของแร่ต่อน้ำที่ 40 , 45 , 50 % solid ระยะเวลาการกวนและล้างที่ 45 ,55 ,60 ,65 และ 75 นาที

ผลการทดลองพบว่า การทดลองที่ตัวแปรสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ 40% solid และระยะเวลาการกวนและล้างเท่ากับ 60นาที ให้ค่า ΔE น้อยที่สุด เท่ากับ 2.22 ส่วนการเพิ่มและลดเวลาลง 5 นาที มีผลทำให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-7)

สัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (% Solid)	เวลาการกวนและล้างแร่ (นาที)	ร้อยละการเก็บแร่ได้ (% Recovery)	ΔE ของหัวแร่	ผลการวัดสีเฉลี่ย		
				L	a	b
แร่มาตรฐาน		-	-	90.60	-0.09	4.60
ทางแร่ก่อนการล้าง		-	15.65	77.92	2.06	13.52
40	45	79.98	3.45	88.38	-0.72	7.16
	55	78.08	2.34	88.36	0.19	5.18
	60	76.98	2.22	88.48	0.25	5.14
	65	74.33	2.32	88.44	0.27	5.36
	75	72.15	2.41	88.25	0.34	4.89
45	45	79.14	3.68	87.54	0.03	6.64
	60	77.18	2.63	88.62	0.16	6.31
	75	76.14	2.84	88.35	0.05	6.32
50	45	84.71	4.05	87.52	-0.68	7.16
	60	81.77	3.04	88.13	-0.41	6.34
	75	79.14	3.24	87.97	-0.34	6.48

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองเพิ่มคุณภาพ โดยปรับสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (%Solid) และระยะเวลา



ภาพที่ 4-7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า ΔE ของหัวแร่ ที่ได้จากการทดลองปรับตัวแปร %SOLID และเวลา

4.4 สรุปผลการทดลอง

4.4.1 จากผลวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดแร่ (Sieve Analysis) พบว่า ตัวอย่างหางแร่แคลไซต์ ส่วนเม็ดละเอียด จะกระจายอยู่ในช่วงขนาด 10 ถึง 50 เมช (150 – 2,000 ไมครอน) โดยมีสัดส่วนมากที่สุด ในช่วงขนาด -10+20 เมช (850-2,000 ไมครอน) 26.97% และที่ช่วงขนาดโตกว่า 10 เมช มีปริมาณ 23.42 % ซึ่งใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจาก ตัวอย่างหางแร่ นี้ เป็นหางแร่ที่ได้จากกระบวนการล้างแร่และ บ่อดกตะกอน ดังนั้น เม็ดแร่ขนาด 2,000 ไมครอน (+10 เมช) จึงสันนิษฐานได้ว่าเป็นเศษวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ได้มา จากกระบวนการผลิตแร่โดยตรง แต่มาจากการทับถมเพิ่มในบ่อดกตะกอน เช่น เศษไม้ กรวดและหิน ฯลฯ

4.4.2 จากผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการกวนและล้างแร่ กับ ΔE พบว่า ทั้ง 2 ตัวแปรจะแปรผกผันกันในช่วงระยะเวลา 15 – 60 นาที และค่า ΔE จะสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลา มากกว่า 60 นาที การทดลองที่ให้ค่า ΔE น้อยที่สุดคือ การกวนและล้างนาน 60 นาที ค่ารองคือที่ 75 นาที และ 90 นาทีตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ที่ควบคุมสัดส่วนแร่ต่อน้ำคั่งที่ 30%Solid การกวนและล้างแร่ด้วยเวลา 60 นาที ให้ค่า ΔE ที่ดีที่สุด

4.4.3 เมื่อควบคุมระยะเวลาการกวนและล้างแร่คงที่ 30 นาที และปรับตัวแปรสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (% Solid) พบว่าการทดลองที่ให้ค่า ΔE น้อยที่สุดคือ การทดลองที่สัดส่วนแร่ต่อน้ำ 40 %Solid ค่ารอง คือที่ 30% และ 20 %Solid ตามลำดับ โดย ΔE จะสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของแร่ต่อน้ำสูงกว่า 40% จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการกวนและล้างแร่นาน 30 นาที ที่สัดส่วนของแร่ต่อน้ำ 40%Solid จะให้ค่า ΔE น้อยที่สุด

4.4.4 เมื่อทำการทดลองขยายผลโดยการปรับเปลี่ยน %solid และระยะเวลาในการกวนและล้างแร่ พบว่า การทดลองล้างตัวอย่างที่สัดส่วนแร่ต่อน้ำ 40 %solid ระยะเวลาการกวนและล้างนาน 60 นาที ให้ค่า ΔE น้อยที่สุด เท่ากับ 2.22 โดยเมื่อทำการเพิ่มหรือลดเวลาการกวนและล้างอีก 5 นาที จะส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับที่ 60 นาที และเมื่อเพิ่ม %solid ที่ตัวแปรระยะเวลาเดียวกัน ค่า ΔE กลับเพิ่มขึ้นมากกว่า กล่าวคือ การเพิ่มเวลาเพื่อกวนและล้างแร่เกินกว่า 60 นาที ไม่สามารถทำให้คุณภาพแร่ดีขึ้นได้อย่างมีนัยยะ สำคัญ

4.4.5 เวลาที่ใช้ในการกวนและล้างแร่จะแปรผกผันกับร้อยละของการเก็บแร่ได้ (%Recovery) กล่าวคือ เมื่อใช้เวลาในการกวนและล้างแร่เพิ่มขึ้นการสูญเสียแร่จากการแต่งแร่จะสูงขึ้นด้วย

บทที่ 5

การเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ ด้วยวิธีการทางเคมี

5.1 แนวคิดในการทดลอง

จากผลการศึกษาทดลอง ที่คณะผู้ศึกษาได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นแล้วว่า การเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ ส่วนหยาบและ ส่วนละเอียด ด้วยกระบวนการแต่งแร่ทางกายภาพ ไม่สามารถเพิ่มความขาวให้กับตัวอย่างที่นำมาทดลองได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการทดลองขั้นต่อไปด้วยกระบวนการแต่งแร่ทางเคมี โดยการทดลองในบทนี้ อาศัยหลักการการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแร่แคลไซต์กับกรด โดยกรดจะทำปฏิกิริยากับผิวแร่แล้วจึงนำส่วนผสมไปกวนด้วยความเร็ว แรงเสียดสีที่เกิดขึ้นจะทำให้คราบสกปรกที่เคลือบติดอยู่บนผิวแร่หลุดออกไป ทำให้ผิวแร่มีความสะอาดขึ้นและส่งผลให้ความขาวเพิ่มขึ้นได้ เช่นเดียวกับการฟอกสี อย่างไรก็ตามเพื่อให้การต่อยอดผลการศึกษาวิจัยในระดับต่อไปทำได้ง่ายและมีต้นทุนที่ควบคุมได้ ดังนั้น สารเคมีที่ใช้ทำกรดสำหรับการทดลองนี้จะต้องไม่รบกวนคุณสมบัติทางเคมีของตัวแร่ที่นำมาทดสอบ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด

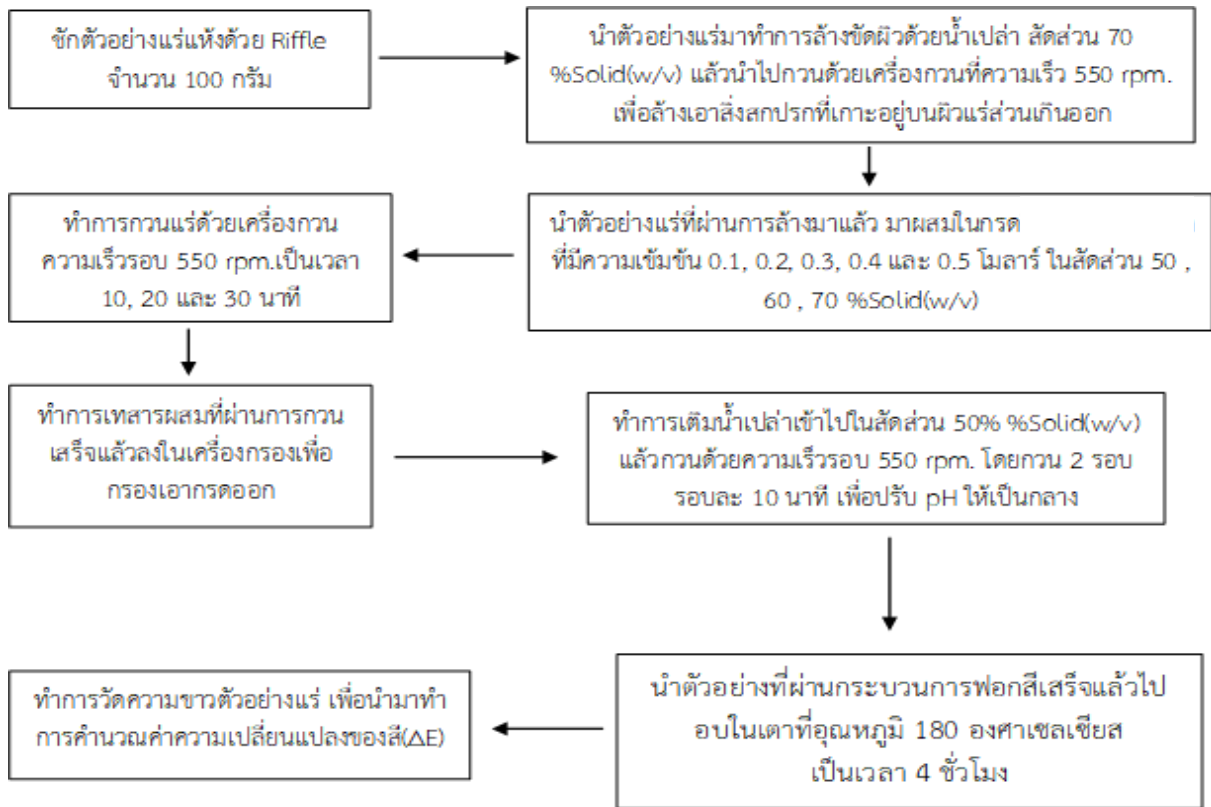
ในการทดลองครั้งนี้ คณะผู้ศึกษาจึงได้เลือกกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดเกลือ เกรดอาหาร (Food grade) เป็นสารเคมีในการฟอกสีแร่ เนื่องจากมีการใช้มากในภาคอุตสาหกรรม ราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย และมีวิธีการจัดการกับผลกระทบบ้างสิ่งแวดล้อมได้ง่าย

5.2 ขอบเขตการทดลอง

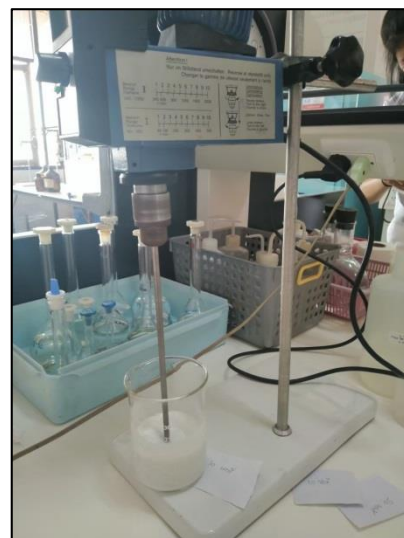
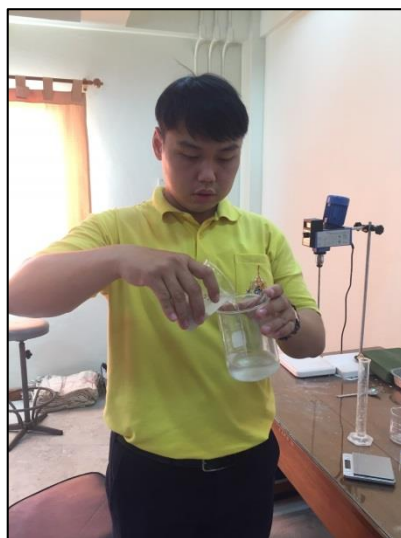
- 1) เตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลองทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ หางแร่ 1 (ขนาด 0.3 ถึง 15 มิลลิเมตร) และหางแร่ 2 (ขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร)
- 2) ทำการล้างตัวอย่างด้วยน้ำเปล่า ในถังกวนที่สัดส่วนแร่ต่อน้ำ 70%Solid เพื่อขัดผิวแร่ และล้างมลทินและสิ่งสกปรกที่ผิวแร่ออก
- 3) นำตัวอย่างที่ผ่านการล้างแล้วมาทำการกวนในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดยมีตัวแปรคงที่คือ ความเร็วรอบการกวนกำหนดที่ 550 และตัวแปรควบคุมที่ค่าต่างๆ ดังนี้
 - ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ฟอกสี (หน่วย molar) กำหนด 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5
 - สัดส่วนแร่ต่อสารละลายกรด (%Solid) กำหนด 50% 60% และ 70%
 - ระยะเวลาการกวนเพื่อฟอกสีตัวอย่าง (นาที) กำหนด 10 20 และ 30 นาที
- 4) อบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการฟอกสี แล้วทำการวัดค่าความขาว (L) เพื่อนำไปหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ในระบบ CIE LAB และทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของแร่ที่หายไปในกระบวนการสำหรับคำนวณค่าร้อยละของการเก็บแร่ได้ (%Yield)
- 5) สรุปผลการทดลองที่ได้ของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่าง เปรียบเทียบค่า ΔE กับ ผลิตภัณฑ์แคลไซต์มาตรฐาน ของผู้ผลิตแคลไซต์

5.2.1 กระบวนการทดสอบการฟอกสีทางแร่

ในการทดสอบตัวอย่างทางแร่ ก่อนเข้ากระบวนการฟอกสีด้วยกรดไฮโดรคลอริก คณะผู้ศึกษา จะทำการล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่บนผิวแร่ก่อนด้วยวิธีการที่เรียกว่าการ Scrub ผิวแร่ จากนั้นนำตัวอย่างแร่ที่ผ่านการขัดผิวแล้วเข้าสู่กระบวนการฟอกสีแร่ และนำแร่ที่ผ่านการฟอกสีแล้วมาทำการปรับสภาพ pH จากสภาพที่เป็นกรด ให้เป็นกลางก่อนนำไปอบแล้วทำการวัดความค่าความเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) โดยทำการวัดเปรียบเทียบกับแร่ที่เป็นผลิตภัณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 แผนผังกระบวนการทดลองฟอกสีตัวอย่างทางแร่แคลไซต์ ชนิดละเอียด



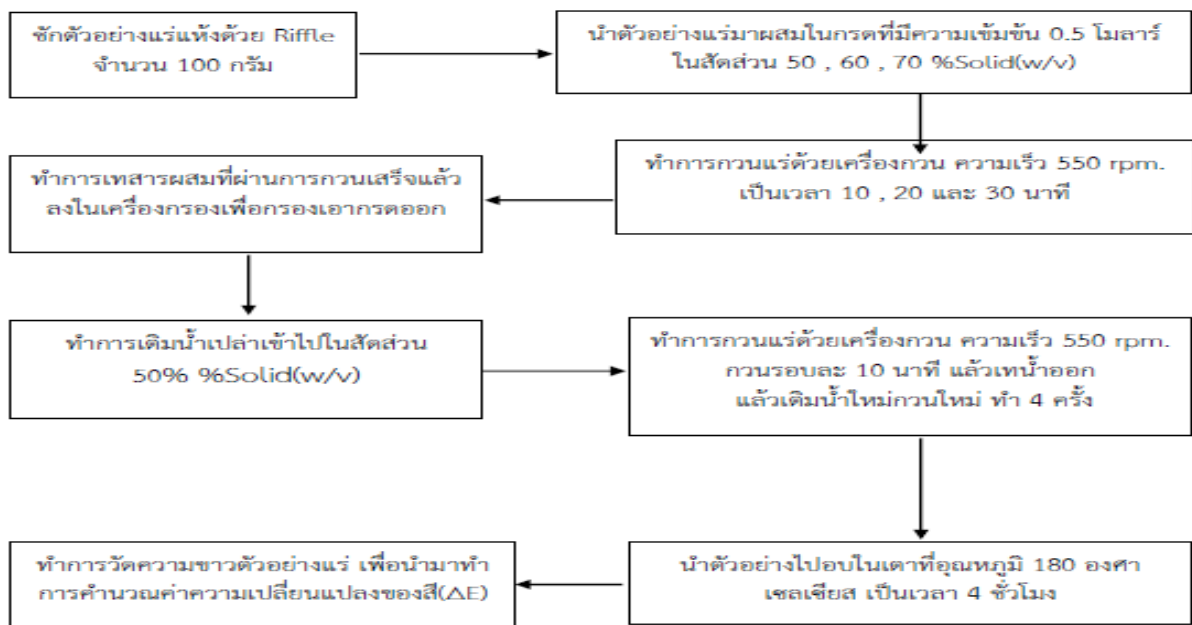
ภาพที่ 5-2 การทดลองฟอกสีตัวอย่างแร่แคลไซต์ชนิดละเอียด



ภาพที่ 5-3 การอบแห้งและการวัดสีตัวอย่าง หลังการทดลองฟอกสี

5.1.2 กระบวนการทดสอบการฟอกสีทางแร่ชนิด หยาบ

ในการทดสอบตัวอย่างทางแร่ชนิดหยาบ (ขนาด 0.3 - 1 มิลลิเมตร) โดยตัวอย่างทางแร่ชนิดนี้ ได้ผ่านการล้างจากโรงงานมาแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องทำการ Scrub ผิวแร่อีก คณะผู้ศึกษาจึงได้นำตัวอย่างดังกล่าวมาทดลองกวนในกรดไฮโดรคลอริกเลย โดยเริ่มใช้ความเข้มข้นของกรดที่ 0.5 โมลาร์ เนื่องจากทางแร่ชนิด หยาบ มีขนาดเม็ดแร่ที่ค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคแร่กับกรดลดลง ผนวกกับในการทดลองกับทางแร่ชนิด ละเอียด ทำให้ทราบว่าเมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของกรดค่าความแตกต่างของสีไม่ได้เปลี่ยนแปลงกันมาก จึงได้ดำเนินการทดลองฟอกสีตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์เท่านั้น และนำแร่ที่ผ่านการฟอกสีแล้วมาทำการปรับสภาพ pH ให้เป็นกลางโดยการล้างด้วยน้ำเปล่าก่อนนำไปอบแห้ง แล้วทำการวัดความค่าความเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) โดยทำการวัดเปรียบเทียบกับแร่ที่เป็นผลิตภัณฑ์เกรดรองของโรงงาน (Product B Grade) ดังแสดงในภาพที่ 5-2



ภาพที่ 5-4 แผนผังกระบวนการทดลองฟอกสีตัวอย่างแร่แคลไซต์ชนิด ละเอียด

5.3 ผลการทดลอง

5.3.1 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่างทางแร่แคลไซต์ชนิด ละเอียด

%Solid	ระยะเวลาที่ใช้กวน (นาที)	%Yield	ΔE เทียบกับแร่มาตรฐาน	วัดสีเฉลี่ย		
				L	a	b
50%Solid	10	98.50	0.47	90.60	0.38	4.60
	20	96.20	0.55	90.30	0.36	4.47
	30	94.60	0.40	90.40	0.25	4.51
	40	93.10	0.59	90.50	0.40	4.91
	50	92.70	0.46	90.41	0.30	4.75
60%Solid	10	98.40	1.27	89.51	0.31	5.11
	20	98.00	0.90	89.89	0.27	5.09
	30	97.60	1.20	89.61	0.51	4.91
	40	97.30	1.10	89.82	0.52	5.08
	50	96.80	0.66	90.34	0.50	4.71
70%Solid	10	99.40	1.05	89.91	0.41	5.21
	20	96.70	0.86	90.07	0.41	5.06
	30	97.90	1.44	89.46	0.32	5.37
	40	98.90	0.94	89.96	0.28	5.18
	50	97.20	1.19	90.29	0.18	5.71

ตารางที่ 5-1 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.1 โมลาร์

%Solid	ระยะเวลาที่ใช้กวน (นาที)	%Yield	ΔE เทียบกับแร่มาตรฐาน	วัดสีเฉลี่ย		
				L	a	b
50%Solid	10	96.30	0.67	91.06	0.14	5.03
	20	96.70	0.36	90.62	0.08	4.92
	30	96.40	1.21	90.06	0.17	5.65
	40	95.60	0.85	90.73	0.13	5.41
	50	96.40	1.49	89.86	0.21	5.86
60%Solid	10	96.80	1.13	90.16	0.12	5.62
	20	94.30	0.78	90.38	0.24	5.27
	30	96.40	0.89	90.53	0.19	5.44
	40	94.60	1.17	90.37	0.06	5.74
	50	94.50	1.78	89.54	0.02	6.03
70%Solid	10	97.80	1.89	89.47	0.12	6.10
	20	96.60	1.38	90.20	0.09	5.91
	30	98.70	1.11	90.60	0.16	5.68
	40	96.00	0.87	90.60	0.10	5.45
	50	94.10	1.44	90.45	0.27	5.98

ตารางที่ 5-2 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.2 โมลาร์

%Solid	ระยะเวลา ที่ใช้กวน (นาที)	%Yield	ΔE เทียบกับแร่มาตรฐาน	วัดสี่เหลี่ยม		
				L	a	b
50%Solid	10	91.30	1.05	91.64	-0.10	4.48
	20	97.40	1.30	90.94	0.23	5.80
	30	97.00	1.54	90.19	-0.15	6.08
	40	95.60	0.94	90.38	-0.03	5.50
	50	91.50	1.13	90.80	0.01	5.70
60%Solid	10	95.80	1.23	90.10	0.04	5.72
	20	94.80	0.88	90.78	0.16	5.43
	30	94.50	0.88	90.68	0.14	5.45
	40	94.00	1.38	90.01	0.15	5.98
	50	94.00	0.90	90.83	0.02	5.46
70%Solid	10	97.60	1.04	89.71	-0.25	5.11
	20	96.10	0.92	90.91	0.21	5.41
	30	94.40	1.25	90.31	0.31	5.75
	40	90.40	1.26	90.89	0.14	5.81
	50	90.10	2.97	87.98	0.11	5.97

ตารางที่ 5-3 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.3 โมลาร์

%Solid	ระยะเวลา ที่ใช้กวน (นาที)	%Yield	ΔE เทียบกับแร่มาตรฐาน	วัดสี่เหลี่ยม		
				L	a	b
50%Solid	10	94.30	4.44	87.80	-0.09	3.05
	20	93.40	2.18	88.65	0.29	1.85
	30	91.90	3.68	87.04	0.25	3.73
	40	91.30	1.92	89.45	-0.04	3.07
	50	91.30	2.01	88.74	0.14	3.89
60%Solid	10	96.80	1.81	90.28	-0.24	2.83
	20	96.30	2.03	88.80	-0.20	3.68
	30	95.00	3.68	89.12	-0.14	3.48
	40	93.70	1.92	89.43	-0.24	3.78
	50	93.40	2.01	88.84	-0.72	3.71
70%Solid	10	96.60	1.58	89.02	-0.15	4.42
	20	96.40	3.10	87.50	-0.12	4.45
	30	96.00	1.78	88.83	-0.10	4.41
	40	95.00	1.91	88.70	-0.13	4.40
	50	94.90	2.03	88.58	-0.10	4.40

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.4 โมลาร์

%Solid	ระยะเวลาที่ใช้กวน (นาที)	%Yield	ΔE เทียบกับแร่มาตรฐาน	วัดสี่เหลี่ยม		
				L	a	b
50%Solid	10	95.80	2.04	91.40	0.13	2.74
	20	92.60	2.18	90.10	0.09	2.49
	30	90.80	2.06	91.77	0.10	2.91
	40	91.80	1.79	90.66	0.15	2.83
	50	91.30	2.58	91.61	0.08	2.23
60%Solid	10	96.80	1.24	90.83	0.09	3.40
	20	96.10	1.65	91.34	0.14	3.14
	30	95.90	1.94	91.50	0.10	2.89
	40	95.80	2.12	91.08	0.19	2.55
	50	95.40	1.27	90.35	0.07	3.37
70%Solid	10	96.90	0.85	90.63	0.19	3.80
	20	96.40	1.12	89.80	0.65	4.85
	30	95.90	0.82	89.90	0.08	4.20
	40	95.80	1.37	90.70	0.55	3.39
	50	95.70	1.43	90.37	0.81	3.51

ตารางที่ 5-5 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่าง ละเอียด ที่ความเข้มข้นกรด 0.5 โมลาร์

5.3.2 ผลการทดลองฟอกสีทางแร่แคลไซต์ชนิดหยาบ

ค่า%Solid	เวลาที่กวน	ค่า%Yield	ค่า (ΔE) เทียบกับแร่ Productมาตรฐาน	ค่าความขาวเฉลี่ย (หลังฟอก)		
				L	a	b
50%Solid	10	94.70	2.04	92.04	-0.03	3.15
	20	91.50	1.32	91.28	-0.16	3.47
	30	91.10	2.19	91.85	-0.07	2.80
60%Solid	10	93.80	0.89	91.03	-0.11	3.82
	20	93.00	1.01	91.26	-0.01	3.83
	30	92.00	0.60	90.01	-0.05	4.71
70%Solid	10	97.10	2.96	87.70	-0.21	4.01
	20	96.20	3.08	87.56	-0.25	5.06
	30	95.20	2.49	88.16	0.11	4.15

ตารางที่ 5-6 ผลการทดลองฟอกสีตัวอย่างแร่แคลไซต์ชนิดหยาบ ที่ความเข้มข้นกรด 0.5 โมลาร์

5.4 สรุปผลการทดลอง

5.4.1 จากการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ชนิดละเอียด พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ผสมที่อัตราส่วนแร่ต่อกรด 50%Solid กวนเป็นเวลา 30 นาที สามารถให้ค่าความสว่าง (Lightness, L) มากที่สุดที่ 91.77

5.4.2 จากการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ชนิดละเอียด พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.3 โมลาร์ ผสมที่อัตราส่วนแร่ต่อกรด 70%Solid กวนเป็นเวลา 10 นาที สามารถให้ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) 1.04 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่า 1 มาก ที่สุด กล่าวคือตัวอย่างแร่ที่ได้จากกระบวนการและเงื่อนไขตัวแปรดังกล่าวมีสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แร่แคลไซต์มาตรฐาน มากที่สุด

5.4.3 จากการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ ชนิดหยาบ พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ผสมที่อัตราส่วนแร่ต่อกรด 50%Solid กวนเป็นเวลา 10 นาที สามารถให้ค่าความสว่าง (Lightness, L) มากที่สุดที่ 92.04

5.4.4 จากการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ชนิดหยาบ พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ผสมที่อัตราส่วนแร่ต่อกรด 60%Solid กวนเป็นเวลา 20 นาที สามารถให้ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) 1.01 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่า 1 มากที่สุด กล่าวคือตัวอย่างแร่ที่ได้จากกระบวนการและเงื่อนไขตัวแปรดังกล่าวมีสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แร่แคลไซต์เกรดมาตรฐาน มากที่สุด

5.4.5 จากการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่แคลไซต์ชนิดละเอียด พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการกวนนานมากขึ้น ค่าร้อยละของการเก็บแร่ได้ (%Yield) จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุอาจเกิดจากลักษณะตัวอย่างทางแร่มีความเปราะ แรงเสียดสีจากการกวนแร่ทำให้เม็ดแร่กระทบกันเองจนแตกเป็นเม็ดละเอียดมากขึ้นและส่วนละเอียดบางส่วนก็ทำปฏิกิริยากับกรด ส่งผลต่อหัวแร่ที่เก็บได้เมื่อสิ้นสุดการทดลองดังนั้น จึงควรคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการกวนแร่ให้พอดี เพื่อป้องกันการสูญเสียแร่และยังสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้เหตุ

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

6.1 สรุปผลการศึกษาที่สำคัญ

6.1.1 ผลการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่ชนิดหยาบ ในแต่ละขนาด พบว่า เม็ดแร่ขนาด -20 +30 เมช มีค่าสีใกล้เคียงกับทางแร่มาตรฐาน (ΔE) มากที่สุด คือ 1.52

6.1.2 ผลการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่ชนิดละเอียด

6.1.2.1 ผลทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการล้างแร่และ ΔE พบว่า เมื่อล้างแร่ด้วยสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ 30%Solid ใช้ระยะเวลาการล้างแร่ 60 นาที จะให้ค่า ΔE ที่ดีที่สุด

6.1.2.2 ผลทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (% Solid) และค่า ΔE พบว่า เมื่อล้างแร่ด้วยสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ 40%Solid ใช้ระยะเวลาการล้างแร่ 30 นาที จะให้ค่า ΔE ที่ดีที่สุด

6.1.2.3 ระยะเวลาการล้างแร่ที่มากกว่า 60 นาที ไม่สามารถทำให้คุณภาพแร่แคลไซต์ดีขึ้นได้อย่างมีนัยยะสำคัญ

6.2 ข้อเสนอแนะในการขยายผลเป็นการทดลองในระดับที่สูงขึ้น

6.2.1 ในการทดลองเพิ่มคุณภาพทางแร่ชนิดหยาบ พบว่า ΔE ของขนาด -20+30 เมช ที่ได้ 1.52 ยังเกินมาตรฐาน (ต่อน้อยกว่า 1) อยู่ไม่มาก จึงมีข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการแต่งแร่โดยคัดขนาดทางแร่ ขนาด -20+30 เมช ที่ผ่านกระบวนการล้างแร่ดิบด้วยน้ำและเข้าเครื่องแม่เหล็กแล้ว นำไปผสม(Blend) กับแร่แคลไซต์เกรดสูงในสัดส่วนที่พอเหมาะ ก่อนทำการบดละเอียด ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ผู้ผลิตได้ Product ที่มีค่า ΔE ผ่านเกณฑ์ผลิตภัณฑ์มาตรฐานพอดี ซึ่งกระบวนการนี้ใช้เงินลงทุนไม่มาก สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ง่าย (ทั้งนี้ตัวอย่างทางแร่ชนิดหยาบขนาด -20+30 เมช จะมีสัดส่วนประมาณ 19 % ของทางแร่ชนิดหยาบทั้งหมดที่นำมาศึกษาวิจัย)

6.2.2 ในการทดลองเพิ่มคุณภาพ ละเอียด เม็ดละเอียด พบว่า เมื่อนำค่าเฉลี่ยที่วัดด้วยเครื่องวัดสีของตัวอย่างจากการทดลองที่สัดส่วนของแร่ต่อน้ำ 40% solid ระยะเวลาการล้างและล้าง 60 นาที ซึ่งให้ค่าที่ดีที่สุด มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของแร่มาตรฐาน เพื่อดูค่าความสว่าง (L) ตามมาตรฐานของผู้ผลิตแคลไซต์ พบว่าค่าที่ได้ยังน้อยกว่าของแร่มาตรฐาน และมาตรฐานซึ่งต้องเกิน 90 และค่า ΔE ที่ได้มีค่า 2.22 นั้นยังแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ได้จากการทดลองยังมีความแตกต่างของสีค่อนข้างมาก ทั้งนี้หากประเมินจากลักษณะทางกายภาพแล้วพบว่า สาเหตุที่แร่ผ่านการล้างแล้วยังมีเม็ดแร่ที่มีสีดำปะปนอยู่มากและไม่สามารถกำจัดออกไปได้ด้วยวิธีการล้าง จึงอาจจะต้องมีการศึกษาทดลองเพิ่มเติมในเรื่องนี้ โดยข้อเสนอแนะจากการทดลองฉบับนี้ คือผู้ผลิตแคลไซต์สามารถนำแร่ที่ได้ปรับปรุงคุณภาพแล้วไปผสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าได้เพื่อเพิ่มปริมาณแร่ผลิตภัณฑ์และลดการสูญเสียแร่ได้ (ค่า $\Delta E < 1.00$ หมายถึงไม่มีความแตกต่างในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญในการเปรียบเทียบสองสีควบคู่กันไป $\Delta E < 3.00$ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไป)

หากผู้ผลิตแคลไซต์มีความประสงค์จะขยายผลการทดลองนี้ในระดับ pilot scale ควรจะเลือกใช้สัดส่วนของแร่ต่อน้ำที่ 40% solid และระยะเวลาการล้างแร่ 60 นาที แต่เนื่องจากความแตกต่างของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ล้างแร่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ล้างแร่ รวมถึงปริมาณรวมของแร่และน้ำที่แตกต่างจากในการทดลองนี้ ระยะเวลาที่ใช้ล้างแร่ก็อาจแตกต่างจากการทดลองนี้ได้ แต่ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดก็คือค่าสัดส่วนของแร่ต่อน้ำ (% solid) ควรจะใช้ที่ 40% solid ปัจจัยอื่นที่ต้องพิจารณาคือ ระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อใช้ซ้ำ เพราะจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า น้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างใช้เวลาในการตกตะกอนจนกระทั่งใสประมาณ 14 ชั่วโมง จึงต้องมีการออกแบบระบบเพื่อรองรับเรื่องนี้เพิ่มเติมด้วย

6.2.3 ในการทดลองเพิ่มคุณภาพหางแร่ ด้วยวิธีการทางเคมี หากผู้ผลิตแคลไซต์ต้องการขยายผล การศึกษานี้ ควรจะเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากกระบวนการล้างหางแร่ สำหรับหางแร่แคลไซต์ ส่วนละเอียด (ขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร) โดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ผสมกับแร่ด้วยสัดส่วน แร่ต่อกรด 50% กวนเป็นเวลา 10 นาที ด้วยเครื่อง Scrubber แล้วนำผลการทดสอบค่าความสว่าง (Lightness, L) และค่าร้อยละสัดส่วนการเก็บแร่ได้ (%Yield)

สำหรับหางแร่แคลไซต์ส่วนเม็ดหยาบ สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ผสมกับแร่ในอัตราส่วนแร่ต่อกรด 50% และทำการกวนเป็นเวลา 10 นาที ด้วยเครื่อง ขัดผิวแร่ หรือ Scrubber จากนั้นนำผลการทดสอบค่าความสว่าง (Lightness, L) และค่าร้อยละสัดส่วน การเก็บแร่ได้ (%Yield)

6.2.4 ในการทดลองเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ทั้ง 2 ชนิด จำเป็นต้องมีการควบคุมค่า pH ตลอด กระบวนการ โดยควบคุมให้ค่า pH เริ่มต้นมีค่าประมาณ 2 ซึ่งเป็นค่าที่กรดสามารถทำปฏิกิริยากับหางแร่ แคลไซต์ได้ดี

6.2.5 กระบวนการเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ด้วยวิธีการทางเคมี เป็นกระบวนการที่ต่อยอดมาจาก กระบวนการเพิ่มคุณภาพด้วยวิธีทางกายภาพ เนื่องจากกระบวนการเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ด้วยวิธี ทางกายภาพนั้น ให้ค่าความสว่าง (Lightness, L) เท่ากับ 88 ซึ่งยังไม่ตรงตามมาตรฐานแร่ ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ทางผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาต่อยอดโดยใช้วิธีการทางเคมีเข้ามา เพื่อเพิ่มคุณภาพหางแร่ แคลไซต์ทั้ง 2 แบบให้มีค่าความสว่าง (Lightness, L) มากกว่าหรือเท่ากับ 90

6.2.6 สำหรับการทดลองกระบวนการเพิ่มคุณภาพหางแร่แคลไซต์ในระดับ Pilot Scale จำเป็นต้องมี กระบวนการบำบัดน้ำร่วมด้วยเพราะมีการใช้น้ำในกระบวนการ จึงจำเป็นต้องมีบ่อดักตะกอนและระบบ บำบัดน้ำ เพื่อทำการวนน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการ สำหรับลดการใช้น้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติให้ น้อยลง และป้องกันการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำภายนอก