บทคัดย่อ

เล็ก สีคง และ เกียรติพิพัฒน์ ณ นคร
การแต่งแร่ควอรตซ์จากแร่ทิ้งของกระบวนการแต่งแร่ดินขาว
ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2543 22(1) : 83-93

จุดมุ่งหมายของโครงการวิจัยนี้คือ การแต่งแร่ควอรตซ์จากแร่ทิ้งจากเครื่องคัดขนาดสไปรอลของกระบวนการแต่งแร่ดินขาวของบริษัท มินเนอรัล รีซอร์สเซส ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด (MRD) จังหวัดระนอง จากการทดลองพบว่าแร่ตัวอย่าง จะมีปริมาณแร่ขนาดโตกว่า 100 เมช ประมาณ 94% ของน้ำหนักทั้งหมดและในตัวอย่างมีแร่ควอรตซ์ เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 61-90 % นอกนั้นเป็นแร่ติดแม่เหล็กได้แก่ แร่มัสโคไวต์ และไบโอไทต์ (แร่ไมก้า) ประมาณ 4-16% ทัวร์มาลีน 1-3% ดินขาว 5-13% และเฟลด์สปาร์น้อยกว่า 2% ในการแต่งแร่ควอรตซ์จะแบ่งแร่ตัวอย่างเป็น 2 ช่วงขนาด คือ ขนาดโตกว่า 35 เมช (คิดเป็นปริมาณ 70.4% ของน้ำหนักทั้งหมด) นำไปล้างดินขาวออกก่อนด้วยการตะแกรงเปียกแล้วนำไปแยกมลทินจากแร่ควอรตซ์ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแมคลีนส่วนที่เหลือช่วงขนาด -35+100 เมช นำไปล้างดินขาวออกก่อนแล้วแยกมลทินที่ติดแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก นำหัวแร่ควอรตซ์ที่ได้จากเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไปลอยแร่ 2 ขั้นตอน หัวแร่ควอรตซ์ที่แต่งได้จากกระบวนการทั้งสองมีความบริสุทธิ์สูงพอตามข้อกำหนดการซื้อขาย

การแต่งแร่ควอรตซ์จากแร่ทิ้งของกระบวนการแต่งแร่ดินขาว

แหล่งแร่ดินขาวของบริษัทมินเนอรัล รีสอร์สเซส ดีเวลลอปเมนท์ จำกัด (MRD) ตั้งอยู่ที่ ต.หาดส้มแป้น อ.เมือง จ.ระนอง เป็นแหล่งแร่ในหินแกรนิตผุซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 19.2 ตร.กม. หรือประมาณ 12,000 ไร่ มีความกว้าง 2 กม. ในแนวเทือกเขาแกรนิต ซึ่งเกิดในยุคที่เกิดเทือกเขาแกรนิตทางด้านตะวันตกของประเทศไทยตั้งแต่เหนือจรดใต้เมื่อประมาณ 150 ล้านปีมาแล้ว (Cretaceous period) และถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการธรรมชาติหลายครั้ง จนกลายเป็นแหล่งหินแกรนิตผุที่ให้กำเนิดแร่ดินขาว ดีบุก วุลแฟรมและแร่มีค่าอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น โคลัมไบต์-แทนทาไลต์ เซอร์คอน โมนาไซต์ ซีโนไทม์ อิลเมไนต์ และไมก้า (บริษัทมินเนอรัล รีซอร์สเซส ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด, 2537) เนื้อดินขาวในแหล่งแร่มีประมาณ 20-35% และมีปริมาณสำรองของแหล่งประมาณ 1.6 ล้านตัน (นิวัฒน์, 2537) ในกระบวนการแต่งแร่ดินขาวนั้นเริ่มจากการนำดินดิบที่มีคุณภาพที่กำหนดไว้ตามเกรดต่าง ๆ ป้อนลงสู่ที่ป้อนแร่และถูกฉีดด้วยน้ำเพื่อให้ไหลผ่านตะแกรงคัดหินก้อนโตออก ส่วนขนาดเล็กจะไหลลงสู่ตะแกรงหมุน (Trommel) เพื่อคัดขนาดที่โตกว่า 1/8 นิ้วทิ้งออกไป ส่วนที่เล็กกว่าจะไหลผ่านลงสู่เครื่องคัดขนาดแบบสไปรอล จำนวน 4 เครื่อง ที่ทำหน้าที่แยกทรายที่ขนาดโตกว่า 65 เมชไปเข้าสู่เครื่องคัดขนาดแบบสไปรอลเครื่องที่ 5 เพื่อเก็บส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า 65 เมชที่เหลืออยู่ ส่วนที่เล็กกว่า 65 เมช ทั้งหมดจะถูกปรับอัตราส่วนของแข็ง (%solids) ให้เหมาะสมก่อนจะป้อนเข้าเครื่องไฮโดรไซโคลนเพื่อคัดขนาดให้ได้ขนาดเล็กกว่า 325 เมช ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อดินขาว (ส่วนที่มีขนาดโตกว่า 325 เมช จะเป็นควอรตซ์จะถูกแยกทิ้ง) ดินขาวจะถูกเกรอะเพื่อกำจัดน้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องกรองแบบอัดความดันและนำดินขาวที่เกือบแห้งแล้วไปตากเพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณ 15% เพื่อเตรียมจำหน่ายต่อไป จากกระบวนการแต่งดินขาวพบว่า จะมีแร่ทิ้งที่เกิดจากการแต่งแร่ด้วยเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอลและไฮโดรไซโคลน โดยมีปริมาณแร่ทิ้งที่ออกจากเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอลประมาณ 9.36 ตัน/ชั่วโมง แร่ทิ้งที่ออกจากไฮโดรไซโคลนประมาณ 2.28 ตัน/ชั่วโมง และเมื่อคิดจากปริมาณสำรองพบว่าจะมีแร่ทิ้ง (ส่วนใหญ่เป็นแร่ควอรตซ์) ซึ่งเกิดจากการแต่งแร่ประมาณ 4.3 ล้านตัน ถ้าสามารถนำแร่ควอรตซ์ซึ่งเป็นแร่ทิ้งจากกระบวนการแต่งแร่มาใช้ประโยชน์ได้ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของแร่และอนุรักษ์แร่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้

แร่ควอรตซ์บริสุทธิ์จะไม่มีสีหรือสีขาวแต่มักจะมีสีเจือปน ทำให้มีสีอื่น ๆ เช่น ชมพู ม่วง เทา หรือ ความวาวคล้ายแก้ว โปร่งใสหรือโปร่งแสง ความแข็ง 7 ตามมาตรวัดความแข็งของโมห์ (Moh's hardness) มีความ

ถ่วงจำเพาะ 2.6-2.65 รอยแตกเว้าคล้ายก้นหอย เปราะและจัดเป็นแร่ที่มีสมบัติเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) และไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric) ถ้าบริสุทธิ์ แร่ควอรตซ์มีสูตรเคมีคือ SiO_2 ประกอบด้วย 46.7% Si และ 53.3% O แร่ควอรตซ์ชนิดสีขาวหรือไม่มีสีโดยทั่ว ๆ ไปจะถูกใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น ยางและพลาสติก เป็นต้น รายละเอียด ข้อกำหนดในการซื้อขายของแร่ควอรตซ์ (เบญจวรรณ, 2525) แสดงดัง Table 1

แร่ทิ้งจากกระบวนแต่งแร่ดินขาว มักจะประกอบด้วยแร่ควอรตซ์ ดินขาว มัสโคไวต์ โปแตสเฟลด์สปาร์ และทัวร์มาลีนเป็นส่วนใหญ่ จึงมีแนวคิดในการศึกษาการแยกแร่ควอรตซ์ออกจากแร่อื่น ๆ ด้วยการอาศัยสมบัติแม่เหล็กที่แตกต่างกันของแร่และวิธีลอยแร่ ชาญ และคณะ (2537) ได้ศึกษาการแยกแร่มัสโคไวต์ออกจากแร่เฟลด์สปาร์จากแหล่งแร่เหมืองลำอีซู อ.บ่อพลอย จ.กาญจนบุรี ด้วยเทคนิคการใช้ตะแกรงร่อนแยกมัสโคไวต์ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดโต (-4+10 เมช) ออกมาได้สะอาด ขนาดที่เล็กลงมาใช้แยกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กชนิด IRMS (Induced roll magnetic separator) ได้สะอาดเช่นเดียวกันเพราะแร่มัสโคไวต์มีสมบัติแม่เหล็กดีกว่าเฟลด์สปาร์หรือควอรตซ์ ภิญโญ และไพรัตน์ (2533) ได้ศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเป็นสินแร่ของเหมืองแร่

Table 1. Specification of quartz (เบญจวรรณ, 2525)

Grade	SiO_2 (min)%	Al_2O_3 (max)%	Fe_2O_3 (max)%	CaO+MgO (max)%	size
1. Glassy sand					
First quality, optical	99.80	0.10	0.02	0.10	
Second quality, flint glass, container and table ware	98.50	0.50	0.035	0.20	
Third quality, flint glass	95.00	4.00	0.035	0.50	For flint glass -20 mesh 100% +40 mesh 34% +60 mesh 90%
Fourth quality, sheet, rolled and polished glass	98.50	0.50	0.06	0.50	For sheet glass -16 mesh 100% -30 mesh 85% -60 mesh 80% +120 mesh 98%
Fifth quality	95.00	4.00	0.06	0.50	
Sixth quality, green glass and window glass	98.00	0.50	0.30	0.50	
Seventh quality, green glass	95.00	4.00	0.30	0.50	
Eighth quality, amber glass	98.00	0.50	1.00	0.50	
Ninth quality, amber glass	95.00	4.00	1.00	0.50	
2. Chemical grade	99.00	1.00	-	0.50	-20 mesh 100% -100 mesh 0%
3. Ceramic grade			0.32		-120 mesh 100% -150 mesh 90%

คงสวัสดิ์ ต.สวนผึ้ง กิ่งอ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี โดยสินแร่ดังกล่าวประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์ตอยด์ (Feldspathoid) ประมาณ 77% ควอรตซ์ประมาณ 20% โดยมีแร่ที่เหลืออื่น ๆ เช่น มัสโคไวต์ การ์เนต ทัวร์มาลีน และไพโรซ์ รวมกันประมาณ 3% เทคนิคการลอยแร่ที่ใช้เป็นการลอยแร่ขั้นตอนเดียวโดยหลีกเลี่ยงการใช้กรดกัดแก้วร่วมกับการแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิด IRMS เพื่อให้ได้หัวแร่เฟลด์สปาร์ที่มีสมบัติที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้ นอกจากนั้น ฉดับ (2532) ได้ศึกษาและออกแบบการลอยแร่เฟลด์สปาร์จากแหล่งแร่ของ บริษัทอรรคนีอินเตอร์เนชั่นเนล จำกัด ซึ่งตั้งอยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของบ้านทุ่งกระเชาะ อ.บ้านตาก จ.ตาก ในกระบวนการแร่ที่ผ่านการบดละเอียดแล้วจะมีขนาดเล็กกว่า 70 เมช 80% ถูกนำไปลอยแร่มัสโคไวต์ออกไปก่อนในอันดับแรก แร่ที่เหลือจะถูกล้างและคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอล แล้วนำสู่ถังกวนและเซลล์ลอยแร่ชุดต่อไปเพื่อลอยแร่การ์เนตและแร่เหล็กออก และขั้นสุดท้ายทำการลอยแร่เพื่อแยกแร่เฟลด์สปาร์และควอรตซ์ออกจากกัน ทำหัวแร่ให้แห้งแล้วแยกเอามลทินที่ยังติดเหลืออยู่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กจะได้แร่ควอรตซ์และเฟลด์สปาร์ที่มีความบริสุทธิ์สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างแร่ทิ้งจากเครื่องแยกแร่แบบสไปรอลและไฮโดรไซโคลนจากกระบวนการแต่งแร่ดินขาวของบริษัทมินเนอรัล รีซอสเซส ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด วิธีเก็บตัวอย่างใช้เก็บแบบสุ่ม ตลอดช่วงสัปดาห์ และเก็บสะสมเป็นเดือน เพื่อให้มั่นใจว่าได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ถูกต้อง ตัวอย่างจะถูกอบแห้งก่อนนำไปชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน แร่ตัวอย่างที่เหลือถูกคัดขนาดเป็นช่วง ๆ เพื่อให้ทราบถึงการกระจายตัวของแร่ต่าง ๆ ในแต่ละช่วงขนาดซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบการแต่งแร่ต่อไป นำแร่แต่ละช่วงขนาดไปศึกษาแร่วิทยาเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบของแร่ (ชนิดของแร่) ด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffractometer) และวิเคราะห์ปริมาณของแร่ด้วยเครื่อง XRF(X-ray fluorescence) เมื่อทราบถึงแร่ประกอบที่ชัดเจนแล้วจึงนำตัวอย่างเฉพาะบางช่วงขนาด (-35+100 เมช) มาศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาดห้องปฏิบัติการ (Frantz isodynamic magnetic separator) ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ค่ากระแสหน่วยเป็นแอมแปร์ที่ใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ควอรตซ์ โดยกำหนดค่าความชันด้านข้าง (Side slope) และความชันด้านหน้า (Forward slope) ของเครื่องคงที่ เมื่อปรากฏความเป็นไปได้ในการแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก จึงนำตัวอย่างไปล้างเอาดินขาวออกก่อน แล้วจึงแบ่งตัวอย่างเป็น 2 ขนาด คือ ขนาดโตกว่า 35 เมชและ -35+100 เมช นำไปทดลองแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาดอุตสาหกรรมชนิดแมคลีน (Mclean) โดยนำส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กมาทดลองแยกซ้ำ 2 ครั้ง แล้วจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง นำหัวแร่ควอรตซ์เฉพาะของขนาด -35+100 เมช ที่ผ่านการแยกแร่ที่ติดแม่เหล็กออกแล้วด้วยเครื่องแมคลีนแต่เกรดยังต่ำอยู่ไปศึกษาการลอยแร่ด้วยเครื่องลอยแร่ขนาดห้องปฏิบัติการ ในการทดลองจะใช้สารเคลือบผิวแร่ (Collector) ชนิด Armac C (Amine) และ Aerofloat 825 (Petroleum sulfonate) สารเคลือบฟองอากาศคือ Frother 65 และสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพเป็นกรด คือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดกัดแก้ว (HF) (10% solution) การทดลองลอยแร่แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน (Figure 1) โดยการลอยในขั้นตอนที่สองนำเอาแร่จมจากการลอยขั้นตอนที่หนึ่งมาลอยซ้ำตามลำดับ การลอยแร่ในขั้นตอนที่หนึ่งซึ่งลำดับแรกจะลอยแร่ไมก้าออกก่อน ตามด้วย การลอยแร่เหล็กและทัวร์มาลีนและลำดับสุดท้ายลอยแร่เฟลด์สปาร์ โดยแร่จมส่วนใหญ่จะเป็นแร่ควอรตซ์ ตัวแปรที่ทำการศึกษาทดลองคือ ปริมาณสารเคลือบผิว Armac C และ pH โดยกำหนดให้สภาวะอื่น ๆ (Table 2) มีค่าคงที่เนื่องจากเป็นสภาวะการลอยแร่ที่ดีที่สุด ที่มีผู้ศึกษาไว้แล้ว (ฉดับ, 2532)

การวิเคราะห์ผลของการทดลองในขั้นแรกจะใช้วิธีนับเม็ดด้วยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งให้ค่าที่เชื่อถือได้สำหรับแร่ขนาดหยาบ (-35+100 เมช) และนำตัวอย่างที่ได้จากผลการทดลองที่ดีที่สุดไปวิเคราะห์ ด้วยวิธี XRF เพื่อตรวจสอบละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ในการทดลองแต่ละการทดลองจะทำซ้ำมากกว่า 2 ครั้งขึ้นไปเพื่อให้ข้อมูลที่ได้ถูกต้องแม่นยำ

ผลการทดลองและการอภิปราย

การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของแร่ตัวอย่างจาก

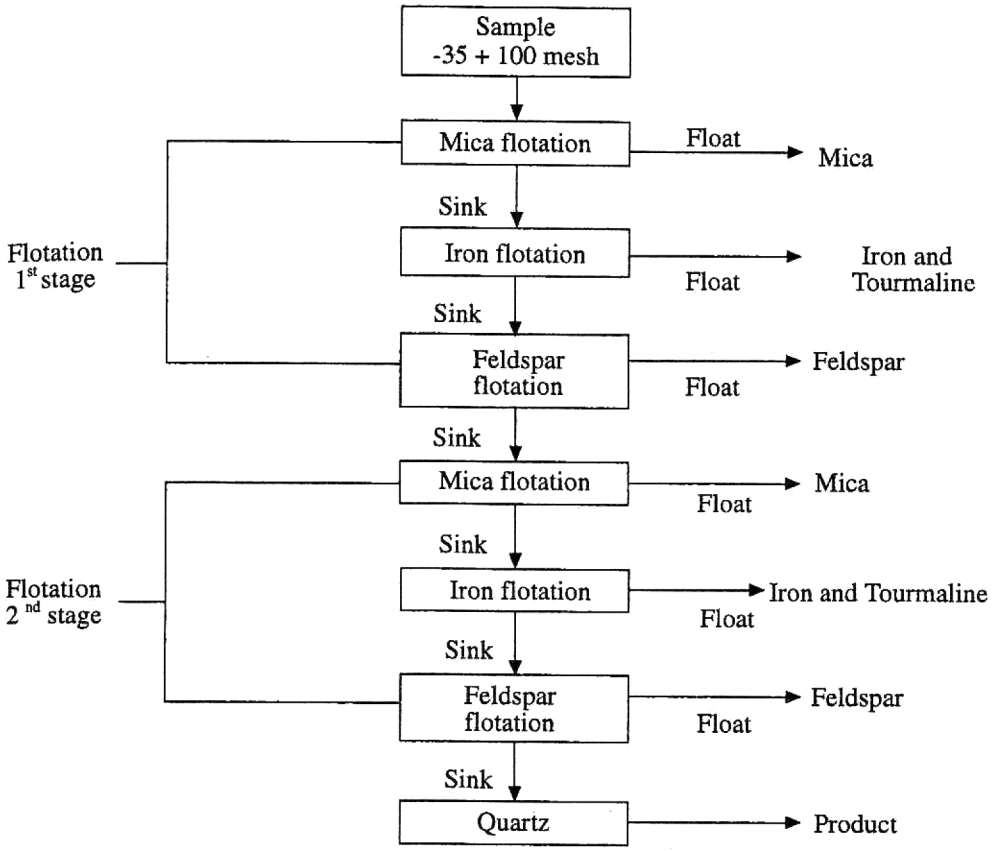

Figure 1 The flowsheet of 2-stage reversed flotation of quartz

Table 2. Constant conditions for 2-stage reversed flotation of quartz

Conditions	Stage 1			Stage 2		
	Mica Flotation	Iron,Tourmaline Flotation	Feldspar Flotation	Mica Flotation	Iron,Tourmaline Flotation	Feldspar Flotation
Collector (Aerofloat 825, kg/ton)	-	1.33	-	-	1.67	-
Frother, kg/ton	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Conditioning time, min	5	5	5	5	5	5
%solids	30-35	30-35	30-35	30-35	30-35	30-35
Speed, rpm	650-700	650-700	650-700	650-700	650-700	650-700
pH	2.5-3.0	2.5-3.0	2.5-3.0	2.5-3.0	2.5-3.0	2.5-3.0

เครื่องคัดขนาดแบบสไปรอลและไฮโดรไซโคลนแสดงดัง Figure 2 และพบว่าแร่ทิ้งจากเครื่องคัดขนาดสไปรอลมีขนาดเล็กกว่า 2500 ไมครอน 80% และแร่ทิ้งจากไฮโดรไซโคลนมีขนาดเล็กกว่า 170 ไมครอน 80% จากผลการวิเคราะห์แร่ทางโครงสร้างด้วย XRD จากตัวอย่างที่ได้จากเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอล แสดงดัง Table 3 พบว่าใน

Table 3. XRD characterization of minerals from spiral classifier tailing

Minerals	Tailing from spiral classifier				
	+20 mesh	-20+35 mesh	-35+100 mesh	-100+200 mesh	-200+325 mesh
Quartz	90	84	61	41	23
Kaolin minerals	5	5	13	27	46
Gibbsite	<1	<1	<1	<1	2
Micaceous minerals	4	8	16	19	22
Potash Feldspar	<1	<1	2	2	1
Plagioclase	<1	<1	1	2	<1
Tourmaline	<1	1	3	5	3
Others	1	1	3	3	2
Sum	**100**	**100**	**99**	**99**	**99**

Error 3%

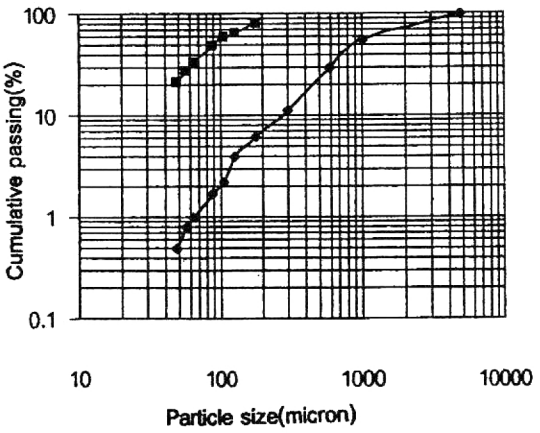

Figure 2 The particle size distribution of the tailings of spiral classifier (below line) and hydrocyclone (above line)

Table 4. XRD characterization of minerals from hydrocyclone tailing

Minerals	Tailing from hydrocyclone		
	-35+ 100 mesh	-100+ 200 mesh	-200+ 325 mesh
Quartz	33	22	14
Kaolin minerals	25	36	56
Gibbsite	<1	2	2
Micaceous minerals	30	24	19
Potash feldspar	5	8	2
Plagioclase	1	1	1
Tourmaline	3	4	3
Others	3	3	2
Sum	**100**	**100**	**99**

Error 3%

ตัวอย่างแร่ประกอบด้วยแร่ควอรตซ์เป็นส่วนใหญ่ นอกนั้นก็เป็นแร่ดินขาว แร่ไมก้า ทัวร์มาลีน กิบปไซต์ เฟลด์สปาร์ และมีแร่อื่น ๆ อยู่เล็กน้อย (น้อยกว่า 3%) ซึ่งแร่ควอรตซ์จะกระจายตัวที่ขนาดโตกว่า 20 เมช (1,000 ไมครอน) ประมาณ 90% และที่ช่วงขนาดยิ่งเล็กลงไปก็จะมีแร่ควอรตซ์กระจายอยู่น้อยลง ในทางกลับกันแร่ดินขาวและแร่ไมก้า จะกระจายตัวอยู่มากที่ช่วงขนาดเล็กลง โดยแร่ดินขาว กระจายตัวที่ขนาด -200+325 เมช ประมาณ 46% ในขณะที่แร่ไมก้ากระจายตัวอยู่ 22%

Table 4 แสดงผลการวิเคราะห์แร่ทางโครงสร้างด้ XRD จากตัวอย่างที่ได้จากไฮโดรไซโคลน ซึ่งมีการกระจา ตัวของแร่ควอรตซ์น้อยกว่าแร่ทิ้งจากเครื่องสไปรอล (ประมา 14-33%) แต่จะมีแร่อื่น ๆ ปนอยู่มากกว่า กล่าวคือมีแ ดินขาวปนอยู่ประมาณ 25-56% แร่ไมก้า 19-30% เฟลด์สป 2-8% และทัวร์มาลีนประมาณ 3-4% Table 5 and แสดงผลการวิเคราะห์แร่ทางคมีด้วย XRF จากตัวอย่างที่ จากเครื่องสไปรอลและไฮโดรไซโคลนตามลำดับ ตัวอย่ จากเครื่องสไปรอลประกอบด้วย SiO_2 55-94% ขณะ

Table 5. Chemical analysis by XRF of spiral classifier tailing

Chemical composition (%)	Tailing from spiral classifier				
	+20 mesh	-20+35 mesh	-35+100 mesh	-100+200 mesh	-200+325 mesh
SiO_2	93.7	90.6	77.4	66.4	55.5
Al_2O_3	3.57	5.5	13.3	20	28.6
Fe_2O_3	0.81	1.15	2.93	4.28	2.2
MgO	<0.001	<0.001	0.04	0.1	<0.04
CaO	<0.001	<0.012	0.012	0.04	0.11
Na_2O	<0.001	<0.066	0.25	0.39	0.08
K_2O	0.5	0.91	2.28	2.62	2.63
TiO_2	0.05	0.05	0.13	0.17	0.12
P_2O_5	<0.001	<0.001	<0.01	0.13	0.16
MnO	0.063	0.095	0.24	0.35	0.24
Cr_2O_3	0.067	0.051	0.028	0.034	<0.001
LOI	1.08	1.45	2.93	4.58	9.22
Sum	**99.84**	**99.8**	**99.52**	**99.1**	**98.86**

Table 6. Chemical analysis by XRF of hydrocyclone tailing

Chemical Composition (%)	Tailing from hydrocyclone		
	-35+100 mesh	-100+200 mesh	-200+325 mesh
SiO_2	62.1	56.5	51.9
Al_2O_3	23	27.4	32.6
Fe_2O_3	2.97	2.99	1.5
MgO	0.09	0.05	<0.001
CaO	<0.001	0.01	<0.012
Na_2O	0.13	0.22	0.18
K_2O	4.42	4.19	2.65
TiO_2	0.16	0.12	0.08
P_2O_5	<0.001	0.013	0.024
MnO	0.35	0.29	0.18
Cr_2O_3	0.043	0.028	<0.006
	6.21	7.77	10.49
Sum	**99.47**	**99.58**	**99.61**

ตัวอย่างจากไฮโดรไซโคลนประกอบด้วย SiO_2 52-62% ที่เหลือนอกนั้นเป็นองค์ประกอบ Al_2O_3 (ในรูปของแร่ดินขาว), Fe_2O_3 (ในรูปของแร่ไมก้า) และ K_2O และ Na_2O (ในรูปของเฟลด์สปาร์) เป็นต้น

Table 7. Effect of electric current on separation results by frantz isodynamic magnetic separator of mineral size range of -35+100 mesh at side slope 25° and forward slope 15°

Minerals	Weight %				
	Current (A)				
	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Quartz	69	77	87	87	85
Kaolinite	16	16	8	9	11
muscovite	12	6	4	3	3
Tourmaline	3	1	1	0.5	1
Total	**100**	**100**	**100**	**99.5**	**100**

จากการศึกษาแร่วิทยาดังกล่าวทำให้ทราบว่าแร่ทิ้งจากไฮโดรไซโคลนมีแร่ควอรตซ์อยู่เป็นปริมาณเล็กน้อยจึงไม่นำมาศึกษา จะศึกษาเฉพาะแร่ทิ้งจากเครื่องสไปรอล ซึ่งพบว่าประกอบด้วยแร่ควอรตซ์เป็นส่วนใหญ่ โดยมีมลทินได้แก่ แร่ดินขาว ไมก้าและทัวร์มาลีน และอาจมีแร่เฟลด์สปาร์อยู่บ้าง แร่ไมก้าและทัวร์มาลีนจะติดแม่เหล็กได้ดีกว่าแร่ควอรตซ์และดินขาว ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะแยกแร่เหล่านี้ออกจากกันโดยอาศัยสมบัติแม่เหล็ก (Table 7) แต่การใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กมีข้อจำกัดอยู่ที่ขนาดของแร่จะต้อง

ไม่เล็กเกินไป ดังนั้นในการทดลองจึงได้ใช้แร่ขนาดโตกว่า 35 เมช และ -35+100 เมช

จากผลการทดลองแยกแร่ทิ้งจากเครื่องสไปรอลด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแมคลีนแสดงดัง Table 8 พบว่าหัวแร่ควอรตซ์มีเกรด 75% และมีเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวประมาณ 98% เกรดของหัวแร่ที่ได้ยังไม่สูงนักเมื่อเทียบกับข้อกำหนดการซื้อขายของทรายแก้วซึ่งต้องมีเกรดสูงกว่า95% (นิวัฒน์, 2537) ดังนั้นจึงนำเอาหัวแร่ควอรตซ์ที่ได้จากเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไปทดสอบลอยแร่มลทินออกจากแร่ควอรตซ์เพื่อให้ได้เกรดของหัวแร่ที่สูงตามข้อกำหนดการซื้อขายโดยผลการลอยแร่แบบเลือกเฉพาะเจาะจง (Selective flotation) แสดงดัง Table 9 และ Table 10 ในการทดลองนี้จะมีการแปรค่าตัวแปรที่สำคัญได้แก่ปริมาณของสารเคลือบผิวแร่ และค่า pH โดยกำหนดสภาวะอื่น ๆ ให้คงที่เนื่องจากมีผู้ศึกษา

Table 8. Results of Mclean magnetic separation of quartz at particle size of -35+100 mesh

Item	Weight		%Assay				Quartz
	(g)	(%)	Quartz	Mica	Tourmaline	Kaolinite	Distribution %
Magnetic	3,100	28	3	64	31	1	1.5
Non-magnetic	8,000	72	75	10	3	12	98.2
Feed	11,100	100	55	25.5	10	9	99.7

Table 9. Effect of dosage of collector on reversed flotation of quartz under the flotation conditions as shown in table 2

Product	Collector (kg/ton)											
	0.34			0.57			0.64			0.73		
	Weight (g)	%Quartz	%Distribution	Weight (g)	%Quartz	%Distribution	Weight (g)	%Quartz	%Distribution	Weight (g)	%Quartz	%Distribution
Sink	228.4	88	89	210	95	87	177.3	99	78	198.9	90	80
Float	56.6	27	7	70.8	22	7	105.1	38	18	78.4	41	14
Loss	15	58	4	19.2	52	6	17.6	54	4	22.7	61	6
Feed	300	75	100	300	75	100	300	75	100	300	75	100

Table 10. Metallurgical balance of the result from quartz flotation process by using Armac C as a collector with the amount of 0.125-0134 kg/ton at the first stage and 0.175-0.200 kg/ton at the second stage of flotation

Product	pH								
	1.5			2.5			3.5		
	Weight (g)	%Quartz	%Distribution	Weight (g)	%Quartz	%Distribution	Weight (g)	%Quartz	%Distribution
Sink	175.3	90	75	182	99	80	175.6	95	74
Float	106.6	40	20	97	37	16	104.8	50	23
Loss	18.1	56	5	20.7	43	4	19.6	29	3
Feed	300	70	100	300	75	100	300	75	100

ไว้แล้ว (ภิญโญและไพรัตน์, 2533 และฉดับ, 2532) จากการทดลองแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวชนิด Armac C ร่วมกับสารเคลือบผิวชนิด aerofloat 825 ที่ปริมาณคงที่ พบว่าปริมาณสาร Armac C ที่เหมาะสมคือ ประมาณ 0.57-0.64 กิโลกรัม/ตันแร่ ซึ่งให้หัวแร่ควอรตซ์สูงถึงประมาณ 95-99% โดยมีเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ 78% - 87% (Table 9) และ pH ที่เหมาะสมกับการลอยแร่คือ pH เท่ากับ 2.5 (Table 10) ผลการวิเคราะห์ XRF ของการลอยแร่โดยใช้สภาวะที่ดีที่สุด 2 ครั้งแสดงดัง Table 11 ซึ่งพบว่าผลเฉลี่ยที่ได้สอดคล้องกับวิธีวิเคราะห์แบบนับเม็ดกล่าวคือ ได้หัวแร่ควอรตซ์ซึ่งมีเกรดสูงถึง 98.8% และประกอบด้วย Al_2O_3 ไม่เกิน 0.54% Fe_2O_3 ไม่เกิน 0.05% Ca0+Mg0 ไม่เกิน 0.2% ส่วนผลการวิเคราะห์ XRF ของหัวแร่ควอรตซ์จากการแยกร่ขนาดโตกว่า 35 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแมคลีนซึ่งแสดงดัง Table 12 พบว่าได้เกรดของหัวแร่ 98.3 % ซึ่งถึงเกณฑ์ของเกรดทรายแก้วคุณภาพชั้น 2 และเกรดเซรามิก

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแร่ควอรตซ์ซึ่งเป็นแร่ทิ้งจากการแต่งแร่ดินขาวด้วยเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอล มาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก แร่ควอรตซ์จะกระจายตัวอยู่มากในช่วงขนาดโตกว่า 100 เมช โดยมีมลทินอื่นที่สำคัญคือ ดินขาว ไมก้า ทัวร์มาลีน และเฟลด์สปาร์

Table 11. Chemical analysis by XRF of sink product from flotation with the optimum conditions as shown in Table 9 and 10

Chemical composition (%)	Feed	Sample 1			Sample 2		
		Float		Sink	Float		Sink
		Mica flotation	Feldspar flotation		Mica flotation	Feldspar flotation	
SiO_2	87.20	50.60	61.20	98.54	53.40	67.70	99.14
Al_2O_3	8.00	31.80	25.10	0.64	30.50	21.40	0.43
Fe_2O_3	0.79	1.82	1.02	0.04	1.94	0.49	0.05
MgO	<0.001	0.05	<0.001	<0.001	<0.038	<0.001	<0.001
CaO	<0.001	<0.014	<0.001	0.36	<0.001	0.02	0.03
Na_2O	<0.001	0.10	<0.08	<0.001	<0.001	<0.078	<0.001
K_2O	1.13	6.70	3.64	0.12	5.20	3.95	0.11
TiO_2	0.03	0.10	0.06	0.02	0.10	0.04	<0.014
P_2O_5	<0.008	<0.008	0.01	0.01	0.02	0.01	<0.008
MnO	0.05	0.32	0.15	<0.001	0.28	0.04	<0.001
Cr_2O_3	0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.006	<0.001	<0.001
LOI	2.56	8.08	8.42	0.17	7.93	6.08	0.18
Sum	**99.81**	**99.56**	**99.60**	**99.91**	**99.37**	**99.74**	**99.94**

Table 12. Chemical analysis by XRF of quartz concentrate from magnetic separation of particle size above 35 mesh

Chemical composition %											
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3	LOI	SUM
98.33	0.14	0.05	<0.001	<0.001	<0.001	0.12	0.05	<0.001	0.05	0.05	1.08	99.87

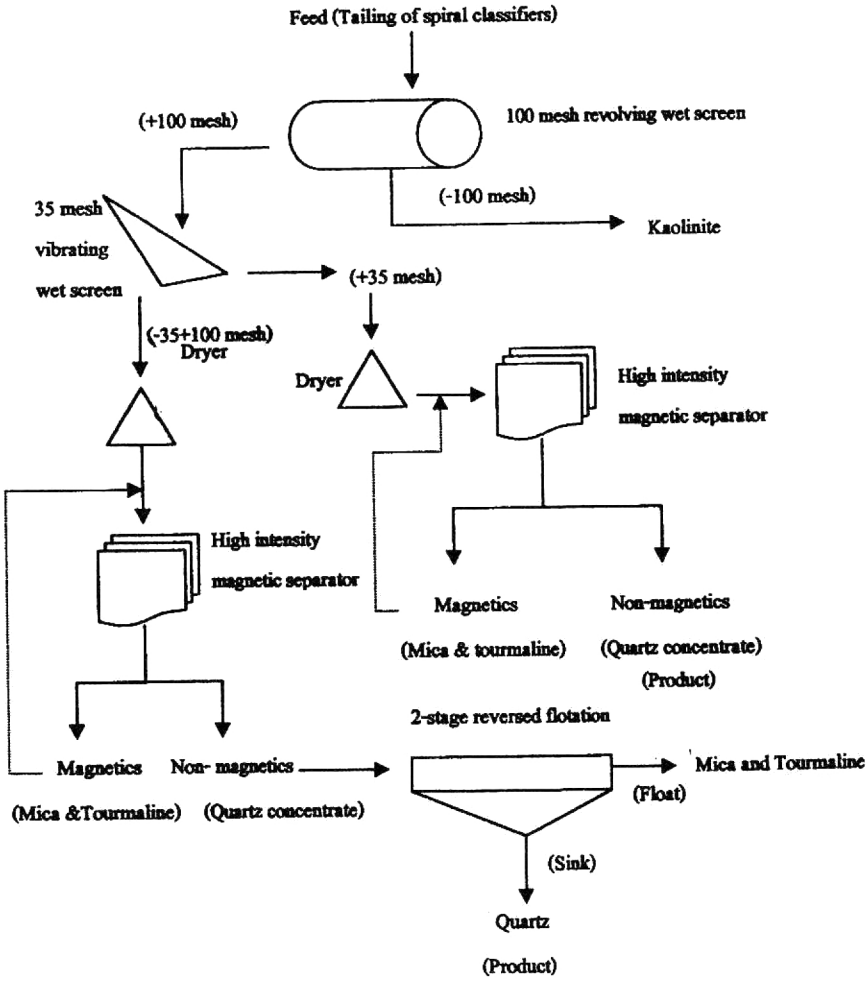

Figure 3 The recommended flowsheet of quartz concentration.

การแต่งแร่ทิ้งจากเครื่องสไปรอลทำได้โดยการแบ่งแร่เป็น 2 ช่วงขนาด คือ ขนาดโตกว่า 35 เมช และ -35+100 เมช (คิดสัดส่วนเป็น 94% ของน้ำหนักตัวอย่างแร่ทั้งหมด) นำแร่ขนาดโตกว่า 35 เมช มาแยกดินขาวออกโดยการล้างและแยกไมก้าและทัวร์มาลีนออกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแมคลีน จะได้หัวแร่บริสุทธิ์ 98% SiO_2 ส่วนแร่ขนาด -35+100 เมช ก็นำมาล้างดินขาวออกไปก่อน แล้วจึงแยกไมก้าและทัวร์มาลีนด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแมคลีน แต่หัวแร่ที่ได้ยังไม่สะอาดจึงนำไปแยกมลทินที่มีอยู่ออกจากแร่ควอรตซ์ด้วยวิธีลอยแร่เป็น 2 ขั้นตอน ได้หัวแร่ควอรตซ์บริสุทธิ์ถึง 98.8% SiO_2 สามารถใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิกได้

จากผลการศึกษา ได้ข้อเสนอแนะเป็นแนวทางไ
การแต่งแร่ควอรตซ์จากแร่ทิ้งของกระบวนการแต่งดินขา
ด้วยเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอลของบริษัทมินเนอรั
รีซอร์สเซส ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด (Figure 3) ได้ โดยนำ
หางแร่จากเครื่องคัดขนาดแบบสไปรอล มาล้างดินขาวออ
ด้วยตะแกรงหมุนแบบเปียกขนาดช่องเปิด (Aperture
100 เมช ขนาดที่เล็กกว่า 100 เมช นำไปเข้าสู่กระบวนกา
แต่งดินขาว ส่วนที่ขนาดโตกว่า 100 เมช นำไปคัดขนา
ด้วยตะแกรงสั่นแบบเปียกที่มีช่องเปิด 35 เมช ขนาด
โตกว่า 35 เมช ถูกทำให้แห้งแล้วนำไปแยกไมก้าแ
ทัวร์มาลีนออกจากแร่ควอรตซ์ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็
ชนิดความเข้มสูง (High intensity magnetic separato

โดยนำหัวแร่ควอรตซ์จากส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก มาแยกซ้ำ 2-3 ครั้ง ก็จะได้หัวแร่ตามต้องการ สำหรับแร่ขนาด -35+100 เมช ก็นำมาทำให้แห้ง แล้วแยกมลทินที่ติดแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดความเข้มสูง นำหัวแร่ควอรตซ์มาแยกซ้ำ 2-3 ครั้งก่อนนำไปลอยแร่ 2 ขั้นตอนเพื่อแยกมลทินออกจากแร่ควอรตซ์ จะได้หัวแร่ที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 98-99% SiO_2

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคุณผดุงศักดิ์ ธนกิจ บริษัทมินเนอรัล รีซอร์สเซส ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ตัวอย่างเพื่อทำการวิจัย.

เอกสารอ้างอิง

บริษัทมินเนอรัล รีซอร์สเซส ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด. 2537 การทำเหมืองดินขาว ต.หาดสัมแป้น อ.เมือง จ.ระนอง

นิวัฒน์ อมรเทพรักษ์. 2537 รายงานการประมวลผลแหล่งแร่ดินขาว จ.ระนอง

เบญจวรรณ จารุกลัส. 2525 ทรายแก้วเอกสารกองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี เล่มที่ 35 หน้า 4-20

ชาญ จรรยาวนิชย์ เทียนไชย ตันไทย และประสิทธิ์ เดชขจรวุฒิ. 2537 การแยกแร่มัสโคไวต์ออกจากแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีกายภาพ, การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ครั้งที่ 5 ณ โรงแรมบีพีแกรนด์ทาวเวอร์ 24-25 พฤศจิกายน 2537.

ภิญโญ มีชำนะและไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ. 2533 การแยกแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้เทคนิคของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงและการลอยแร่. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย.

ฉดับ ปัทมสูตร. 2532. การลอยแร่เฟลด์สปาร์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิกส์. การประชุมวิชาการเรื่องดินขาวและเฟลด์สปาร์กับงานอุตสาหกรรมภาคเหนือ. กรมทรัพยากรธรณีและสภาการเหมืองแร่ 26-27 มกราคม 2532.