



การปรับปรุงคุณภาพแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำสำหรับ
อุตสาหกรรมแก้ว

โดย

สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

วุฒิ วศม.(เหมืองแร่)

ดาวัลย์ วิวรรณะเดช

วุฒิ Ph.D.(Polymer Science)

วิชา การชัญภาค

วุฒิ วท.บ.(เคมี)

โครงการวิจัยเลขที่ 133-IR-2533

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์

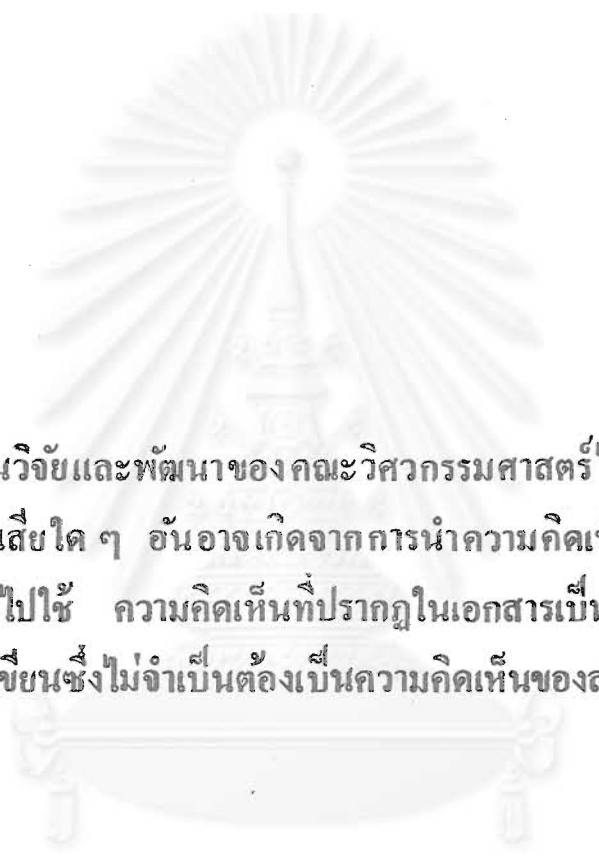
คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

เมษายน 2539

ทศ
วศ 15
009379



สถาบันวิจัยและพัฒนาของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบ
ต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสาร
ฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็น
ของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบันฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับปรุงคุณภาพแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำสำหรับ
อุตสาหกรรมแก้ว

โดย

สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

วุฒิ วศม. (เหมืองแร่)

ดาวัลย์ วิวรรณะเดช

วุฒิ Ph.D.(Polymer Science)

วิชา การขุดเจาะ

วุฒิ วท.บ. (เคมี)



โครงการวิจัยเลขที่ 133-IR-2533

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

เมษายน 2539

118236760

25 ก.ย. 2544

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายในการแต่งแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำ เพื่อให้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมแก้ว โดยขั้นตอนทำการแยกสารอินทรีย์จำพวกกรากไม้, เศษหญ้า ออกไปก่อน ด้วยตะแกรงสั่นแบบเปียก และแยกแร่ซึ่งมี ธ.พ. หนักด้วยเครื่องฮัมฟรีย์สไปรอล แล้วจึงนำทรายแก้วที่ได้เบื้องต้นมาแต่งแร่ต่อในขั้นที่สองโดยทำการแต่งแร่เปรียบเทียบ 3 วิธีดังนี้ โตะสั่นแยกแร่, เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคาร์บูเซล และเครื่องแยกแร่แม่เหล็กสายพานขวางแบบแห้ง

ผลการวิจัยพบว่า ทรายแก้วที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งเป็นทรายแก้วเกรดต่ำ (95.5% SiO_2 , 0.94% Al_2O_3 , 0.12% Fe_2O_3 , 0.13% TiO_2 , 0.0013% Cr_2O_3 , 3.07% LOI) ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์ร้อยละ 95 มลทินซึ่งเป็นสารอินทรีย์จำพวกกรากไม้, เศษหญ้า ร้อยละ 3 และแร่ติดแม่เหล็ก (เช่น อิลเมไนต์) รวมกับแร่ ธ.พ. หนักอื่น ๆ ร้อยละ 2 ส่วนเม็ดทรายมีขนาดอยู่ในช่วง 60-200 เมช

กรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแต่งแร่หลังจากผ่านเครื่องฮัมฟรีย์สไปรอล คือ การแยกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคาร์บูเซล โดยใช้สภาวะในการแต่งดังนี้ ป้อนแร่ผสมน้ำซึ่งมีสัดส่วนของแข็ง 6.67% ด้วยอัตราเร็ว 10 ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วของถังคาร์บูเซล 1.98 เมตร/นาที ณ สภาวะดังกล่าวสามารถเก็บแร่ได้ 93.36% yield และได้หัวแร่ควอร์ต ที่มีคุณภาพสูง (99.40% SiO_2 , 0.344% Al_2O_3 , 0.04% Fe_2O_3 , 0.038% TiO_2 , 0.003% Cr_2O_3 , 0.23% LOI) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมแก้วได้

สำหรับการแยกแร่ที่ผ่านฮัมฟรีย์สไปรอลแล้วด้วยโตะสั่น และเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบสายพานขวาง ทรายแก้วที่ได้มีคุณภาพ (%Grade) SiO_2 มากกว่าร้อยละ 99 แต่ Fe_2O_3 มากกว่าร้อยละ 0.05 จึงยังไม่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

Dressing of low grade glass-sand for glass industry application is the main objective of the present research. In the dressing process, organic materials such as tree-root and grass was firstly separated by wet screening and then high specific-gravity ores were separated by Humphrey Spiral. After that the sand was further dressed with the following comparative three methods : - Ore Shaking Table, Carousel Wet High Intensity Magnetic Separator and Dry Cross Belt Magnetic Separator.

The low grade glass-sand ($95.5\%SiO_2$, $0.94\%Al_2O_3$, $0.12\%Fe_2O_3$, $0.13\%TiO_2$, $0.0013\%Cr_2O_3$, $3.07\%LOI$) used in the present research was containing 95% quartz , 3% organic impurities such as tree-root and grass , and 2% magnetic adsorbed ores , e.g. Ilmenite, including other high specific gravity ores. Size of the sand particle was found to be in the range of 60-200 mesh.

The appropriate process for treatment of the Humphrey Spiral light product is the Carousel-Wet-High Intensity Magnetic Separation with the optimum condition of pulp density 6.67% at feed rate of 10 litre/min and 1.98 m/min. rotation rate of Carousel tank. High grade quartz ($99.4\%SiO_2$, $0.0344\%Al_2O_3$, $0.04\%Fe_2O_3$, $0.038\%TiO_2$, $0.003\%Cr_2O_3$, $0.23\%LOI$) which can be used in glass industries was obtained with the recovery of 93.36%.

In case of the Humphrey Spiral light product treatment by Shaking Table and Dry Cross Belt Magnetic Separator it was found that high grade quartz ($SiO_2 > 99\%$) was obtained as well , but the Fe_2O_3 impurities was still higher than 0.05% , which is not suitable for glass industries.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณฝ่ายเงินทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

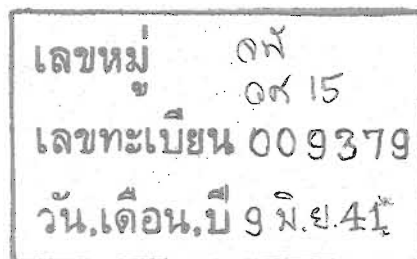
นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาว ปารีชาติ เนตรไทย นักธรณีวิทยาประจำบริษัท
อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย จำกัด ที่ให้ความร่วมมือด้านตัวอย่างแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำ และ
การวิเคราะห์ คุณภาพทางด้านเคมีเป็นอย่างดีตลอดงานวิจัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
กิตติกรรมประกาศ	iv
รายการตารางประกอบ	vi
รายการภาพประกอบ	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทรายทำแก้ว	3
2.1 ความรู้เกี่ยวกับทราย	3
2.2 มาตรฐานทรายแก้ว	5
2.3 บททั่วไปเกี่ยวกับแหล่งทรายที่ใช้ศึกษาโครงการ	16
บทที่ 3 การศึกษาโครงการการแต่งทรายแก้ว	19
3.1 การศึกษาองค์ประกอบแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำ	19
3.2 การทดลองแยกมลทินจากแร่ทรายแก้วโดย Humpreys Spiral	23
3.3 การทดลองแยกมลทินออกจากแร่ทรายแก้วโดย WHIMS	38
3.4 การทดลองแยกมลทินจากแร่ทรายแก้วโดย Shaking Table	43
3.5 การทดลองแยกมลทินจากแร่ทรายแก้วโดย CBMS	49
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก A การแต่งแร่โดย Spiral Concentration	66
ภาคผนวก B การแต่งแร่โดย WHIMS	77
ภาคผนวก C การแต่งแร่โดย Shaking Table	96
ภาคผนวก D การแต่งแร่โดย CBMS	112



รายการตารางประกอบ

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3-1	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Humphrey Spiral ของ Sand 1	25
3-2	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Humphrey Spiral ของ Heavy 1	25
3-3	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Humphrey Spiral ของ Sand 2	27
3-4	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Humphrey Spiral ของ Heavy 2	27
3-5	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Humphrey Spiral ของ Loss 2	28
3-6	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน WHIMS ของ Sand	30
3-7	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน WHIMS ของ Heavy	40
3-8	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Shaking table ของ Heavy	40
3-9	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Shaking table ของ Sand	42
3-10	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน Shaking table ของ Loss	45
3-11	แสดงผล Sieve Analysis ผ่าน CBMS ของ sand	45
3-12	แสดงผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีที่ผ่านเครื่อง Spiral	46
3-13	แสดงผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีที่ผ่านเครื่อง Shaking table, WHIMS และ CBMS	46
B-1	แร่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยกได้ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความ เข้มสูงแบบเปียกที่ค่าความเข้มข้นแม่เหล็กต่าง ๆ กัน	90
C-1	Parameters Affecting Operation of Shaking Tables	101
C-2	Typical Operating Strokes	102
C-3	Recommended Slopes for Shaking Tables	104
C-4	Comparative performance of Table Plant Treating low Grade Tantalum Ore with Feed Prepared by Different Methods	108
C-5	Approximate Capacity of a Shaking Table	109

รายการภาพประกอบ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3-1	Flowsheet Producing Glass Sand for Project	20
3-2	Particle Size Distribution Curve of Galss sand	22
3-3	Particle Size Distribution Curve of Humphreys Spiral (+30 #)	26
3-4	Particle Size Distribution of Humphreys Spiral (-30 #)	29
3-5	%SiO ₂ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product	31
3-6	%Al ₂ O ₃ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product	32
3-7	%TiO ₂ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product	33
3-8	%Fe ₂ O ₃ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product	34
3-9	%Cr ₂ O ₃ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product	35
3-10	%LOI of Raw Sand & Humphreys Spiral Product	36
3-11	Flowsheet Producing Glass Sand by Techniques of Humphreys Spiral & WHIMS	39
3-12	Particle Size Distribution of WHIMS Product	41
3-13	Flowsheet Producing Glass Sand by Techniques of Humphreys Spiral & Shaking table	44
3-14	Particle Size Distribution of Shaking Table Product	47
3-15	Flowsheet Producing Glass Sand by Techniques of Humphreys Spiral & CBMS	50
3-16	Particle Size Distribution of CBMS	52
4-1	%SiO ₂ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product	55
4-2	%Al ₂ O ₃ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product	56
4-3	%TiO ₂ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product	57
4-4	%Fe ₂ O ₃ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product	58
4-5	%Cr ₂ O ₃ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product	59
4-6	%LOI of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product	60

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4-7	Flow Sheet for 30 TPH Glass Sand Project	63
4-8	Mass Balance for Glass Sand Project by Humphrey Spiral	64
A.1	Cross Section of a Spiral , showing particle movement	67
A.2	One Turn of a Humphreys Spiral	69
A.3	Performance of spiral concentrators on Various Feed Materials	70
A.4	Very Fine Recovery on a Spiral Concentrator	71
A.5	Effect of Fluid Flow on the Performance of a Spiral Concentrator (a) iron ore (b) tantalum ore	73
A.6	Effect of Excess Pulp Density on Spiral Performance	73
A.7	Effect of Solids Load , at different pulp densities , on (a) recovery (b) grade	74
A.8	Three Levels of Wash Water Addition (a) Correct (b) Too much (c) Insufficient	76
B.1	เมทริกซ์ซึ่งมีรูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องในเครื่องแยกแร่ของโจนส์	81
B.2	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกของโจนส์ซึ่งทำงาน เป็นจังหวะ 3 ขั้นตอน	81
B.3	ลักษณะที่สำคัญของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดดังกาโรเซด	82
B.4	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดดังกาโรเซด Carpco Separator	83
B.5	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดดังกาโรเซด Krupp Sol Separator	83
B.6	(a) รูปร่างและการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดดังกาโรเซด Jones Separator (b) เมทริกซ์รูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องใน Jones Separator	84
B.7	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดดังกาโรเซด Boxmag-Rapid Separator	86
B.8	เมทริกซ์รูป Wedge-Bar ที่รูปทรงแข็งแรง ซึ่งใช้ใน Boxmag-Rapid Separator	86

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
B.9	ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์ อันได้แก่ (a) ขนาดของเม็ดแร่ (b) ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำ (c) เวลาที่ใช้ในการแยก	87
B.10	แสดงการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องแยกคานิสเตอร์	88
B.11	ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องแยกแร่ WHIMS ชนิดตั้งการูเซล	92
B.12	WHIMS ชนิดตั้งการูเซล ของ Eriez Mangtic Co., Ltd. รุ่น CF-5	93
B.13	อุปกรณ์ของ WHIMS ชนิดตั้งการูเซล รุ่น CF-5	95
C.1	โต๊ะแยกแร่	96
C.2	การจัดตัวของเม็ดแร่ในฟิล์มในน้ำไหล (flowing film)	97
C.3	กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของโต๊ะสั่นในอุดมคติ	98
C.4	แสดงการจัดแบ่งชั้นของเม็ดแร่ตามแนวตั้งซึ่งอยู่ระหว่างลูกคั่น	98
C.5	ผลลัพธ์สุดท้ายของการเคลื่อนที่ของเม็ดแร่บนโต๊ะแยกแร่	99
C.6	การเปรียบเทียบพื้นที่ซึ่งมีผลต่อการแยกแร่ (Effective concentrating area) ของโต๊ะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมด้านขนาน	100
C.7	Riffle Patterns on Various Tables	105
C.8	Recovery by Size of Typical Materials on a Shaking Table	107
C.9	Effect of Feed rate the Separation of Fine Tin on a Holman table (Bogdanov 1983).	110
D.1	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นสูง ชนิดระบอบอกความเข้มข้นสูง	115
D.2	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นปานกลาง ชนิดระบอบอกกลมสลับข้าว	115
D.3	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นปานกลาง ชนิดระบอบอกกลมช่องว่างเดี่ยว	115
D.4	แสดงขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นสูง	116
D.5	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ความเข้มข้นสูงชนิดสายพานขวาง	116

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
B.9	ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์ อันได้แก่ (a) ขนาดของเม็ดแร่ (b) ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำ (c) เวลาที่ใช้ในการแยก	87
B.10	แสดงการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องแยกคานิสเตอร์	88
B.11	ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องแยกแร่ WHIMS ชนิดตั้งคารูเซล	92
B.12	WHIMS ชนิดตั้งคารูเซล ของ Eriez Mangtic Co., Ltd. รุ่น CF-5	93
B.13	อุปกรณ์ของ WHIMS ชนิดตั้งคารูเซล รุ่น CF-5	95
C.1	โต๊ะแยกแร่	96
C.2	การจัดตัวของเม็ดแร่ในฟิล์มในน้ำไหล (flowing film)	97
C.3	กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของโต๊ะสั่นในอุดมคติ	98
C.4	แสดงการจัดแบ่งชั้นของเม็ดแร่ตามแนวตั้งซึ่งอยู่ระหว่างลูกก้น	98
C.5	ผลลัพธ์สุดท้ายของการเคลื่อนที่ของเม็ดแร่บน โต๊ะแยกแร่	99
C.6	การเปรียบเทียบพื้นที่ซึ่งมีผลต่อการแยกแร่ (Effective concentrating area) ของโต๊ะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมด้านขนาน	100
C.7	Riffle Patterns on Various Tables	105
C.8	Recovery by Size of Typical Materials on a Shaking Table	107
C.9	Effect of Feed rate the Separation of Fine Tin on a Holman table (Bogdanov 1983).	110
D.1	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นสูง ชนิดกระบอกความเข้มข้นสูง	115
D.2	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นปานกลาง ชนิดกระบอกกลมสลับข้อ	115
D.3	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นปานกลาง ชนิดกระบอกกลมช่องว่างเดี่ยว	115
D.4	แสดงข้อแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มข้นสูง	116
D.5	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ความเข้มข้นสูงชนิดสายพานขวาง	116

บทที่ 1

บทนำ



1.1 ที่มาของโครงการ

ทรายเป็นแร่อุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ จะสังเกตเห็นได้ว่าในปัจจุบันได้มีการใช้ทรายเพิ่มขึ้นเป็นลำดับนับตั้งแต่ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทำถนน ทำคอนกรีต ทำแบบหล่อ ทำอุตสาหกรรมเครื่องแก้วและกระจกชนิดต่าง ๆ ฯลฯ ความต้องการทรายในงานแต่ละแขนงนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น รูปร่างและขนาดของเม็ดทราย เป็นต้น

วัตถุดิบที่สำคัญเป็นอันดับหนึ่งในอุตสาหกรรมเครื่องแก้วและกระจก ได้แก่ ทรายแก้ว ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องเป็นทรายที่ขาวสะอาด และมีปริมาณซิลิกา (SiO_2) สูงกว่า 99 % ซึ่งจากแหล่งทรายที่จะนำมาทำเป็นทรายแก้วมักจะมีมลทินปนอยู่ค่อนข้างสูง ซึ่งมลทินที่พบได้เสมอ ๆ ในทรายแก้ว คือ เหล็ก ดิน แมกนีเซียม และอินทรีย์สาร ซึ่งจะมีผลทำให้แก้วที่ผลิตขึ้นมาไม่ใสเท่าที่ต้องการ และสูญเสียความแข็งแรง โดยเฉพาะเหล็ก เป็นปัญหาสำคัญสำหรับการทำทรายแก้ว เหล็กในทรายแก้วนี้อาจพบในลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ หรือเคลือบอยู่ที่ผิวของเม็ดทราย หรือพบเป็นผลึกของแร่ไพไรต์ (pyrite) แมกนีไตต์ (magnetite) และอิลมิไนต์ (ilmenite)

ปัจจุบันทรายแก้วคุณภาพสูงในแหล่งกำลังหมดไปทรายแก้วที่เหลือในแหล่งเป็นทรายแก้วคุณภาพต่ำ โครงการนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการแต่งแร่ทราย เพื่อที่จะให้ได้ทรายแก้วที่มีคุณภาพที่ดี และให้อยู่ในมาตรฐานซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมผลิตเครื่องแก้วหรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เหมาะสม

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมทรายแก้ว
2. เพื่อศึกษาการปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำ โดยคุณสมบัติความแตกต่างความถ่วงจำเพาะ และการติดแม่เหล็ก
3. เพื่อเสนอแนวทางการแต่งแร่ทรายแก้วที่มีคุณภาพต่ำสำหรับอุตสาหกรรมแก้ว

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของทรายที่มีคุณภาพต่ำมาจากแหล่ง เพื่อจะนำมาหาเครื่องมือที่จะทำให้ได้คุณภาพที่ดีของทรายแก้ว ซึ่งอันดับแรกที่ควรคำนึงถึงก่อน คือ ทรายจากแหล่งมีสารอินทรีย์สาร และมีสีดำสกปรก จึงควรจะต้องล้างให้สะอาดและเอาพวกอินทรีย์สารแยกออกโดยการทำให้ Wet Sieve จากนั้นก็นำทรายนี้เข้าเครื่องแยกชนิด spiral concentrate แบบ Humphreys Spiral ซึ่งจะทำการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งแรกนั้นทำเพื่อศึกษาดูว่า เหล็กที่ปนอยู่ ๑ ในรูปแบบใด โดยการดูจากกล้องจุลทรรศน์ เพื่อที่จะดูว่ามีขนาดและรูปร่างอย่างไร เมื่อทราบว่าเป็นแร่เหล็กชนิดใดแล้ว ก็จะทำการเลือกเครื่องมือแบบต่าง ๆ เพื่อจะได้เปรียบเทียบกับ เครื่องมือชนิดใดจะทำการแยกแร่ผลหินได้ดีที่สุด

เครื่องมือชนิดต่าง ๆ จะมีความสามารถที่แตกต่างกันออกไป เช่น การแยกแร่เหล็กจะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงถ้าเลือกใช้เครื่องมือที่ใช้แม่เหล็กในการแยกแร่ (Magnetic separator) แต่จะไม่สามารถที่จะแยกแร่พวกที่ไม่ติดแม่เหล็กได้ และถ้ามีปริมาณแร่เหล็กสูง ๆ เครื่องก็จะทำงานได้ประสิทธิภาพตกต่ำลง (ทรายที่ผ่านการแต่งแล้วไม่ควรจะมี Fe_2O_3 มากเกินกว่า 0.05 %) มลทินอีกตัวหนึ่งซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดสี ก็คือ สารประกอบโครเมียม ในการผลิตแก้วใสไม่มีสี ปริมาณของ Cr_2O_3 ต้องไม่เกิน 15 ppm สำหรับปริมาณของอลูมินา ถ้ามีเป็นจำนวนมากก็จะไปลดความโปร่งแสงและทำให้แก้วหลอมยาก จึงต้องแต่งให้มีไม่เกิน 0.21 % ส่วนในรูปร่างของเม็ดทรายถ้าว่ากันตามทฤษฎีแล้ว ทรายที่มีรูปร่างเหลี่ยมจะหลอมได้ง่ายกว่าทรายที่มีรูปร่างมน เนื่องจากว่าทรายเหลี่ยมมีพื้นผิวที่ได้รับความร้อนมากกว่า แต่ในทางปฏิบัติแล้วรูปร่างของเม็ดทรายจะไม่มีผลสำคัญต่ออุณหภูมิที่จะหลอม ส่วนในเรื่องของขนาดของเม็ดทรายก็มีความคิดเห็นแตกต่างกันออกไป ทรายเม็ดเล็กจะหลอมเร็วกว่าทรายเม็ดใหญ่ แต่ให้ปริมาณแก้วน้อยกว่าทรายเม็ดใหญ่ในปริมาตรที่เท่ากัน ซึ่งทางที่ดีควรจะใช้ทรายที่มีขนาดใกล้เคียงกัน คือไม่ใหญ่กว่า 20 เมช แต่ไม่เล็กกว่า 120 เมช

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. ได้รับข้อมูลพื้นฐานอันเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมทรายแก้ว
2. ได้ทราบข้อมูลทางเทคนิคของการวิจัย เพื่อเป็นแนวทางของกรรมวิธีแต่งแร่ทรายแก้วที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณภาพแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำสำหรับการใช้งานด้านอุตสาหกรรมแก้ว
3. เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาใช้ประโยชน์จากแหล่งแร่ให้มีมูลค่าสูงขึ้น

บทที่ 2

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทรายทำแก้ว

2.1 ความรู้เกี่ยวกับทราย

ทรายเป็นคำที่มีความหมายกว้าง คลุมไปถึงหินหรือแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ถูกบดเป็นเม็ดเล็ก ๆ ร่วน ไม่เกาะกันแน่น สามารถมองเห็นเม็ดทรายได้ด้วยตาเปล่า ในทางวิชาการทรายหมายถึง quartz ที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ และอาจจะมีแร่ธาตุอย่างอื่นปะปนเป็นส่วนน้อย เช่น เฟลด์สปาร์ (feldspar), ไมกา (mica), ไลโมไนต์ (limonite), ทัวร์มาลีน (tourmaline), การ์เนต (garnet), ไททานไนต์ (titanite), เซอร์คอน (zircon), แคลไซต์ (calcite), โดโลไมต์ (dolomite), ฮอว์นเบลนด์ (hornblende) และเหล็กออกไซด์ (iron oxides) เป็นต้นทรายที่มีลักษณะเป็นสีดำเนื่องจากมีปริมาณของแร่สีคล้ำ (dark minerals) ปนอยู่มาก

การเกิดของทราย

ทรายเกิดขึ้นโดยทั่วไปในธรรมชาติ การเจาะ การระเบิด การขุดต่าง ๆ ก็เป็นการทำให้เกิดทรายขึ้นได้แต่ก็เป็นเพียงปริมาณน้อยเท่านั้น ทรายที่เกิดโดยธรรมชาตินั้นจะพบได้เกือบทุกหนทุกแห่ง ทรายเหล่านี้เกิดขึ้นได้ทั้งโดยกระบวนการทางเคมีและทางฟิสิกส์ ทรายที่เกิดในน้ำอาจจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากการไหลของน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ หรือความเป็นกรดและด่างของน้ำ ฯลฯ คลื่นที่เคลื่อนเข้ากระทบฝั่งก็ทำให้เกิดทรายได้ กระแสลม ความร้อน-เย็น น้ำฝนที่ไหลเซาะเข้าไปในรอยแตก ตลอดจนการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง ก็จะทำให้หินแตกกลายเป็นทรายได้ ทรายอาจจะเกิดได้ทั้งอยู่ในที่เดิม (in situ) หรือถูกพัดพามาจากที่อื่น โดยกระแสลมหรือกระแสน้ำ หรือทั้งสองอย่างรวมกัน

แหล่งทรายบางแห่งเกิดอยู่กับที่โดยการผุพังของหิน เช่น หินจำพวกหินทราย คลื่นลม และกระแสน้ำ จัดเป็นตัวอย่างสำคัญในการคัดขนาด (sorting) ของทราย และทำให้การสะสมของหินแร่บางชนิดที่ปนอยู่กับทรายมีความเข้มข้นขึ้น (concentration) เรียงตัวกันเป็นชั้น การสะสมตัวของทรายทำให้เกิดขึ้นเป็นแหล่งทรายชนิดต่าง ๆ กัน เช่น sand bar, delta และ หาดทรายตามทะเลหรือทะเลสาบ ส่วน sand dune นั้น เกิดจากลมพัดทรายมารวมกันเป็นกอง ๆ การแบ่งชนิดและการเรียกชื่อของแหล่งทรายขึ้นอยู่กับสถานที่ของการกำเนิดแหล่งทรายนั้น เช่น river sand, lake sand, dune sand เป็นต้น

ลักษณะและคุณสมบัติของทราย

ลักษณะที่เรียกว่าทรายดีหรือไม่ (good or poor sorting) นั้นขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ของ ทราย ทรายที่มีขนาดเท่ากัน มีความมนของเม็ดทรายจัดเป็นทรายชนิดดี (good sorting) ทรายชนิด นี้เกิดจากการเคลื่อนที่ในระยะ ไกลเหลี่ยมของทรายจะกระทบกับวัตถุที่ทรายผ่านหรือเกิดการขัดสี ในระหว่าง เม็ดทรายเอง คลื่นที่ซัดเข้ากระทบก็จะทำให้เม็ดทรายมีความมนได้เช่นเดียวกัน

แร่ที่ทำให้เกิดทรายซิลิกาหรือทรายแก้วประกอบด้วยแร่ 6 ชนิด คือ quartz, chalcedony, opal, tridymite, cristobalite และ lechatelierite ซึ่งล้วนมีส่วนประกอบทางเคมี คือ SiO_2 ทรายแก้ว จะมีผลึกเป็นรูปปริมาตรทั้งหัวและท้าย ถ้าหากว่ามีการตกผลึกอย่างสมบูรณ์ อนุภาคก็ตามด้วยเหตุที่ การตกผลึกไม่เท่ากันอาจทำให้รูปผลึกเปลี่ยนแปลงเป็นรูปอื่นได้ ทรายแก้วมีความแข็ง 7 ความถ่วง จำเพาะ 2.6 ทรายที่บดละเอียดจะเป็นผงสีขาวและมีความวาวอย่างแก้ว

คุณลักษณะของทรายทำแก้ว

วัตถุดิบตัวสำคัญที่สุดในการทำแก้วได้แก่ ทรายแก้ว ซึ่งปกติแล้วทรายสำหรับทำแก้วควร จะเป็นทรายที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด คือ เกือบจะเป็น pure quartz เลยกี่เดียว มีสารหรือมลทินที่ หลีกเลี่ยงไม่ได้ปนอยู่เป็นจำนวนน้อย อาทิเช่น พวกที่ใช้ทำ table ware ควรจะมีเหล็กปนอยู่ไม่ เกิน 0.045 % หรือพวกที่ใช้ทำ optical glass ควรจะมีเหล็กไม่เกิน 0.015 % เป็นต้น เนื่องจากเหล็ก เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดสีขึ้นในแก้ว ดังนั้นมาตรฐานและคุณลักษณะของทรายทำแก้วจึงมี มากมายขึ้นอยู่กับวิธีการทำแก้วเฉพาะแห่ง และการค้นคว้าในการฟอกสีแก้ว (Decoloring)

ลักษณะและขนาดของทรายทำแก้ว

เม็ดทรายที่จะนำมาทำแก้ว ควรจะเป็นชนิดเหลี่ยมมากกว่าชนิดกลม ขนาดสม่ำเสมอ กัน ระหว่าง 65-32 เมช และยอมให้มีขนาดถึง 150 เมช ปนอยู่ด้วยประมาณ 1 % บางแห่งกำหนดให้ ขนาด 20 เมช จนถึง 100 เมช ส่วนที่เล็กกว่า 100 เมช ควรให้มีน้อยที่สุดบางแห่งก็ให้มีได้ถึง ขนาด 150 เมช แต่ยอมให้ปนน้อยที่สุด

2.2 มาตรฐานทรายแก้ว

ทรายแก้ว (Glass sand) หรือทรายขาว คือทรายบริสุทธิ์ที่มีซิลิกา (SiO_2) มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ มีเหล็ก (Fe_2O_3) ตลอดจนสารอื่น ๆ เจือปนเล็กน้อย ทรายละเอียดนี้เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้วและกระจกต่าง ๆ ซึ่งขนาดของเม็ดทรายควรจะไล่เลี่ยกันไม่ควรใหญ่กว่า 20 เมช (0.84 มม.) และไม่ควรเล็กกว่า 100-120 เมช

ส่วนประกอบทางเคมี	SiO_2	99.41	เปอร์เซ็นต์
	Al_2O_3	0.21	เปอร์เซ็นต์
	Fe_2O_3	0.07	เปอร์เซ็นต์
	CaO	0.07	เปอร์เซ็นต์
	MgO	0.68	เปอร์เซ็นต์

1. คุณลักษณะของทรายแก้วตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา

(U.S.Bureau of Standards, Specifications for Glass sands)

	ซิลิกา (SiO_2) ต่ำสุด	อะลูมินา (Al_2O_3) สูงสุด	เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) สูงสุด	แคลเซียมออกไซด์และ แมกนีเซียมออกไซด์ (CaO+MgO) สูงสุด	ประโยชน์
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	
เกรดหนึ่ง	99.8	0.1	0.02	0.1	ทำแว่นตา (Optical)
เกรดสอง	98.5	0.5	0.035	0.2	แก้วทนไฟและเครื่องถ้วยชาม
เกรดสาม	95.0	4.0	0.035	0.5	แก้วชนิดดี
เกรดสี่	98.5	0.5	0.06	0.5	แผ่นแก้วบางแท่งแก้วกลม แก้วขัดให้เป็นเงามัน
เกรดห้า	95.0	4.0	0.06	0.5	-
เกรดหก	98.0	0.5	0.3	0.5	กระจกสีเขียว กระจกหน้าต่าง
เกรดเจ็ด	95.0	4.0	0.3	0.5	กระจกสีเขียว (Green glass)
เกรดแปด	98.0	0.5	1.0	0.5	กระจกอำพัน (Amber glass)
เกรดเก้า	95.0	4.0	1.0	0.5	กระจกสีอำพัน (Amber glass)

2. คุณสมบัติของทรายแก้วตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับทำแก้วไม่มีสี

(Limit for Sand for colourless glasses. BS 2975:1958)

เกรด A สำหรับทำแว่นตา

เกรด B สำหรับทำเครื่องแก้วและเครื่องตกแต่ง

เกรด C ใช้เครื่องแก้วไม่มีสีทั่ว ๆ ไปรวมทั้งภาชนะแก้วต่าง ๆ

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

Composition	เกรด A	เกรด B	เกรด C
ซิลิกา (SiO ₂) ต่ำสุด	99.5	99.5	98.5
เฟอร์ริกออกไซด์ (TiO ₂) สูงสุด***	0.008	0.013	0.03
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂) สูงสุด	0.03	**	**
โครมิกออกไซด์ (Cr ₂ O ₃) สูงสุด	0.0002	0.0002	0.0006
อะลูมินา (Al ₂ O ₃) สูงสุด	*	*	*

* ข้อจำกัดสูงสุดของอะลูมินา (Al₂O₃) ตกลงกันเองระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย (ถ้ามีมากจะลดความโปร่งแสงและทำให้หุลอมยาก)

** TiO₂ ไม่ทำให้เกิดสีเหมือน Fe₂O₃ และ Cr₂O₃ ซึ่งทำให้เกิดสี จึงไม่ได้กำหนดสำหรับเกรด B และเกรด C แต่การพิจารณากำหนดปริมาณ TiO₂ จะใช้แร่หนัก (Heavy Minerals) เป็นเครื่องกำหนด

*** เกรด C ถ้า Cr₂O₃ น้อยกว่า 0.0002 เปอร์เซ็นต์ แล้ว Fe₂O₃ ต้องมากกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เกิน 0.035 เปอร์เซ็นต์

3. คุณลักษณะของทรายแก้วทั่วไปโดยแบ่งตามประโยชน์ที่ใช้

ประโยชน์	SiO ₂ ต่ำสุด	Al ₂ O ₃ สูงสุด	Fe ₂ O ₃ สูงสุด	CaO+MgO สูงสุด	Grain size
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	
สำหรับทำแก้ว (Glass sand)					
- แก้วตา (Optical)	99.5	0.1-0.5	0.008	-	
- เครื่องแก้วใส (Colourless domestic)	99.5	0.1-0.5	0.013	-	0.1-0.5 mm.
- ภาชนะบรรจุของและกระจกแผ่นเรียบ (Container/flat)	98.5	0.1-0.5	0.03	-	
ใช้ในงานหล่อโลหะ (Foundry sand)	88-99	Extremely variable			20-200 เมช
ซิลิกาบดละเอียด (Silica flour)	97-98	0.5	0.2	-	micron sizing
สารประกอบซิลิกากับถ่าน (Silicon Carbide)	99.5	0.06-0.25	0.1	absent	+100 เมช
ซิลิคอน (Si)	98.0	0.4	0.2	0.2 each	>1" diameter
ใช้ในการทำ Ferrosilicon	96	0.4	0.2	-	>1" diameter
ใช้ทำอิฐทนไฟ (Silica brick refractory)	96-98	0.1	-	low	-8 เมช
ใช้ทำ Sodium silicate	99	0.25	0.03	0.05	20-100 เมช
ใช้เป็นตัวช่วยในการหลอม (Silica flux)	90	1.5	1.5	0.2	-1/4" <5%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. คุณลักษณะของทรายแก้วที่ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

	Plate glass	Sheet glass	Flint bottle
ซิลิกา (SiO ₂) ต่ำสุด	99.5	99.78	99.05
อะลูมินา (Al ₂ O ₃) สูงสุด	0.15	0.0-0.05	0.05
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สูงสุด	0.1	0.1	0.1
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงสุด	0.1	0.0-0.02	0.05
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด	0.05	0.0-0.02	0.05
ผ่านตะแกรงคัดขนาด 16 เมช	100	-	-
ผ่านตะแกรงคัดขนาด 20 เมช	-	100	100
ผ่านตะแกรงคัดขนาด 120 เมช สูงสุด	-	2.0	-
ผ่านตะแกรงคัดขนาด 40 เมช	-	-	66.0

5. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในอังกฤษ

1. เกรดใช้ในงานหล่อโลหะ (Foundry grade)

ซิลิกา (SiO ₂)	99.3	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.08	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.27	เปอร์เซ็นต์

2. เกรดใช้ทำแก้ว (Glass grade)

ซิลิกา (SiO ₂)	98-98.4	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.03-0.085	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.75-1.0	เปอร์เซ็นต์

3. เกรดใช้ทำแก้วทนไฟ (Flint glass)

ซิลิกา (SiO ₂)	98.6-99	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.037	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.45-0.65	เปอร์เซ็นต์

6. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในเบลเยียมซึ่งส่วนใหญ่นำไปใช้งานหล่อโลหะ

6.1 ใช้ในงานหล่อโลหะ (Foundry grade)

ซิลิกา (SiO_2)	99.5	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.025	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al_2O_3)	0.2	เปอร์เซ็นต์

6.2 ใช้ในการผลิตเครื่องแก้วใส (Crystal ware)

ซิลิกา (SiO_2)	99.8	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.008	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al_2O_3)	0.45	เปอร์เซ็นต์
ขนาดเม็ดแร่ (Particle size)	200	ไมครอน

7. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในเดนมาร์ก (Dansand's silica sand)

	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา (SiO_2)	98.558
อะลูมินา (Al_2O_3)	0.71
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.01
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.05
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.52
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.062
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	0.08

8. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในสก๊อตแลนด์

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

	เกรด B	เกรด C	เกรด coarse	Fine washed
ซิลิกา (SiO ₂) เฉลี่ย	99.8	99.8	99.8	99.8
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.013	0.03	0.045	0.08
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)		0.33	0.4	0.4
ขนาดเม็ดแร่ (particle size)		210 ไมครอน	600 ไมครอน	110 ไมครอน
โครเมียม (Cr ₂ O ₃)		3-5 ppm	6-8 ppm	

เกรด B หรือ crystal sand สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม Ophthalmic เครื่องสำอางและแก้วคริสตัล

เกรด C หรือ container glass sand สำหรับใช้ทำ container glass, TV screen, ceramics

เกรด coarse ใช้สำหรับตกแต่งสวน, สนามแข่งม้าและบ่อทรายในสนามกอล์ฟ

Fine washed สำหรับใช้ทำซีเมนต์บล็อกลูกและกระเบื้อง

9. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในเยอรมันตะวันตก

	White hollow ware & technical glass	Crystal, lead crystal and solar glass	Special glass
ซิลิกา (SiO ₂)	99.2-99.9		
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.025	0.01	0.005-0.007

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในออสเตรเลีย ผลิต 3 เกรดสำหรับทำภาชนะแก้ว

(Container glass)

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

	White grade	Amber grade	Green grade	Foundry sand
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) สูงสุด	0.04	0.15	0.3	0.05
อะลูมินา (Al_2O_3) สูงสุด	2.0	2.4	4.5	0.2

11. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในฝรั่งเศส ในพื้นที่ Paris Basin ซึ่งมีแหล่งผลิต 2 แหล่ง คือ

1. Beauchamp sand ผลิตทรายแก้วเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการหล่อ
2. Fontainebleau sand ผลิตทรายแก้วเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมแก้วคุณภาพสูงเช่น

crystal ware

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

	Fontainebleau sand		Beauchamp sand
	crude sand	washed sand	washed sand
ซิลิกา (SiO_2)	99.6	99.6	99.5
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.03	0.01	0.02
อะลูมินา (Al_2O_3)	0.46	0.1	0.15

12. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในสเปน

เปอร์เซ็นต์

	Coloured container glass	Higher grade sand
ซิลิกา (SiO_2)	98.0	98.5
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	สูงสุด 0.05	0.015
อะลูมินา (Al_2O_3)	1.0	0.2

13. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้จากอิตาลี

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

	Glass grade	Silicate product	Green container glass	Light green container glass	Foundry and core sand
ซิลิกา (SiO ₂)	99.2	99.6	94.2	94.2	99.2
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.13	0.05	0.18	0.13	0.12
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.5	0.2	3.2	3.7	0.6

14. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในซาอุดีอาระเบีย

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

	Glass and foundry grade
ซิลิกา(SiO ₂)	99.0
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.04-0.07
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.4-0.6



15. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในออสเตรเลีย

15.1 ผลิตโดย Cape Flattery Silica Mines Pty Ltd. มีแหล่งที่ Cape York Peninsula, North of Cooktown in Queensland ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและการหล่อ โดยเฉลี่ยแล้ว ทรายแก้วมี SiO₂ ต่ำสุด 99.5% และ Fe₂O₃ สูงสุด 0.016%

	เกรด A/L	เกรด H-13
ซิลิกา (SiO ₂) ต่ำสุด	99.8	99.8
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด	0.014	0.01

15.2 เป็นแร่ทรายแก้วเกรดสูงมีสีขาวเป็นประกายในแสงอาทิตย์ จากแหล่ง Gnangara ทางตะวันตกของออสเตรเลีย

ซิลิกา (SiO ₂)	99.94	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.006	เปอร์เซ็นต์
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂) สูงสุด	0.03	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.01	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.003	เปอร์เซ็นต์
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.001	เปอร์เซ็นต์
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.001	เปอร์เซ็นต์
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.001	เปอร์เซ็นต์
โครเมียมออกไซด์ (Cr ₂ O ₃) สูงสุด	0.0001	เปอร์เซ็นต์
นิกเกิลออกไซด์ (NiO) สูงสุด	0.0001	เปอร์เซ็นต์
โคบอลต์ออกไซด์ (CoO) สูงสุด	0.0001	เปอร์เซ็นต์
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	0.04	เปอร์เซ็นต์
ขนาดเฉลี่ย (Average size:D50)	250-300	ไมครอน

16.คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในฟิลิปปินส์

เปอร์เซ็นต์

	Clear container glass	Coloured glass grade	Foundry grade	Washed silica sand for container glass
ซิลิกา (SiO ₂) ต่ำสุด	98.0	97.0	95.0	99.3
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด	0.07	0.15	0.2	0.04
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	-	-	-	0.35

17. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในอินเดีย ผลิตได้ 3 เกรด โดยแบ่งเกรดด้วยขนาดเม็ดแร่ซึ่งนำไปใช้งานต่าง ๆ ดังนี้

	Glass and foundry grade	Ceramic grade	Sodiumsilicate grade
ซิลิกา (SiO ₂)	99.2	99.2	99.2
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.02-0.04	0.02-0.04	0.02-0.04
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.62	0.62	0.62
ขนาดเม็ดทราย (granulometric)	30-80 เมช	12-30 เมช	12-30 เมช

18. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในปากีสถาน จากเหมือง Kutki-Chapri ตำบล Mianwali ในรัฐ Punjab

ซิลิกา (SiO ₂)	98.5	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.19	เปอร์เซ็นต์

19. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในเยอรมันตะวันออก

19.1 เพื่อใช้ในงานหล่อโลหะ

	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา (SiO ₂)	96.5-98.5
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.03
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.2
โพแทสเซียมออกไซด์ + โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O+K ₂ O)	0.06
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	0.25

19.2 เพื่อใช้ในการงานทำแม่แบบและอุตสาหกรรมแก้ว

	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา (SiO ₂)	99.7
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.14
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.025
แคลเซียมออกไซด์ + แมกนีเซียมออกไซด์ (CaO + MgO)	0.12
โพแทสเซียมออกไซด์ + โซเดียมออกไซด์ (K ₂ O + Na ₂ O)	0.01

20. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วที่ผลิตได้ในประเทศไทย จากแหล่งใน จ.ระยอง สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้ว

	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา (SiO ₂)	99.45
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.27
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	-
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	0.04
แคลเซียมออกไซด์ CaO	0.09
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.37
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.1
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.3
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ Loss on ignition	0.12

21. คุณลักษณะของแร่ทรายแก้วเกรดสูงที่ผลิตได้ในมาเลเซีย (High grade silica sand from Malaysia) เป็นแร่จากแหล่ง Bintulu, รัฐ Sarawak

ซิลิกา (SiO ₂)	99.7	เปอร์เซ็นต์
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.01	เปอร์เซ็นต์
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	0.03	เปอร์เซ็นต์
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สูงสุด	0.01	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงสุด	0.01	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น (Moisture)	6.0	เปอร์เซ็นต์
ขนาด (Size under U.S. Tyler 30 mesh)	30	เมช

2.3 บททั่วไปเกี่ยวกับแหล่งทรายที่ใช้ศึกษาโครงการงาน

บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ตั้งอยู่ที่ ประทานบัตร หมายเลข 17370/12553 ตำบลซากพง อำเภอกาหลง จังหวัดระยอง ชื่อผู้ถือประทานบัตร บริษัทอุตสาหกรรม ทำเครื่องแก้วไทย จำกัด (มหาชน) ตามแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ระวังแหลมทองกลาง (5334 III) ครอบคลุมพื้นที่ 114 ไร่ โดยมีระยะทางห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 230 กิโลเมตร ตามเส้นทางถนนสุขุมวิท (สายบางนา-ตราด)

ลักษณะภูมิประเทศ (Topography)

บริเวณนี้จะไม่ปรากฏเส้นความสูง (contour line) ให้เห็นในแผนที่เลย ส่วนใหญ่จะมีระดับความสูงต่ำกว่า 10 เมตรลงมา เป็นที่ราบริมฝั่งทะเล (Coastal plain)

ภูมิอากาศ (Climate)

ลักษณะของภูมิอากาศโดยทั่วไปในบริเวณที่ทำการสำรวจ เป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้รวบรวมในช่วงปี 1951-1975 พบว่า ปริมาณน้ำฝน ในบริเวณนี้ มีการเปลี่ยนแปลงมาก โดยขึ้นอยู่กับกระแสลมที่พัดผ่านในบริเวณนี้มีปริมาณฝนโดยเฉลี่ยประมาณ 1,351 ml/year และอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 17.9 °C

ลักษณะของฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงใต้จะแผ่กระจายอย่างกว้างขวางและยาวนานกว่าในบริเวณที่ราบลุ่มของภาคกลาง ทั้งนี้เนื่องมาจากลมมรสุมที่พัดผ่านในบริเวณชายฝั่งซึ่งสามารถจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งจะพัดมาในเดือน พฤษภาคม-กันยายน ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันตก จะมีคุณสมบัติให้ความชุ่มชื้นทำให้บริเวณชายฝั่งทะเลจะมีฝนชุกมากกว่าบริเวณอื่น ๆ โดยเฉลี่ยจะมีฝนตกต่อปีประมาณ 288 ml ดังนั้นในบริเวณชายฝั่งทะเลจะมีช่วงฤดูฝนยาวนานกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ความเร็วของลมโดยเฉลี่ย 9 น็อต อุณหภูมิ 27.9-29.2 °C

2. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศทางลมจะพัดผ่านในทิศเหนือ โดยพัดผ่านในช่วงเดือน ตุลาคม-มกราคม จะทำให้บริเวณนี้หนาวเย็นและแห้งแล้ง ความเร็วของโดยเฉลี่ย 6.5 นี้อ อุณหภูมิประมาณ 23°C

3. ฤดูร้อนในช่วงเดือน กุมภาพันธ์-พฤษภาคม ช่วงนี้เป็นช่วงที่ร่องมรสุมกำลังเปลี่ยนทิศทาง แต่บริเวณชายฝั่งก็ยังคงมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอื่น ๆ และยังมีฝนตกเป็นครั้งคราว ทิศทางลม พัดเข้ามาทางทิศใต้ด้วยความเร็ว 7.0 นี้อ อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 30°C ความชื้นสูงประมาณ 75-80%

ธรณีสัณฐาน

ตะกอนบริเวณนี้เป็นตะกอนที่เกิดขึ้นในยุคควอเทอร์นารี คาดว่าเกิดจากน้ำทะเลเป็นทรายชาย ฝั่งเก่า (Older beach sand) ทรายกลุ่มนี้จะเกิดขึ้นเป็นแนวตะวันออก-ตะวันตก ความกว้าง ประมาณ 1 ก.ม. เป็นแนวที่สูงกว่าแนวอื่น ๆ และอยู่ติดกับบริเวณซึ่งเป็นแผ่นดิน หรือบริเวณที่สูง ขึ้นไป แนวเหล่านี้ไม่ได้ต่อเนื่องกันแต่เป็นสันทราย (Sand ridge) หลายอัน ซึ่งถูกแบ่งแยกโดยทาง น้ำ และลักษณะภูมิฐานเดิม ความต่อเนื่องของตะกอนทรายพวกนี้ไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่จะมี ขนาดโตขึ้นตามความลึก จากเม็ดละเอียดไปหายาบในช่วงล่าง การคัดขนาดไม่ดีนัก ในบางแห่งจะ มีชั้นกรวดแทรกสลับเป็นชั้นบางๆ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของอากาศซึ่งมีผลต่อคลื่นและกระแสน้ำ ในการพัดพาทรายพวกนี้มาตกทับถมกัน

ธรณีประวัติ

การท่วมของน้ำทะเล (transgression) ในช่วงแรกจะท่วมบริเวณที่เป็นตัวเมืองระยองทั้งหมด ตะกอนที่ถูกพัดพามากับทางน้ำ ตอนเหนือจะสะสมตัวอยู่ใต้น้ำ ซึ่งยังค้ำอยู่และอยู่ภายใต้อิทธิพล ของคลื่นจากทะเลที่เปลี่ยนไปในแต่ละฤดูกาล คลื่นเหล่านี้จะพัดพาทรายบางส่วนมาทับถมกันเป็น กองทรายนอกชายฝั่ง (off shore bar) ต่อมาทรายเหล่านี้จะกองสูงขึ้นจนกระทั่งทรายส่วนบนถูก พัดพาเคลื่อนเข้าหาฝั่งทับถมกันสูงขึ้นเรื่อย ๆ เป็นแนวหาดทรายส่วนบนของมันจะสูงพ้นจากอิทธิ พลของคลื่น ส่วนด้านหลังของหาดนี้ก็จะเป็นที่ลุ่มน้ำขัง (lagoon) ต่อมาอาจจะมีการยกตัวสูงขึ้น สัมพันธ์กับระดับน้ำทะเลทำให้หาดทรายนี้สูงกว่าหาดทราย ขบวนการเดียวกันนี้ก็จะเกิดขึ้นอีก เป็นหาดทรายแนวต่อไปและหลังหาดก็เป็นที่อยู่ลุ่มน้ำขังเช่นกัน ส่วนหาดทรายแนวสุดท้ายที่เกิดขึ้น ตามกระบวนการนี้ คิดว่าจะเกิดต่อเนื่องกันไปเป็นเวลานาน และบริเวณนั้นควรจะคงที่ (stable) พอสมควร เกิดการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ทรายซึ่งเกิดขึ้นก่อนถูกพัดพามาตามแนวชายฝั่งเดิม

โดย long shore current และคลื่น เกิดเป็นกองทราย (shoal) และสันทราย (bar) อยู่นอกชายฝั่ง ลักษณะเหล่านี้ควรจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่น้ำทะเลลดลงเกือบเท่ากับระดับปัจจุบัน

ในช่วงสุดท้ายคิดว่าเป็นช่วงที่น้ำทะเลสูงมาอยู่ในระดับปัจจุบันจะเกิดแนวหาดที่สูงกว่าหาดปัจจุบันประมาณ 0.5-1 เมตร ตามบริเวณชายฝั่งและจะมีร่องยาว (runnel หรือ swamp) เกิดขึ้นหลังหาดและมักจะมีทางน้ำเล็ก ๆ ต่อเนื่องกับคลอง ในปัจจุบันนี้ร่องน้ำเหล่านี้จะมีน้ำขัง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3.

การศึกษาโครงการการแต่งทรายแก้ว

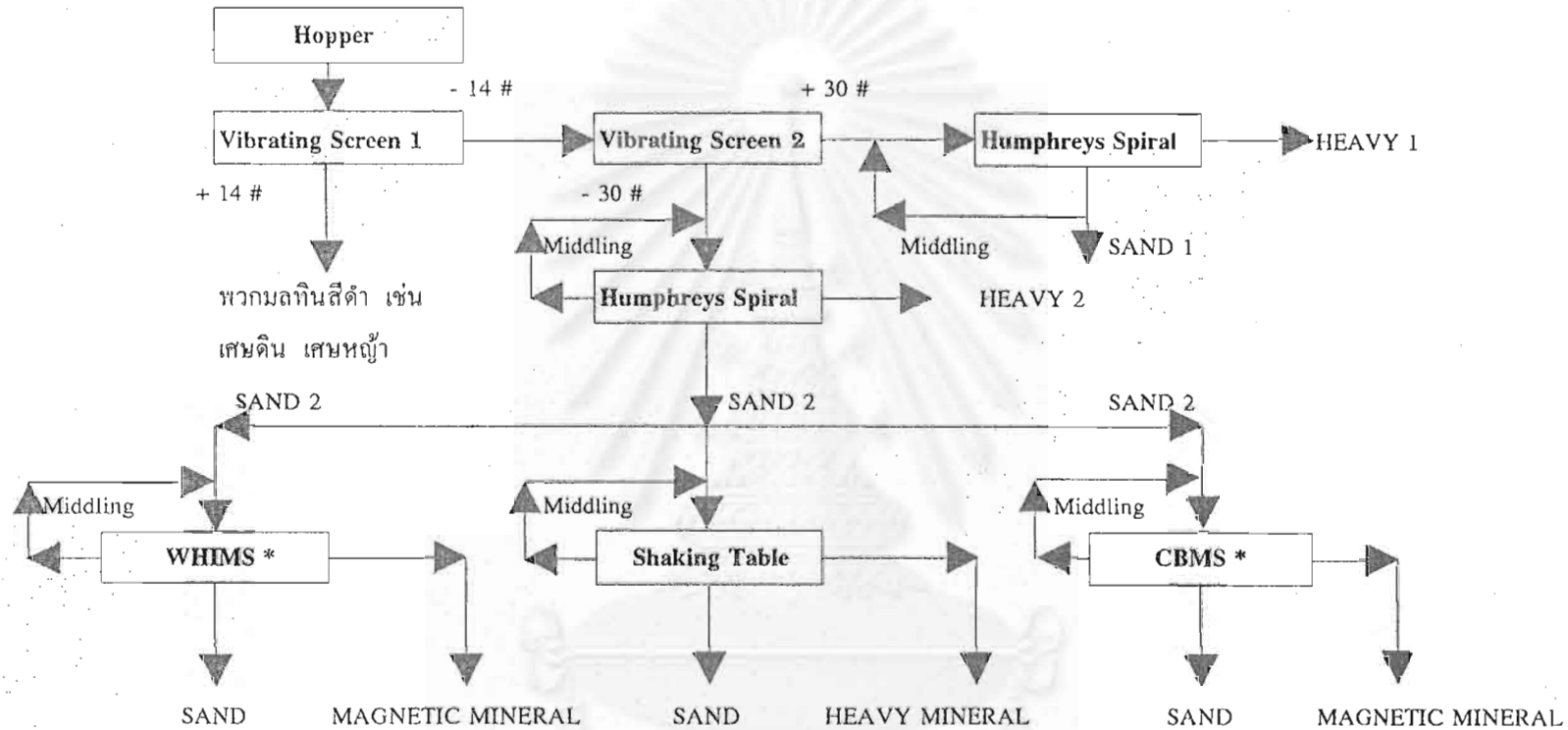
- เก็บตัวอย่างทรายแก้วคุณภาพต่ำ
- นำตัวอย่างทำการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมี
- นำตัวอย่างทำการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางฟิสิกส์
- ศึกษาแยกมลทินออกจากแร่ทรายแก้ว
- สรุปและวิจารณ์ผล

ในการศึกษาการทดลองการแต่งแร่ทรายแก้วนี้ จะทำการทดลองโดยในขั้นแรกจะนำทรายมาป้อนลง Hopper แล้วคัดขนาดทรายเม็ดโต, รากไม้, เศษหญ้าด้วย ตะแกรงสันแบบเปียกขนาด 14# แร่ขนาดเล็กลงกว่า 14# จะถูกแยกด้วยตะแกรง 30# แร่ขนาดโตกว่า 30# จะป้อนเข้า Humprey spiral แยกแร่หนักออกจากทรายแก้ว แร่ที่เล็กกว่า 30# จะป้อนเข้า Humprey spiral แยกแร่หนักออกจากทรายแก้ว แบ่งทรายแก้วที่ได้มาทดลองแยกมลทินออกโดยใช้ Wet High Intensity Magnetic Separator, Shaking Table, Cross Belt Magnetic Separator นำแร่ที่แยกได้จากเครื่องมือแต่ละขั้นตอนมาวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมีและทางฟิสิกส์ รายละเอียดแผนผังการแยกแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำแสดง ดังรูป 3-1

3.1 การศึกษาองค์ประกอบแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำ

ในการศึกษาโครงการนี้ ได้เก็บตัวอย่างทรายแก้วคุณภาพต่ำซึ่งเป็นแหล่งทรายที่เหลือจากการทำเหมืองของบริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย จำกัด แหล่งทรายแหล่งนี้ได้มีการนำทรายแก้วออกจากแหล่งเพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแก้วมานานแล้ว ปัจจุบันทรายแก้วคุณภาพสูงในแหล่งกำลังหมดไป ทรายแก้วที่เหลือในแหล่งเป็นทรายแก้วคุณภาพต่ำ ซึ่งต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการที่เหมาะสม

รูปที่ 3-1 Flowsheet Producing Glass Sand for Project



(WHIMS * = Wet High Intensity Magnetic Separator)

(CBMS * = Cross Belt Magnetic Separator)

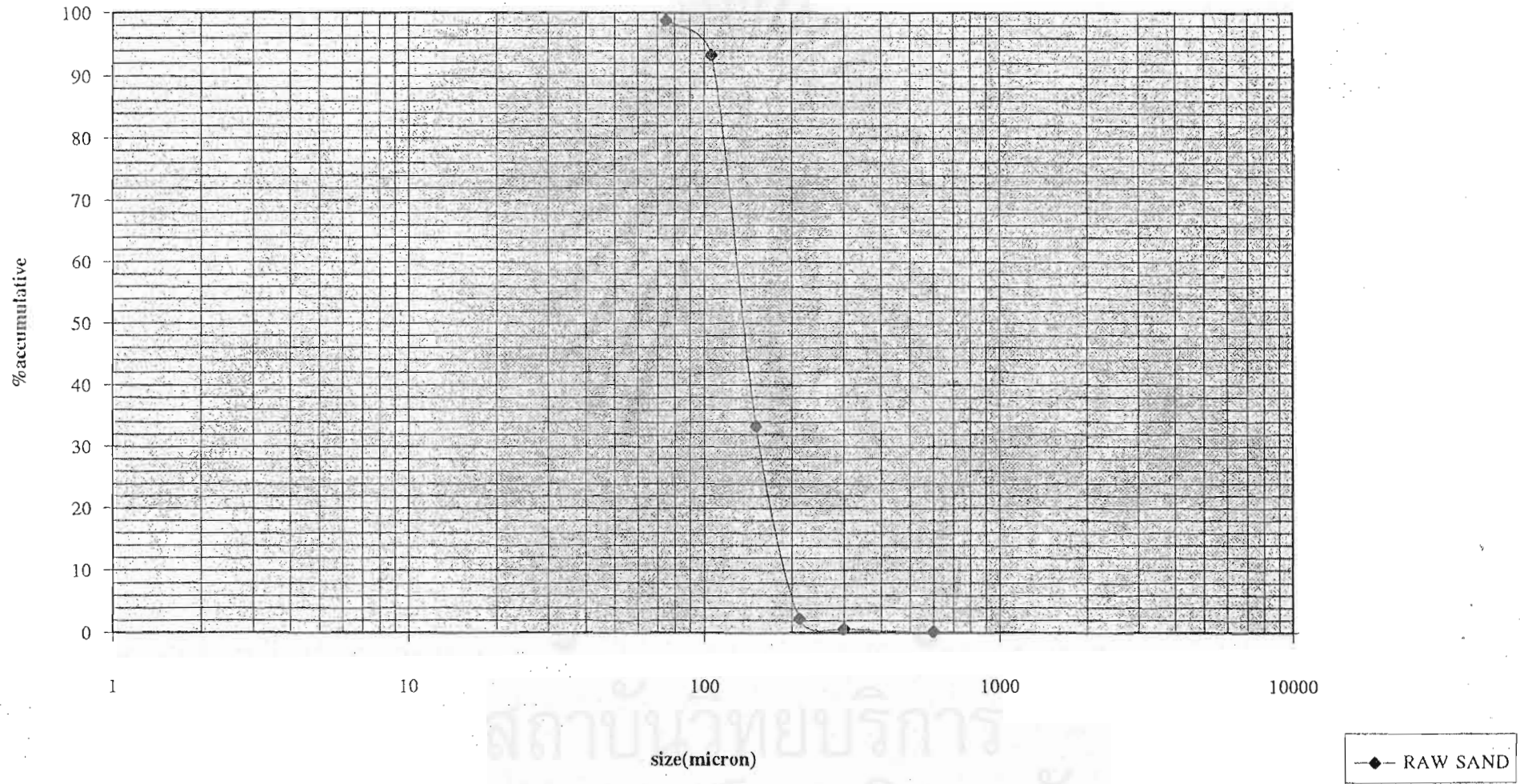
ทราบจากแหล่งที่นำมาศึกษาโครงการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ดังนี้

SiO ₂	95.5%
Na ₂ O	0.09%
K ₂ O	0.14%
CaO	0.01%
MgO	0.02%
Al ₂ O ₃	0.94%
TiO ₂	0.13%
Fe ₂ O ₃	0.12%
Cr ₂ O ₃	0.0013%
LOI	3.07%

การกระจายตัวของขนาดเม็ดทรายแก้วคุณภาพต่ำ

ขนาดตะแกรง (เมช)	น้ำหนัก (%)	น้ำหนักสะสม (%)
5	0.00	0.00
8	0.00	0.00
16	0.00	0.00
25	0.25	0.25
36	0.40	0.65
60	1.70	2.35
100	30.39	33.30
150	60.04	93.34
200	5.45	98.80
<200	1.20	100.00

รูปที่ 3-2 Particle Size Distribution Curve of Raw Glass sand



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบทางฟิสิกส์ โดยอาศัยคุณสมบัติความแตกต่างของความถี่เฉพาะของแร่, คุณสมบัติการดูดคิดแม่เหล็ก และการดูด้วยกล้อง Optical Microscopy พอสรุปได้ว่ามลทินสีค่าส่วนใหญ่จะเป็นเศษไม้ เศษหญ้า และแร่ค่าปะปนอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นแร่ อิลเมไนต์ (Ilmenite) (Fe_2TiO_3) ซึ่งมีความถี่เฉพาะ 4.7 รูปผลึกระบบเฮกซะโกนาล ผลึกมักจะเป็นแผ่นหนาหรือเป็นชั้นความยาวคล้ายโลหะหรือกึ่งโลหะ สีดำแบบเหล็ก สีผงละเอียดดำหรือแดงน้ำตาล มีคุณสมบัติแม่เหล็กได้สูงโดยไม่ต้องเผาให้ร้อน เนื้ออับแสง

จากผลการวิจัยทรายแก้วคุณภาพต่ำมี SiO_2 เพียง 95.5 % ซึ่งในการผลิตแก้วต้องการ SiO_2 อย่างต่ำ 99 % มลทินส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ได้แก่ รากไม้ , เศษหญ้า และแร่หนักอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่ แร่อิลเมไนต์ ซึ่งในทรายแก้วคุณภาพต่ำมี Fe_2O_3 0.12 % จะต้องแต่งแร่เหล็กให้มี Fe_2O_3 ต่ำกว่า 0.05 %

จากผลการกระจายตัวของขนาดทรายแก้วคุณภาพต่ำจะเห็นว่าเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแก้ว ซึ่งขนาดเม็ดทรายจะใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงขนาดเล็กกว่า 20 เมช และโตกว่า 120 เมช

3.2 การทดลองแยกมลทินจากแร่ทรายแก้วโดย Humphreys Spiral

วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างทรายที่ผ่าน wet sieve เพื่อทำการล้างและคัดขนาดให้เป็น coarse grain และ fine grain
2. เตรียมเครื่องมือให้พร้อม ทดลองเดินเครื่อง เพื่อดูว่ามีจุดไหนเสียหรือไม่ และหาอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในตัวเครื่อง
3. ป้อนทรายที่เป็นพวก coarse grain ผ่านเครื่อง ปรับน้ำล้าง (Wash Water flow) ให้เหมาะสม จนเห็นแถบแร่สีดำแยกตัวออกจากทราย
4. จากข้อ 3. ทรายที่ผ่านเครื่องจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ sand 1 และ heavy 1 นำไปอบให้แห้ง ซึ่งน้ำหนักจดบันทึก เก็บไว้เพื่อนำไปทำการทดลองต่อ
5. ทำการทดลองอีกครั้ง แต่คราวนี้ใช้ทรายพวกที่เป็น fine grain
6. จากข้อ 5. ทรายจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ sand 2 และ heavy 2 แล้วนำทรายทั้งสองส่วนไปทำตามข้อ 4.
7. นำ sand 1 , sand 2 , heavy 1 และ heavy 2 ไปวิเคราะห์ sieve analysis
8. นำผลของ sieve analysis ไปทำ size distribution
9. นำ sand ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของ SiO_2 และ มลทินต่าง ๆ

ผลการทดลอง (แร่ป้อนเป็นพวก coarse grain)

	น้ำหนัก (kg) แร่ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง
Sand 1	0.773
Heavy 1	0.258

ผลการทดลอง (แร่ป้อนเป็นพวก fine grain)

	น้ำหนัก (kg) แร่ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง
Sand 2	20.748
Heavy 2	5.085
Loss 2	2.656

** ในการทดลอง ได้นำทรายมาจากแหล่ง 30 kg นำไปผ่าน Wet sieve ซึ่งมี Vibrating Screen ทำหน้าที่คัดขนาดออกเป็น 2 ส่วน คือ coarse grain และ fine grain ซึ่งนำไปชั่งน้ำหนักได้ดังนี้ พวก coarse grain มีน้ำหนัก 1.031 kg พวก fine grain มีน้ำหนัก 28.489 kg และมีการสูญหายไปกับเครื่อง wet sieve เป็นน้ำหนัก 0.480 kg ซึ่งจะเห็นได้ว่าทรายในส่วน coarse grain มีปริมาณน้อยมาก เมื่อนำไปเข้าเครื่อง Humphreys ซึ่งมีความจุของน้ำในระบบถึง 40 ลิตร เพราะฉะนั้นจะมี % Solid เพียง 2.5 % ส่วนพวก fine grain เมื่อนำไปเข้าเครื่อง Humphreys จะได้ค่า % Solid 28.5 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผลการวิเคราะห์ SIEVE ของ SAND ผ่านเครื่อง HUMPHREYS SPIRAL

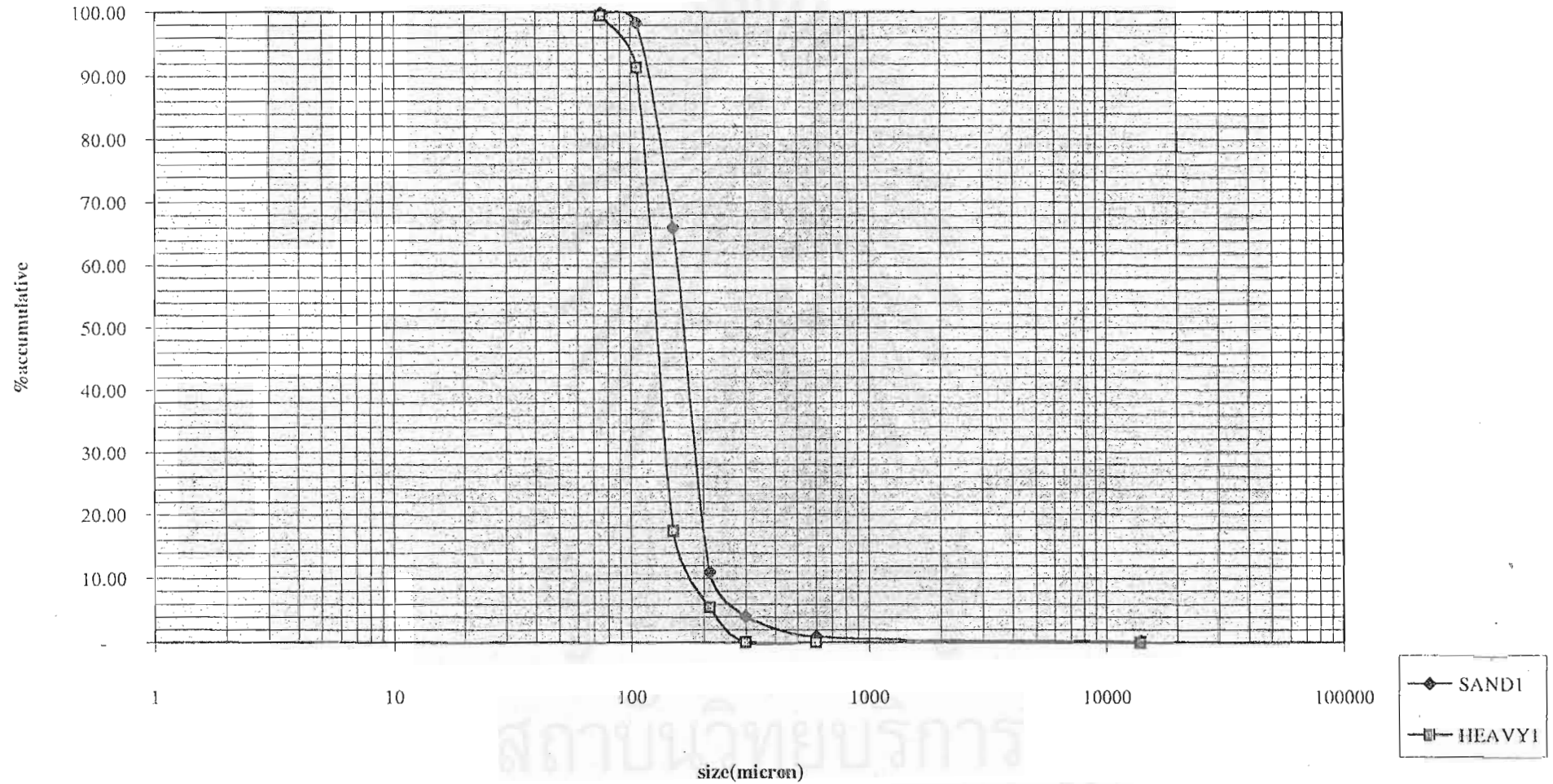
ตารางที่ 3-1 แสดงผล sieve analysis ของ SAND 1 (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.001	0.130	0.001	0.13
30	0.006	0.777	0.007	0.91
50	0.025	3.238	0.032	4.15
70	0.053	6.865	0.085	11.01
100	0.425	55.052	0.510	66.06
140	0.249	32.254	0.759	98.32
200	0.012	1.554	0.771	99.87
-200	0.001	0.130	0.772	100.00
total	0.772			

ตารางที่ 3-2 แสดงผล sieve analysis ของ HEAVY 1 (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.010	5.435	0.010	5.435
100	0.022	11.957	0.032	17.391
140	0.136	73.913	0.168	91.304
200	0.015	8.152	0.183	99.457
-200	0.001	0.543	0.184	100.000
total	0.184			

รูปที่ 3-8 Particle Size Distribution Curve of Humpreys Spiral(+30#)



ตารางที่ 3-3 แสดงผล sieve analysis ของ SAND 2 (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.001	0.168	0.001	0.168
70	0.001	0.168	0.002	0.337
100	0.266	44.781	0.268	45.118
140	0.300	50.505	0.568	95.623
200	0.022	3.704	0.590	99.327
-200	0.004	0.673	0.594	100.000
total	0.594			

ตารางที่ 3-4 แสดงผล sieve analysis ของ HEAVY 2 (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.001	0.168	0.001	0.168
50	0.001	0.168	0.002	0.337
70	0.002	0.337	0.004	0.673
100	0.208	35.017	0.212	35.690
140	0.359	60.438	0.571	96.128
200	0.022	3.704	0.593	99.832
-200	0.001	0.168	0.594	100.000
total	0.594			

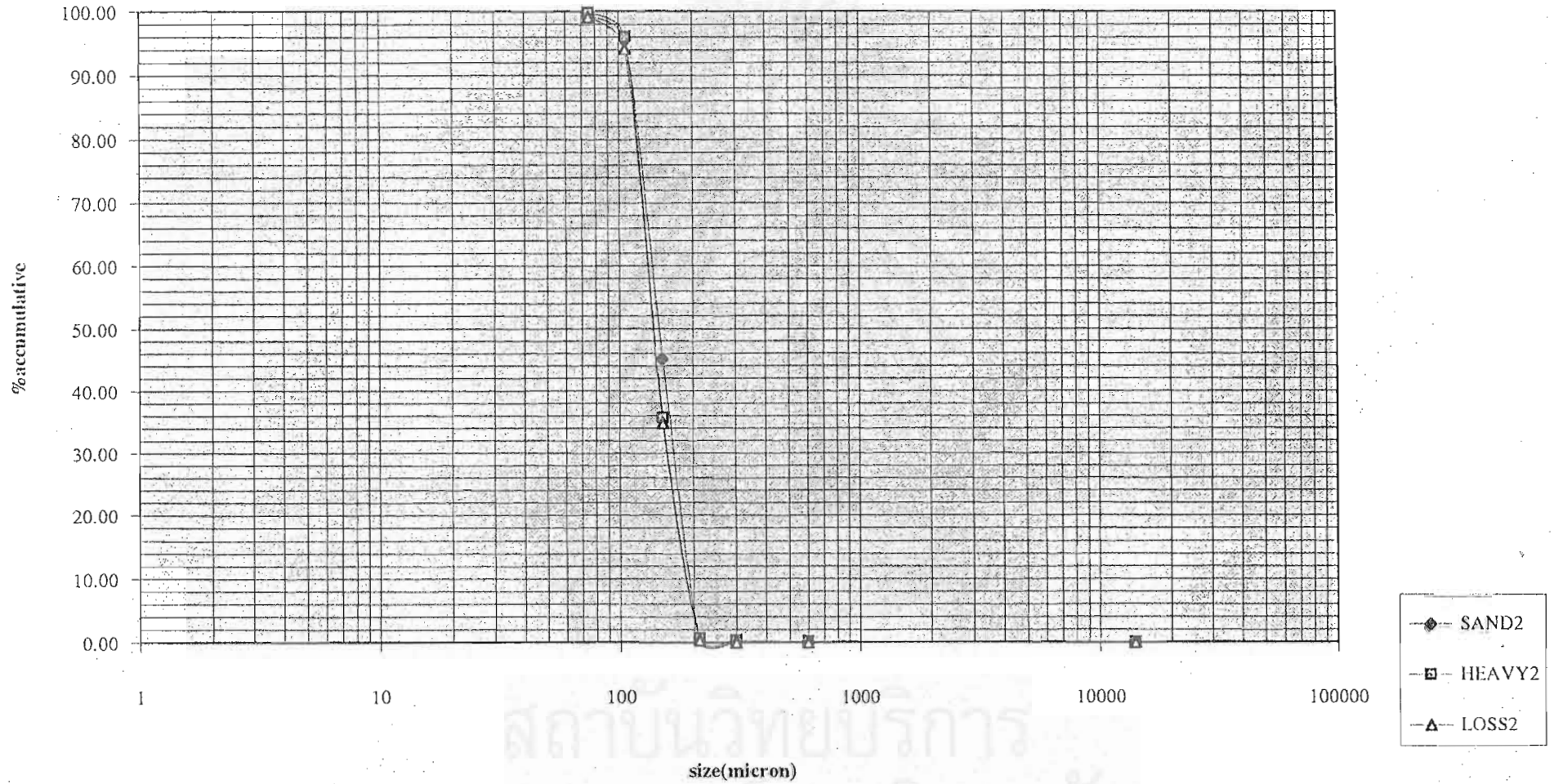
ตารางที่ 3-5 แสดงผล sieve analysis ของ LOSS 2 (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.002	0.344	0.002	0.344
100	0.200	34.423	0.202	34.768
140	0.345	59.380	0.547	94.148
200	0.029	4.991	0.576	99.139
-200	0.005	0.861	0.581	100.000
total	0.581			

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-4 Particle Size Distribution of Humpreys Spiral(-30#)

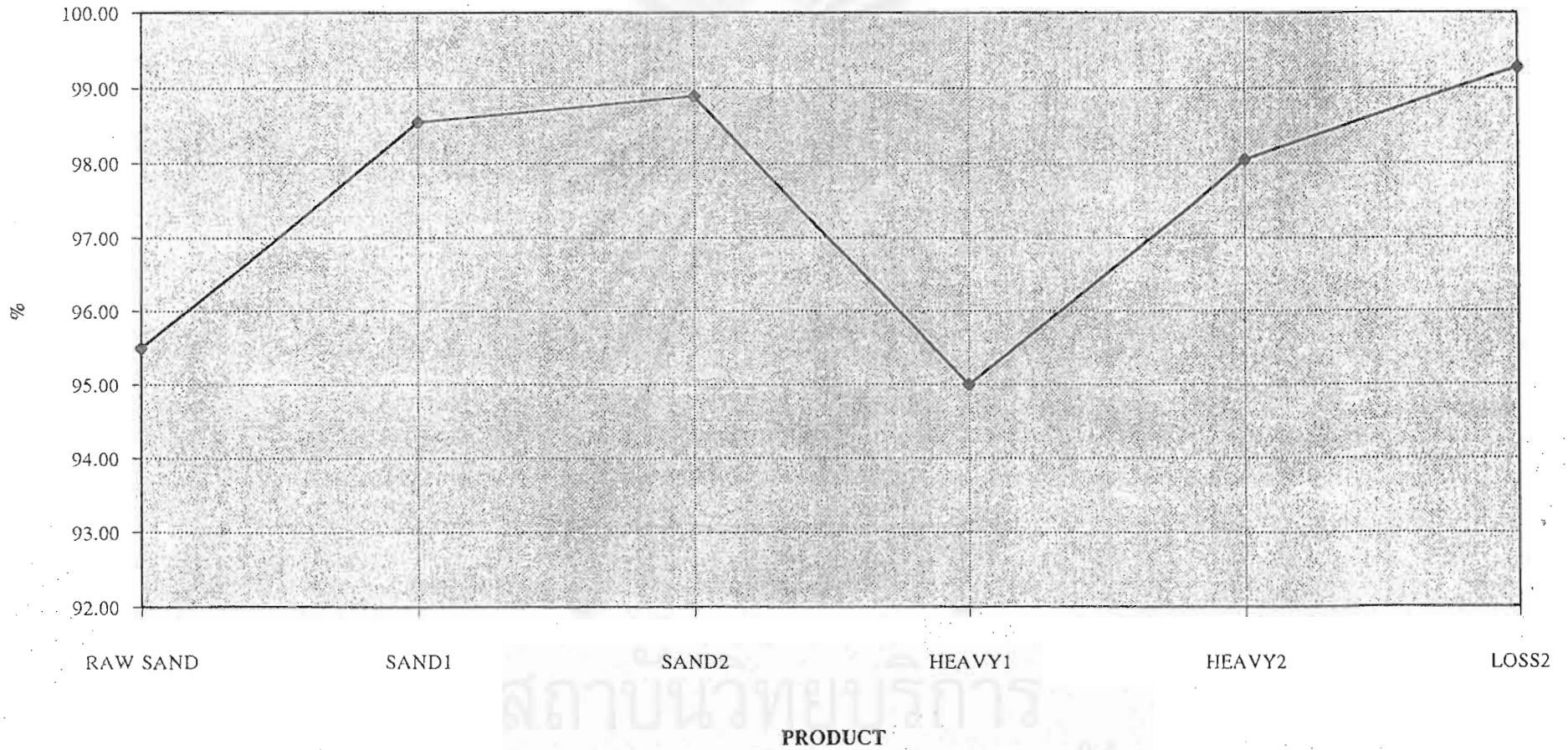


ตาราง 3-6 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมี ที่ผ่าน Humphrey Spiral

COMPOSITION	SAND1	SAND2	HEAVY1	HEAVY2	LOSS2
SiO ₂ (%)	98.550	98.890	95.000	98.050	99.280
Na ₂ O (%)	0.040	0.040	0.047	0.033	0.048
K ₂ O (%)	0.124	0.107	0.032	0.040	0.097
CaO (%)	0.061	0.018	0.052	0.020	0.052
MgO (%)	0.022	0.016	0.047	0.028	0.020
Al ₂ O ₃ (%)	0.394	0.380	0.740	0.339	0.338
TiO ₂ (%)	0.282	0.223	2.500	0.671	0.058
Fe ₂ O ₃ (%)	0.506	0.262	1.200	0.629	0.098
Cr ₂ O ₃ (ppm)	31	15	379	25	5
LOI (%)	0.280	0.280	0.290	0.180	0.240

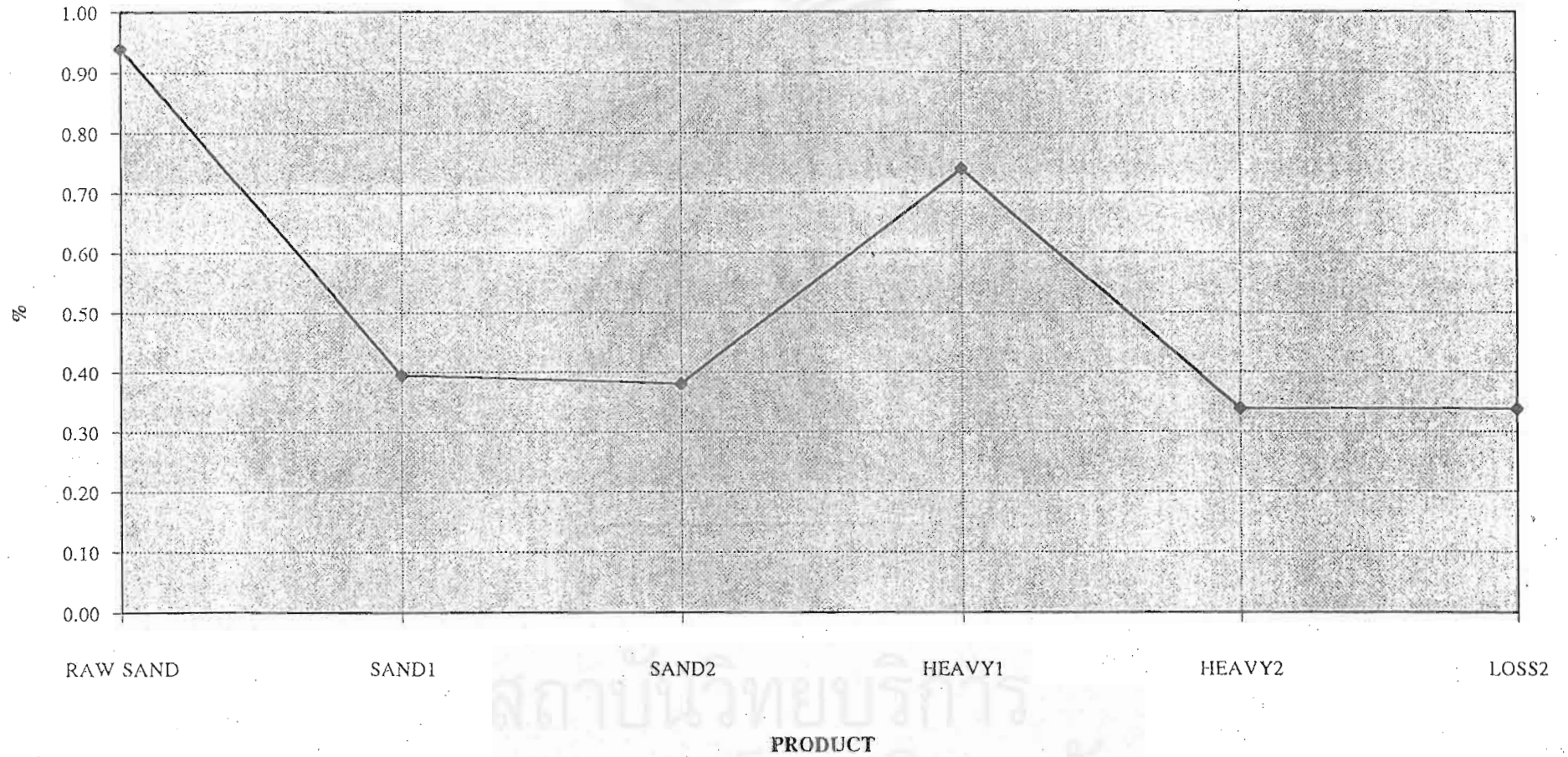
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-5 %SiO₂ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product

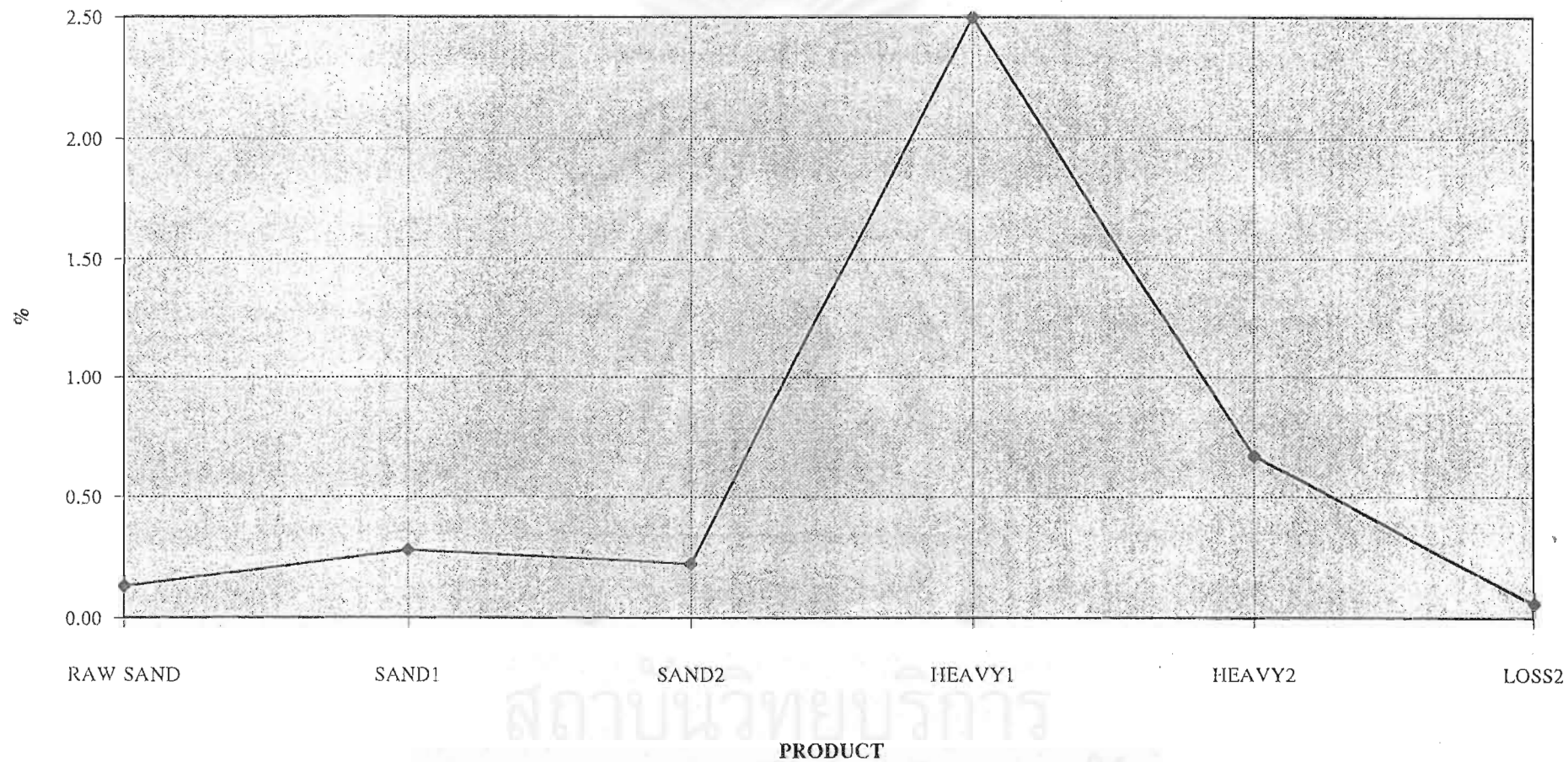


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-6 %AL₂O₃ of Raw Sand & Humhreys Spiral Product

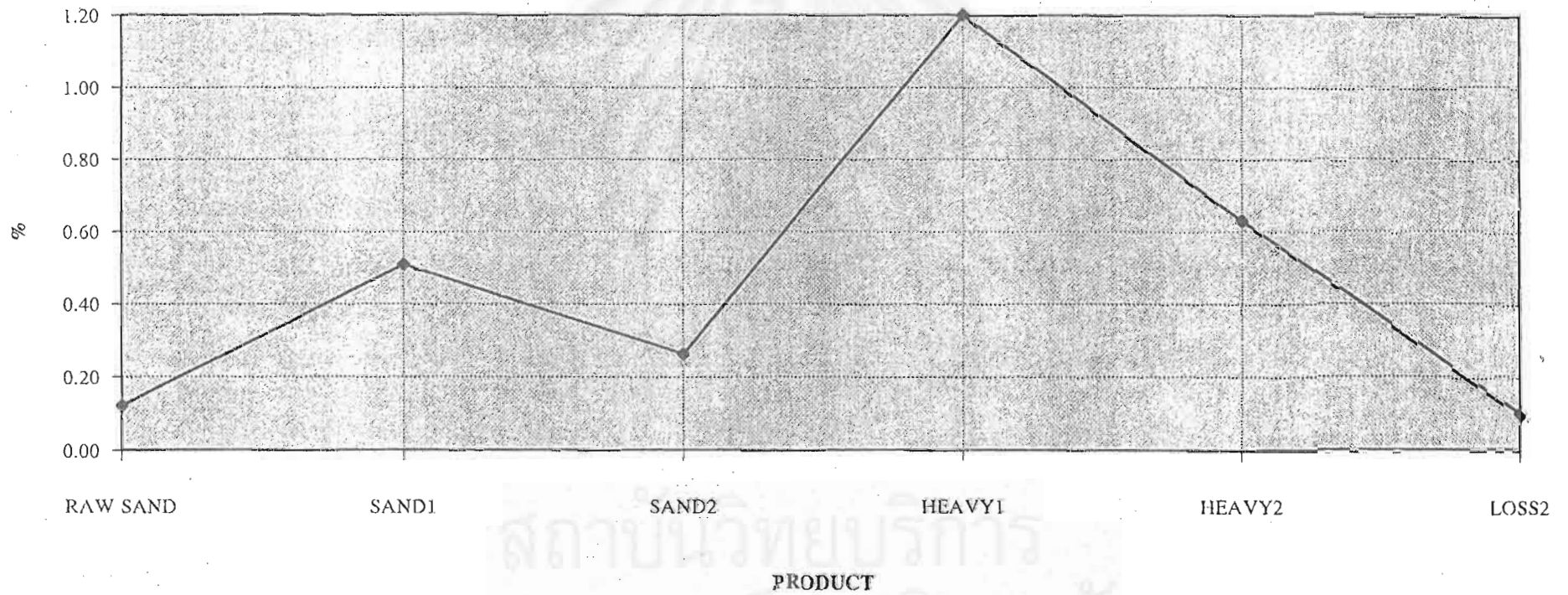


รูปที่ 3-7 %TiO₂ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product



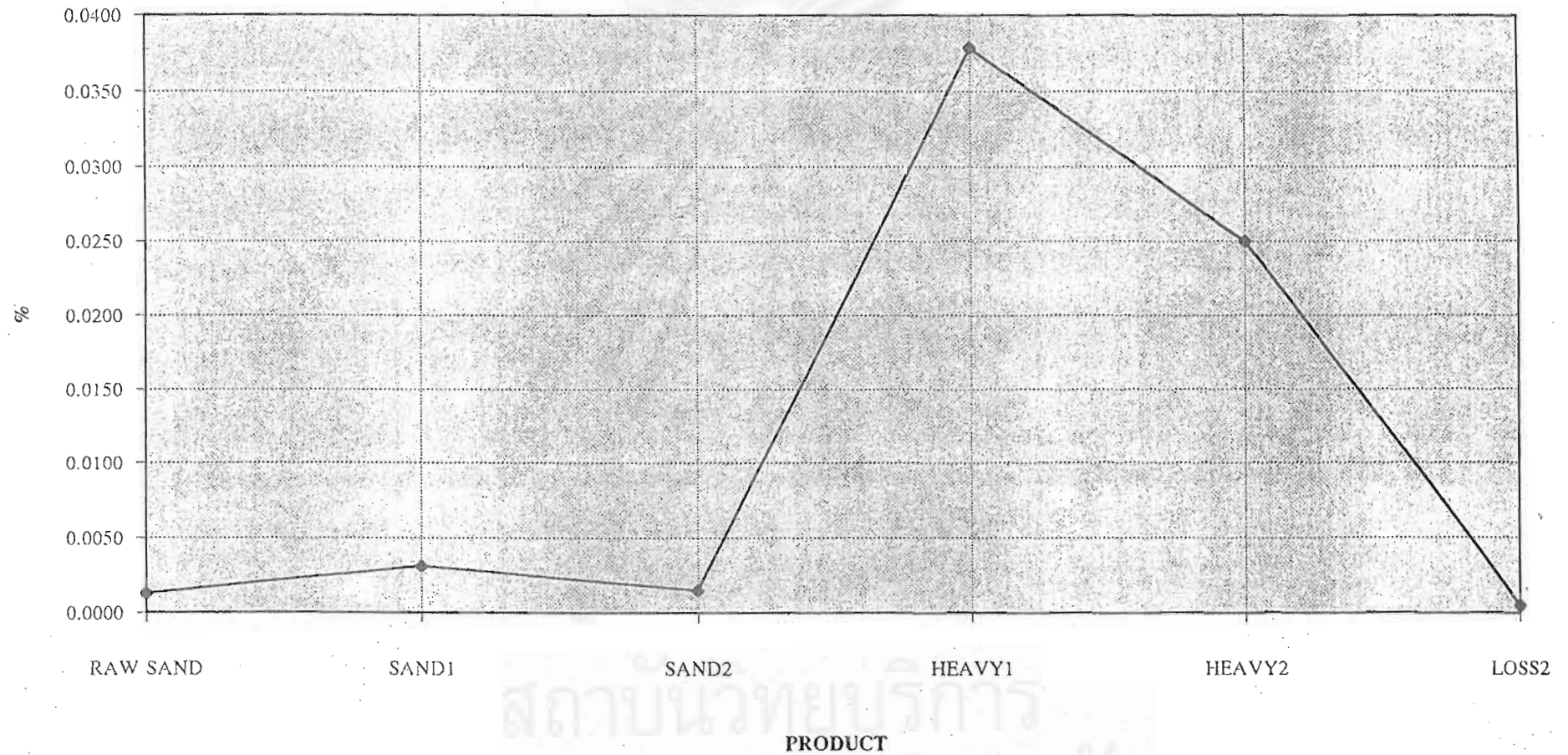
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-8 %Fe₂O₃ of Raw & Humphreys Spiral Product

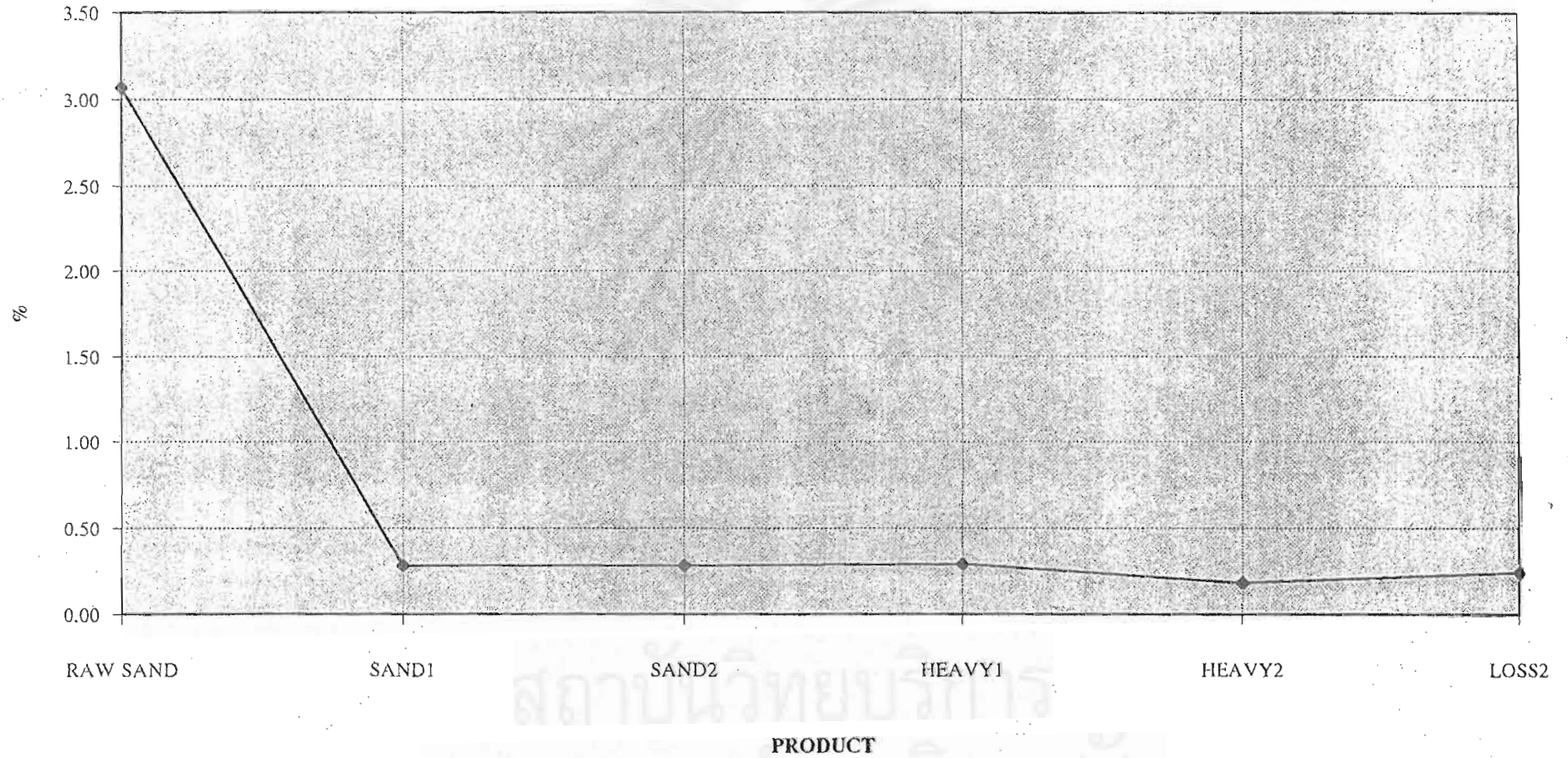


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-9 %Cr₂O₃ of Raw Sand & Humphreys Spiral Product



รูปที่ 3-10 %LOI of Raw Sand & Humphreys Spiral Product



สรุปผลการทดลอง ของ Humphreys Spiral

เมื่อส่งทราย sand 1 และ sand 2 ที่ผ่านการแต่งโดยใช้เครื่อง Humphreys Spiral ทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของ SiO_2 และมลทินต่าง ๆ ปรากฏว่าได้ผลเป็นดังนี้

ส่วนประกอบที่สำคัญ	sand 1 %	sand 2 %	ทรายที่ต้องการ %
SiO_2	98.55	98.89	มากกว่า 99
Al_2O_3	0.394	0.380	น้อยกว่า 0.21
Fe_2O_3	0.506	0.262	น้อยกว่า 0.05
CaO	0.061	0.018	น้อยกว่า 0.07
MgO	0.022	0.016	น้อยกว่า 0.68

จากตารางนี้จะเห็นได้ว่าค่า $\% \text{SiO}_2$, $\% \text{Al}_2\text{O}_3$, $\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ ยังไม่ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ ดังนั้นการแต่งแร่โดยใช้เพียงเครื่องชนิดนี้เพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถแต่งแร่ทรายให้กลายเป็นทรายแก้วที่มีคุณภาพสูงเหมาะแก่การทำแก้วและกระจกใสชนิดต่าง ๆ จึงควรจะมีการแต่งแร่โดยใช้เครื่องชนิดอื่นเข้าช่วยเพื่อให้ได้ทรายตามเกณฑ์ที่ต้องการ

เมื่อมาดูเปรียบเทียบจาก Particle size distribution curves ของ ขนาดเม็ดทราย (แสดงในรูปที่ 3-3) จะเห็นได้ว่าขนาดของ sand 1 มีตั้งแต่ขนาดใหญ่กว่า 20 เมช จนถึงขนาดเล็กกว่า 200 เมช โดยที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงขนาด 70-140 เมช และมีปริมาณมากที่สุดที่ขนาด >100 เมช ส่วนขนาดของ sand 2 จะมีขนาดของเม็ดทรายละเอียดกว่า sand 1 ซึ่งขนาดของ sand 2 ส่วนมากจะมีขนาดใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วงขนาด 100-140 เมช และมีปริมาณมากในขนาด >140 เมช ส่วนขนาดของแร่หนักโดยเฉลี่ยจะเล็กกว่าขนาดของทรายแก้วที่แต่งได้

สำหรับประสิทธิภาพในการเก็บแร่ทรายแก้ว (Recovery) ซึ่งแต่งโดย Humphreys Spiral ของทรายขนาดหยาบ (sand1) ประมาณ 74.98% โดยน้ำหนัก และของทรายขนาดละเอียด (sand2) ประมาณ 72.83% โดยน้ำหนัก

3.3 การทดลองแยกมลทินออกจากแร่ทรายแก้วโดย Wet High Intensity Magnetic Separator

(WHIMS)

วิธีการทดลอง

1. ชั่ง Sand2 ที่ผ่านการทดลองจาก Humphreys Spiral 5 kg. แผนผังการทดลอง ดูรูปที่ 3-11

2. ตรวจสอบและวัดเครื่องมือ WHIMS ที่ใช้ในการทดลอง

ความจุของถังรับแร่ป้อนมีขนาด 70 litre

ดังนั้นจะมีค่าเป็น 6.67 % Solid by weight

จับเวลา 10 วินาที วัดน้ำที่ใช้ในเครื่องได้ 2 litre

ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำจะมีค่าเป็น 0.2 litre/sec.

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

อัตราการป้อนแร่ pulp เป็น 10 litre/min.

อัตราเร็วถึงคาร์เซล

scale 6

rpm 1.03

m/s 1.98

3. ทำการทดลองป้อนแร่ sand ผ่านถึงเก็บแร่แล้วผ่านลงมายังสนามแม่เหล็กจะได้ product ออกมาเป็น 2 พวก คือ พวก Non-Magnetic (sand) และพวก Magnetic (heavy)

4. นำพวกที่เป็น Non-Magnetic (sand) ป้อนเข้าถึงเก็บแร่อีกครั้ง ทำซ้ำอย่างเดิมเป็นจำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วชั่งน้ำหนักทั้ง 2 พวก

5. แบ่งพวก sand ที่ได้มาบางส่วนเพื่อส่งไปทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของ SiO_2 และมลทินต่าง ๆ ว่ามีค่าเท่าไร

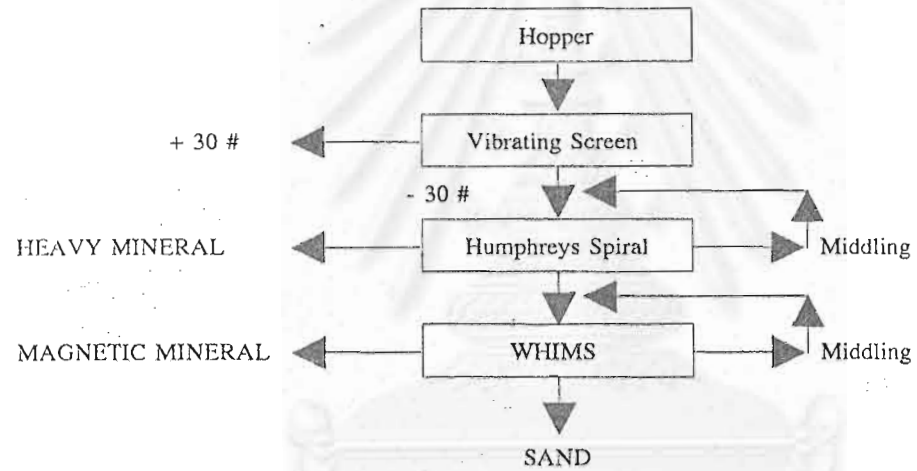
6. นำ sand ที่เหลือบางส่วนไปทำ Sieve analysis เพื่อทำ Size distribution

ผลการทดลอง

Sand (non-Magnetic)	4.668	kg.
Heavy (Magnetic)	0.259	kg.
Loss	0.073	kg.

** หมายเหตุ Loss นี้เกิดจากการสูญหายในเครื่องมือ

รูปที่ 3-11 Flowsheet Producing Glass Sand by the techniques of Humphreys Spiral & WHIMS



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผลการวิเคราะห์ SIEVE ของ SAND ผ่านเครื่อง WHIMS

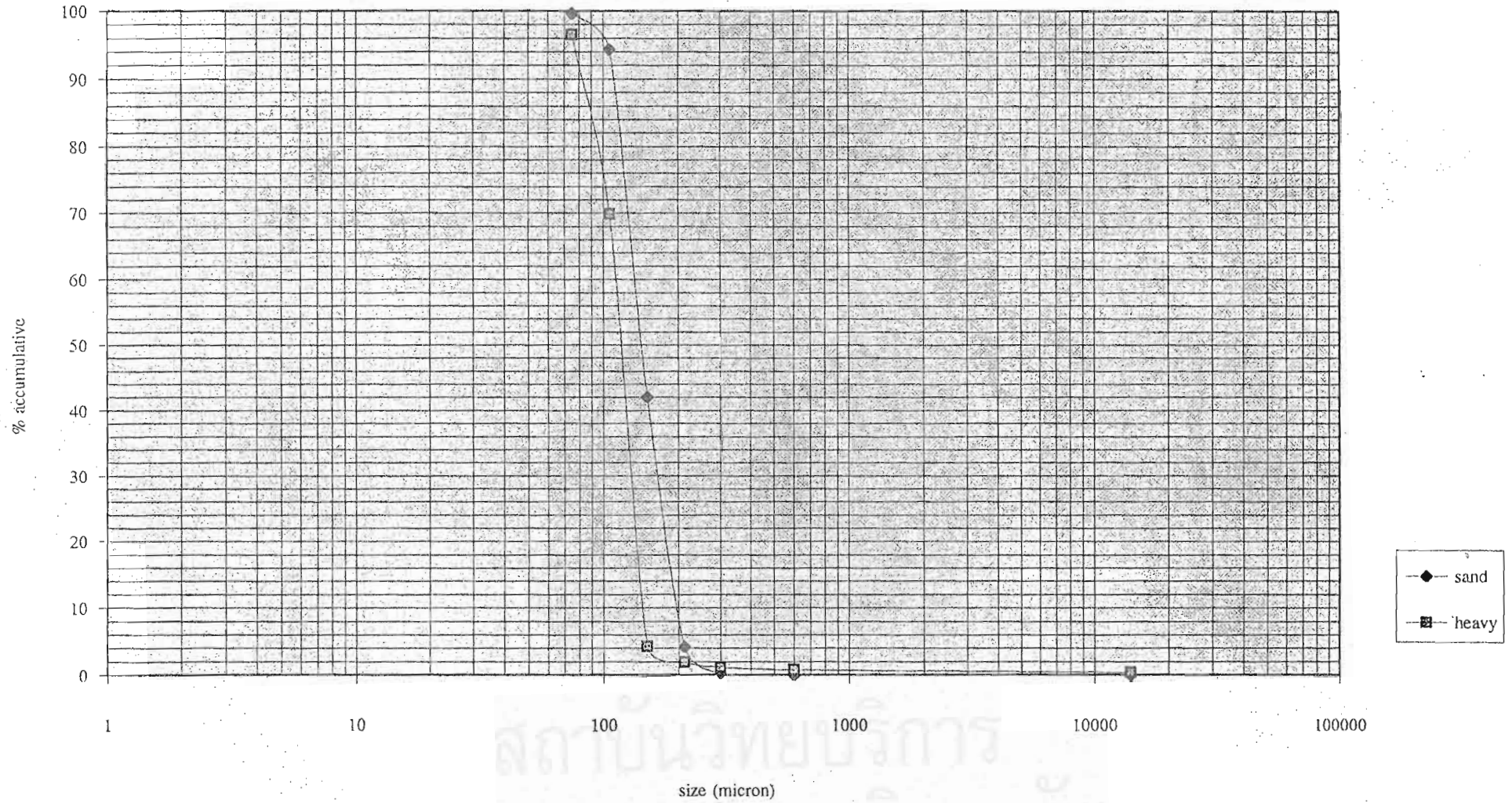
ตารางที่ 3-7 แสดงผล sieve analysis ของ SAND (non magnetic) (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.001	0.200	0.001	0.200
70	0.020	4.000	0.021	4.200
100	0.189	37.800	0.210	42.000
140	0.262	52.400	0.472	94.400
200	0.026	5.200	0.498	99.600
-200	0.002	0.400	0.500	100.000
total	0.500			

ตารางที่ 3-8 แสดงผล sieve analysis ของ HEAVY (magnetic) (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.001	0.386	0.001	0.386
30	0.001	0.386	0.002	0.772
50	0.001	0.386	0.003	1.158
70	0.002	0.772	0.005	1.931
100	0.006	2.317	0.011	4.247
140	0.170	65.637	0.181	69.884
200	0.069	26.641	0.250	96.525
-200	0.009	3.475	0.259	100.000
total	0.259			

รูปที่ 3-12 Particle Size Distribution of WHIMS Product



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-9 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของทรายแก้วที่ผ่านเครื่อง WHIMS

Component	Non magnetic
SiO ₂ (%)	99.340
Na ₂ O (%)	0.042
K ₂ O (%)	0.123
CaO (%)	0.015
MgO (%)	0.012
Al ₂ O ₃ (%)	0.344
TiO ₂ (%)	0.038
Fe ₂ O ₃ (%)	0.040
Cr ₂ O ₃ (ppm)	3
LOI (%)	0.230

สรุปผลการทดลองของเครื่อง Wet Magnetic

เนื่องมาจากจุดประสงค์ในการแต่งแร่ที่ต้องการที่จะลดปริมาณเหล็กสูง เพราะเป็นมลทินสำคัญที่ทำให้แก้วที่ผลิตขึ้นมาคุณภาพต่ำ ดังนั้นจึงได้เลือกใช้เครื่องมือที่ใช้แม่เหล็กในการแต่ง จากผลวิเคราะห์ ตารางที่ 3-9 จะเห็นได้ว่าค่าของส่วนประกอบต่าง ๆ มีผลที่น่าพอใจคือ ปริมาณของแร่เหล็กที่เหลืออยู่ในทรายมีค่าลดลงจนได้ตามมาตรฐาน ค่าของซิลิกอนก็ได้เพิ่มขึ้น เพียงแต่ค่าของอลูมิเนียมยังไม่สามารถทำได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการ แต่ถ้าพิจารณาโดยรวมแล้วถือว่าทรายที่ผ่านการแต่งด้วยวิธีนี้ก็ถือได้ว่าเป็นทรายที่เหมาะสมแก่การทำแก้วได้

ดังนั้นเครื่องแยกแร่โดยใช้แม่เหล็กแบบ Wet Magnetic ก็ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมแก่การใช้ในการช่วยแต่งทรายให้เป็นทรายแก้ว

พิจารณาเปรียบเทียบ ขนาด size ของทั้ง sand (non magnetic) และ heavy (magnetic) ดังแสดงในตารางที่ 3-7 , 3-8 และในรูปที่ 3-12 จะพบว่า ขนาดเม็ดทรายโดยส่วนมากจะมีขนาดเม็ดโตกว่าขนาดเม็ดของกลุ่ม magnetic เพราะว่าจากการเปรียบเทียบที่ ขนาด > 100 เมช ของทรายจะมี 42% ส่วน กลุ่ม magnetic จะมีอยู่เพียง 4% เมื่อพิจารณาเฉพาะ ขนาดเม็ดทราย จะมีขนาด < 140 เมช ประมาณ 6% ดังนั้นขนาดของเม็ดทราย จะอยู่ในช่วง 100 เมช - 140 เมช ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถนำมาผลิตแก้วได้

เพราะฉะนั้น การที่จะนำเครื่องแยกแร่เพื่อมาช่วยการทำงานของ เครื่อง Humphreys Spiral และทำให้ได้ ททรายที่มี % SiO₂ สูง %Fe₂O₃ ต่ำกว่ากำหนด เครื่องแยกแร่แบบ Wet High Intensity Magnetic Separation จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้

3.4 การทดลองแยกมลทินออกจากแร่ทรายแก้วโดย Shaking Table

วิธีการทดลอง

1. นำ sand ที่ผ่านการทดลองมาจากเครื่อง Humphreys Spiral ซึ่งมาทั้งหมด 5 kg. รูปที่ 3-13
2. เตรียมอุปกรณ์ Shaking table ให้พร้อม ทำการลองเดินเครื่องเปล่า ปรับอัตราการสั่นของโต๊ะ ให้ได้ที่ 950-1,000 rpm ระยะ stroke 7 มม.
3. ป้อน sand ที่เตรียมไว้เข้าเครื่อง จับเวลาที่ใช้ในการป้อน
4. sand ที่ผ่านจะมีการแยกออกมา 3 ส่วน คือ Concentration, Middling และ Tailing
5. นำส่วนที่เป็น Middling (sand) ป้อนเข้าเครื่องอีก 5 ครั้ง เดินเครื่องจนแร่แยกหมด
6. แบ่งตัวอย่างบางส่วนจาก Concentration, Middling และ Tailing นำไปทำการวิเคราะห์ Sieve analysis แล้วนำผลที่ได้ไปทำ Size distribution
7. แบ่งตัวอย่างบางส่วนจาก Middling ไปทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของ SiO₂ และ พวกมลทินต่าง ๆ ว่ามีค่าเท่าไร

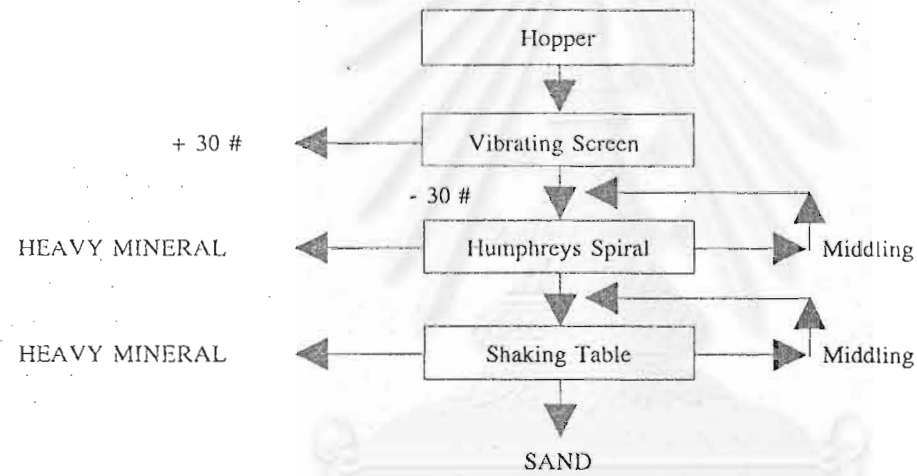
ผลการทดลอง

	นน.(kg.)
Concentrate (Heavy)	0.179
Middling (Sand)	4.501
Tailing	0.126
Loss	0.194

* เวลาที่ใช้ในการป้อนแร่ คือ 10 นาที

** Loss นั้นเกิดจากการสูญหายในเครื่องมือ

รูปที่ 3-13 Flowsheet Producing Glass Sand by the techniques of Humphreys Spiral & Shaking Table



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผลการวิเคราะห์ SIEVE ของ SAND ผ่านเครื่อง SHAKING TABLE

ตารางที่ 3-10 แสดงผล sieve analysis ของ HEAVY (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.001	0.552	0.001	0.552
30	0.001	0.552	0.002	1.105
50	0.001	0.552	0.003	1.657
70	0.001	0.552	0.004	2.210
100	0.004	2.210	0.008	4.420
140	0.112	61.878	0.120	66.298
200	0.052	28.729	0.172	95.028
-200	0.009	4.972	0.181	100.000
total	0.181			



ตารางที่ 3-11 แสดงผล sieve analysis ของ SAND (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.019	3.808	0.019	3.808
100	0.280	56.112	0.299	59.920
140	0.186	37.275	0.485	97.194
200	0.013	2.605	0.498	99.800
-200	0.001	0.200	0.499	100.000
total	0.499			

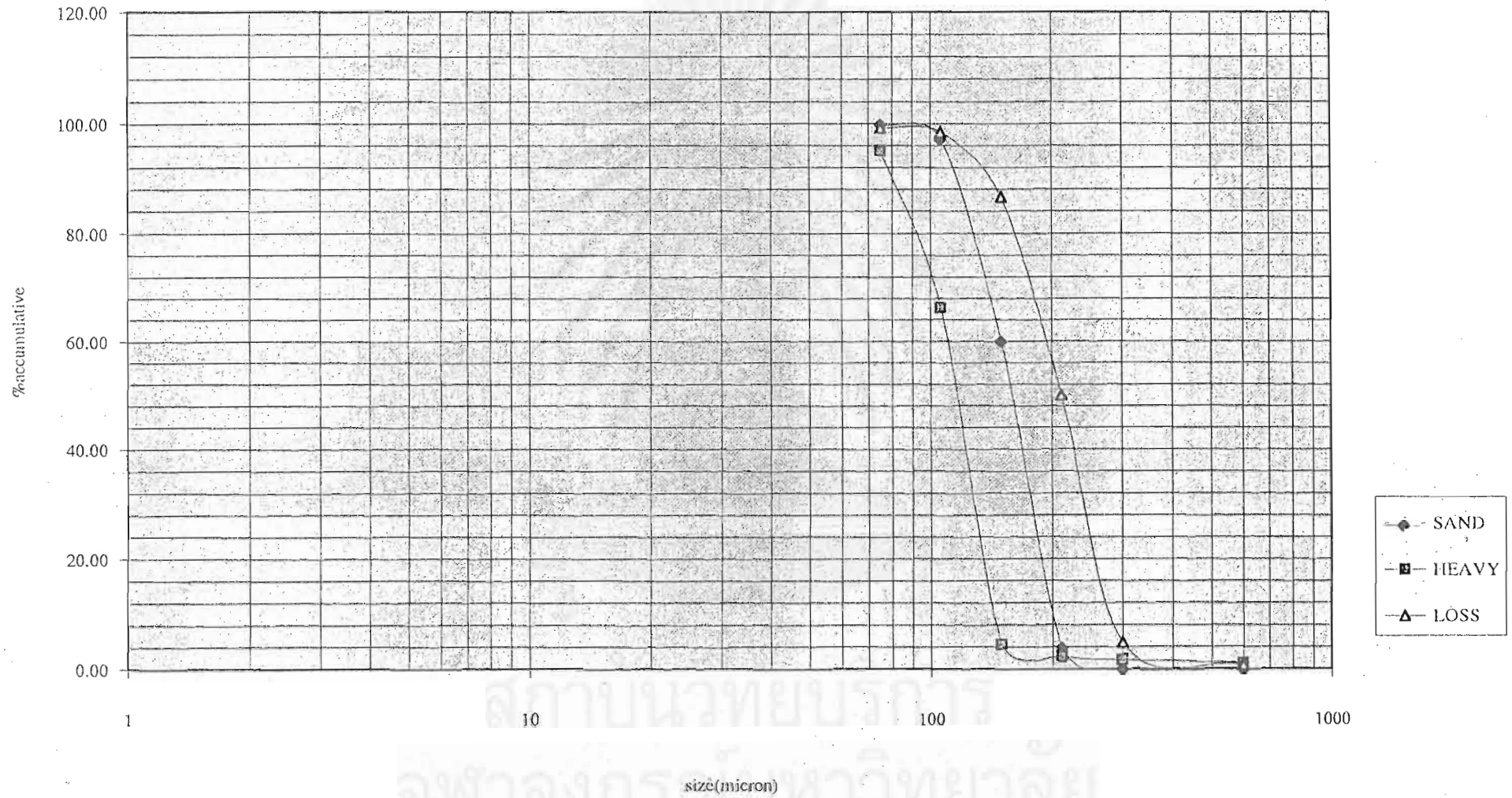
ตารางที่ 3-12 แสดงผล sieve analysis ของ LOSS (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.001	0.794	0.001	0.794
50	0.005	3.968	0.006	4.762
70	0.057	45.238	0.063	50.000
100	0.046	36.508	0.109	86.508
140	0.015	11.905	0.124	98.413
200	0.001	0.794	0.125	99.206
-200	0.001	0.794	0.126	100.000
total	0.126			

ตารางที่ 3-13 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของทรายแก้วที่ผ่านเครื่อง Shaking Table

Component	Sand
SiO ₂ (%)	99.400
Na ₂ O (%)	0.037
K ₂ O (%)	0.095
CaO (%)	0.016
MgO (%)	0.012
Al ₂ O ₃ (%)	0.319
TiO ₂ (%)	0.032
Fe ₂ O ₃ (%)	0.080
O ₂ (ppm)	4
(%)	0.021

รูปที่ 3-14 Particle Size Distribution of Shaking Table Product



สรุปผลการทดลองของเครื่อง Shaking Table

จากการทดลองโดยการป้อนแร่เข้าเครื่อง 5 กิโลกรัม สามารถทำการเก็บแร่ได้ถึง 4.5 กิโลกรัม ซึ่งก็จัดว่าสามารถทำการ recovery แร่ได้ค่อนข้างดี และจากผลวิเคราะห์ก็จะเห็นได้ว่าทรายที่ผ่านการแต่งโดยวิธีนี้สามารถได้ค่า SiO_2 ถึง 99.4 % , Al_2O_3 เพียง 0.319 % , Fe_2O_3 เพียง 0.080 % , CaO เพียง 0.016 % และ MgO เพียง 0.012 % ซึ่งก็จัดได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

พิจารณาขนาดเม็ดแร่ แสดงในตารางที่ 3-10,3-11,3-12 และรูปที่ 3-14 จะพบว่าขนาดของเม็ดทราย มีตั้งแต่ขนาด 70 เมช จนถึงขนาด 140 เมช เป็นส่วนใหญ่ ส่วน heavy จะมีขนาดอยู่ในช่วง 100 เมช - 140 เมช สำหรับ loss จะมีขนาดโตกว่า 100 เมช ซึ่งสามารถที่จะบอกได้ว่าขนาดเม็ดทรายมีขนาดโตกว่าของ heavy และปริมาณส่วนใหญ่ของเม็ดทรายก็อยู่ในช่วงที่ต้องการใช้ แต่เมื่อลองพิจารณาที่ loss การใช้เครื่องมือนี้จะมี loss อยู่บ้าง ซึ่งก็พอที่จะยอมรับได้ จึงน่าจะเป็นเครื่องที่น่าสนใจจะนำมาใช้ในการแต่งแร่ทราย และเนื่องมาจากขนาดเม็ดทรายที่มีขนาดเล็ก ซึ่งนับว่าเป็นการเหมาะที่จะใช้เครื่องมือนี้ เพราะโต๊ะสั่นนั้นจะมีประสิทธิภาพดี เมื่อใช้ทำการแต่งแร่มีขนาดเม็ดแร่ละเอียด ดังนั้นเครื่องมือชนิดนี้ก็ถือได้ว่าเหมาะสมในการที่จะใช้ช่วยในการแต่งแร่ทรายแก้วนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การทดลองแยกมลทินออกจากแร่ทรายแก้วโดย Cross Belt Magnetic Separator

วิธีการทดลอง

1. นำ sand ที่ผ่านการทดลองจากเครื่อง Humphreys Spiral มา 5 kg. คูแผนผัง รูปที่ 3-15
2. เตรียมเครื่องมือ ทดลองเดินเครื่อง เพื่อปรับค่า Volt และ Amphere โดยใช้ค่า Volt ที่ 260 V และปรับค่า Feed rate ที่ 50-60 Hz
3. ป้อนแร่เข้าเครื่องซึ่งจะได้ออกมา 2 ส่วน คือ ส่วน Non-magnetic (sand) และ Magnetic
4. ป้อนแร่เข้าเครื่องครั้งที่ 2 โดยนำส่วน Non-magnetic (sand) ป้อนเข้าเครื่องอีกครั้ง
5. ทำซ้ำข้อ 4. จนกระทั่งทำครบจำนวน 5 ครั้ง
6. นำส่วน Non-magnetic ที่ได้แบ่งไปวิเคราะห์ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของ SiO_2 และมลทินต่าง ๆ ว่ามีค่าเป็นเท่าไร
7. นำส่วน Non-magnetic ที่เหลือแบ่งไปทำการวิเคราะห์ Sieve Analysis เพื่อนำผลที่ได้ไปทำ size distribution

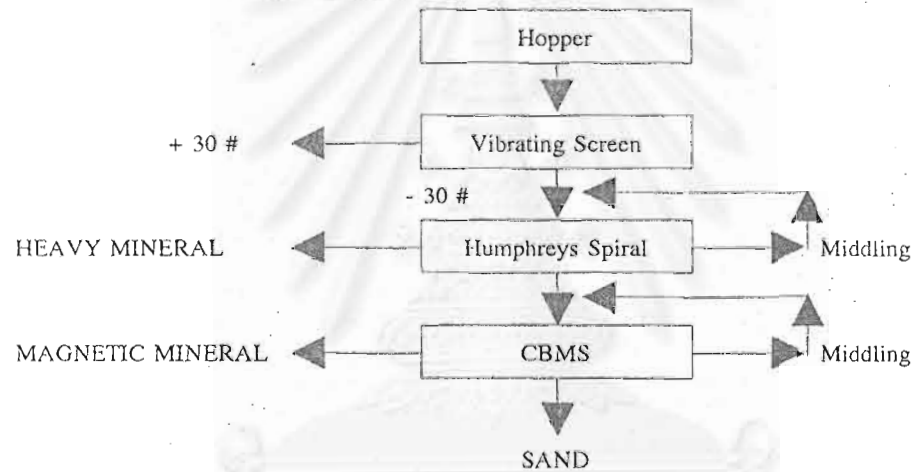
ผลการทดลอง

	นน.(kg)
Sand (non-magnetic)	4.889
Metal (magnetic)	0.009
Loss	0.102

* เวลาที่ใช้ในการป้อนแร่แต่ละครั้งเป็นเวลา 8 นาที

** Loss ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการสูญหายไปนเครื่องมือ

รูปที่ 8-15 Flowsheet Producing Glass Sand by the techniques of Humphreys Spiral & Cross Belt Magnetic Separator (CBMS)



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผลการวิเคราะห์ SIEVE ของ SAND ผ่านเครื่อง Cross Belt Magnetic Separator

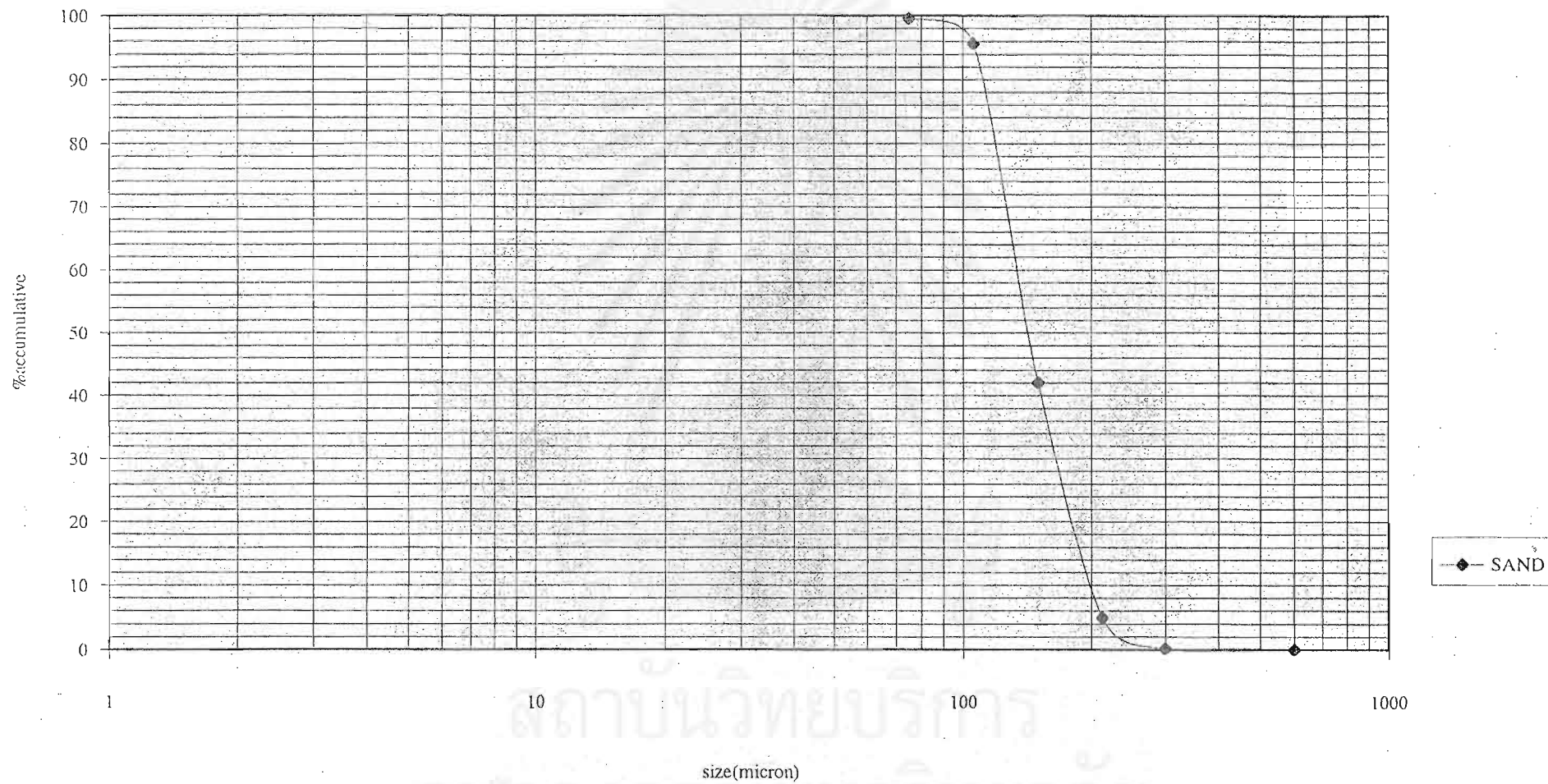
ตารางที่ 3-14 แสดงผล sieve analysis ของ SAND (ใช้เวลา 15 นาที)

size (mesh)	weight kg	% weight. %	accumulative weight kg	accumulative % weight %
14	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.001	0.200	0.001	0.200
70	0.024	4.800	0.025	5.000
100	0.185	37.000	0.210	42.000
140	0.268	53.600	0.478	95.600
200	0.020	4.000	0.498	99.600
-200	0.002	0.400	0.500	100.000
total	0.500			

ตารางที่ 3-15 ผลวิเคราะห์ทางเคมีที่ผ่านเครื่อง Cross Belt Magnetic Separator.

Component	Sand
SiO ₂ (%)	99.090
Na ₂ O (%)	0.040
K ₂ O (%)	0.112
CaO (%)	0.017
MgO (%)	0.016
Al ₂ O ₃ (%)	0.392
TiO ₂ (%)	0.148
Fe ₂ O ₃ (%)	0.097
Cr ₂ O ₃ (ppm)	16
LOI (%)	0.250

รูปที่ 3-16 Particle Size Distribution of CBMS Product



สรุปผลการทดลองของเครื่อง Cross Belt Magnetic Separator

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการนำตัวอย่างแร่ 5 kg มาผ่านเข้าเครื่อง ซึ่งได้ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก หรือ ทรายที่ผ่านการแต่ง มีน้ำหนักถึง 4.889 kg ซึ่งถือว่าสามารถเก็บ recovery ได้มาก แต่เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ ที่สำคัญ คือ Fe_2O_3 0.097 % SiO_2 99.09 % ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ ของ SiO_2 จะอยู่ในเกณฑ์ แต่ว่าสารประกอบสำคัญที่ทำให้แก้วมีตำหนิคือ Fe_2O_3 นั้นมีเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่า 0.05 % จึงไม่สามารถที่จะยอมรับได้

ถึงแม้ว่า ขนาดของ size distribution ของทรายแก้ว (แสดงในรูปที่ 3-16 และ ตารางที่ 3-14) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ มากกว่า 90 % จะมีขนาดที่ใช้ได้ แต่จากผลการทดลองจะเก็บน้ำหนักส่วนที่เป็นแม่เหล็กได้น้อยมาก จึงไม่อาจจะบอกอะไรได้

ดังนั้นการแต่งแร่โดยวิธี CBMS ยังให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งสาเหตุที่แยกสารแม่เหล็กออกจากทรายได้ไม่ดีเพราะว่า ส่วนที่เป็น magnetic มีขนาดเม็ดที่เล็กละเอียดกว่าส่วนที่เป็น non magnetic จึงอาจจะโดนทับ ทำให้สารดูดแม่เหล็กไม่สามารถดูดแม่เหล็กออกมาได้

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากมลทินส่วนใหญ่ของทรายแก้วคุณภาพต่ำเป็นรากไม้, เศษหญ้า และแร่ซึ่งมี ถ.พ.หนัก เช่น แร่โอลิเมนไนต์ ดังนั้นแนวทางในการแต่งแร่เพื่อให้ได้ทรายแก้วมีคุณภาพตามความต้องการของอุตสาหกรรมแก้วซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังนี้

$$\text{SiO}_2 > 99 \%$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.05 \%$$

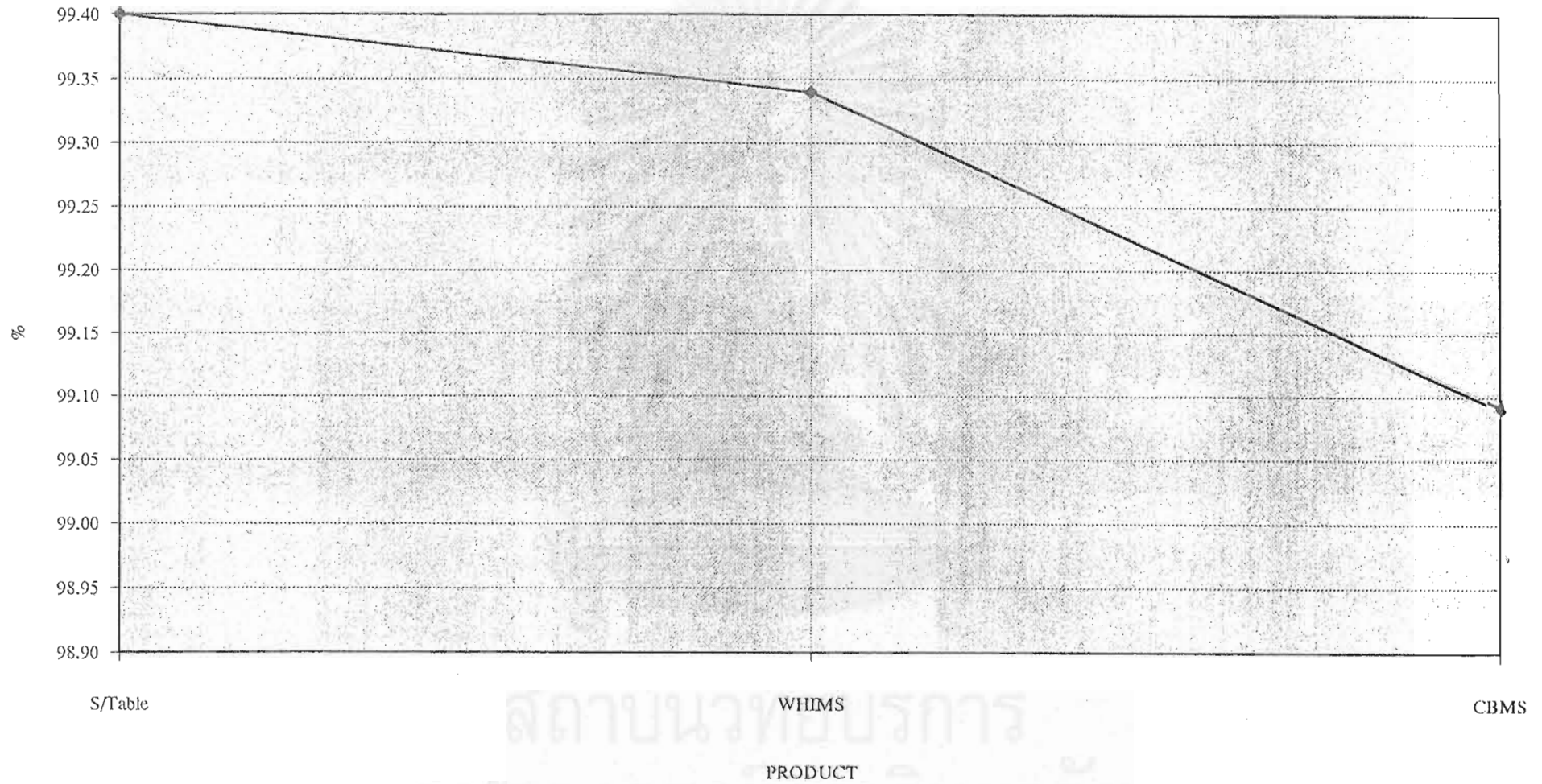
ซึ่งต้องควบคุมเปอร์เซ็นต์ให้อยู่ในเกณฑ์นี้

ขบวนการแต่งแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำพอสรุปเป็นแนวทางได้ดังนี้ รูปที่ 3-1 รูปที่ 3-11 รูปที่ 3-13 รูปที่ 3-15 ซึ่งได้แสดงแนวทางที่จะสามารถปรับปรุงทรายแก้วจากที่ทิ้งแล้วให้นำมาใช้ได้จากรูปดังกล่าว ส่วน ที่เป็น Middling ที่มีการวนเข้าผ่านเครื่องอีก ในที่นี้คือ Sand ต้องการให้วนหลายครั้งเพื่อจะให้เห็นผลการศึกษาที่ชัดเจน

จากแนวทางที่ได้ศึกษากระบวนการแต่งทรายแก้วคุณภาพต่ำดังกล่าว นำผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีมาเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

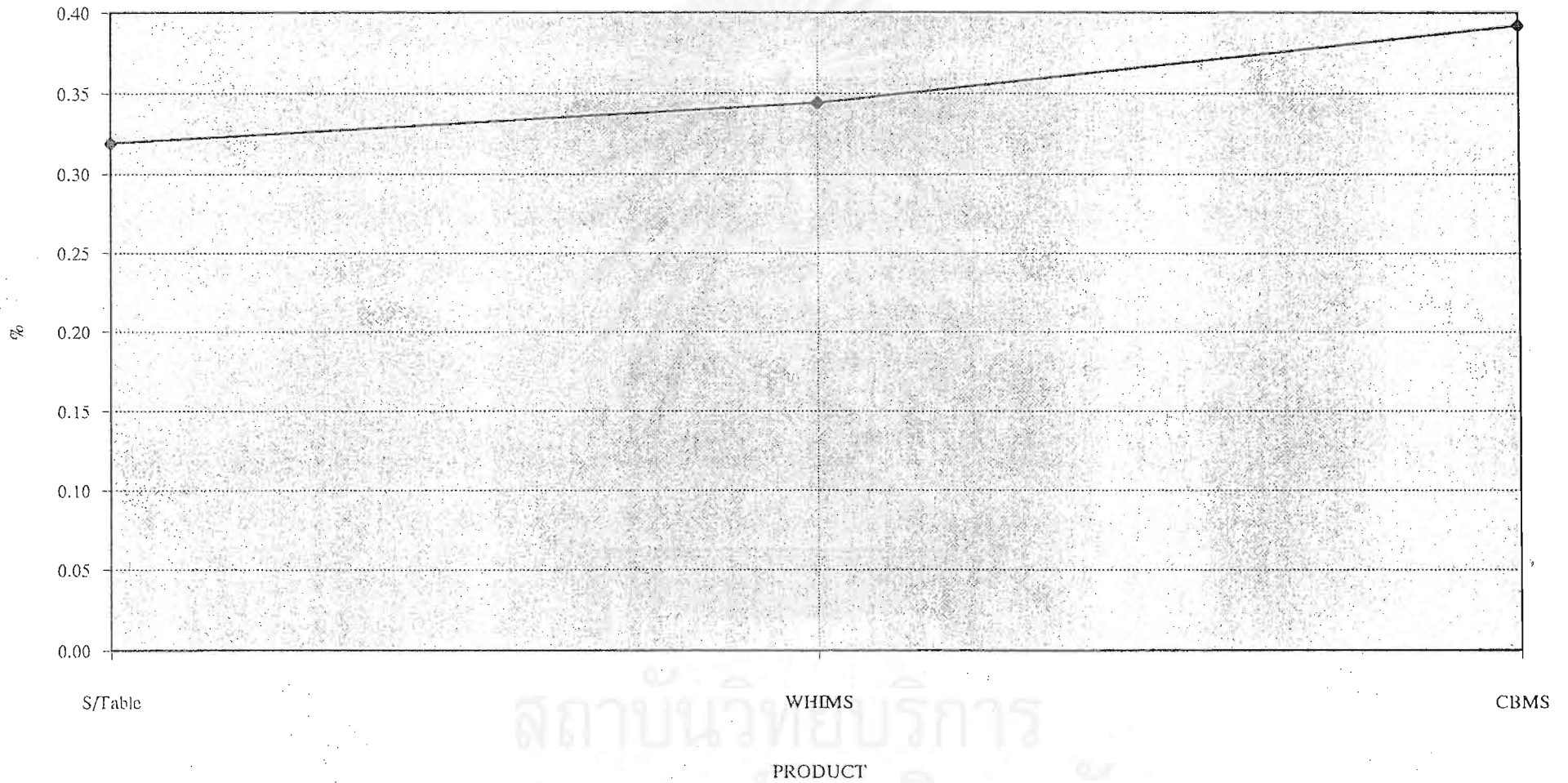
จากตัวอย่างแร่	Humphrey Spiral	Shaking Table	WHIMS	CBMS	
% SiO ₂	95.5	98.64	99.40	99.34	99.09
% Na ₂ O	0.09	0.05	0.037	0.042	0.04
% K ₂ O	0.14	0.14	0.095	0.123	0.112
% CaO	0.01	<0.01	0.016	0.015	0.017
% MgO	0.02	0.016	0.012	0.012	0.016
% Al ₂ O ₃	0.94	0.371	0.319	0.344	0.392
% TiO ₂	0.13	0.13	0.032	0.038	0.148
% Fe ₂ O ₃	0.12	0.112	0.08	0.04	0.097
% Cr ₂ O ₃	0.0013	6 ppm	4 ppm	3 ppm	16 ppm
% LOI	3.07	1.7	0.21	0.23	0.25

รูปที่ 4-1 %SiO₂ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product



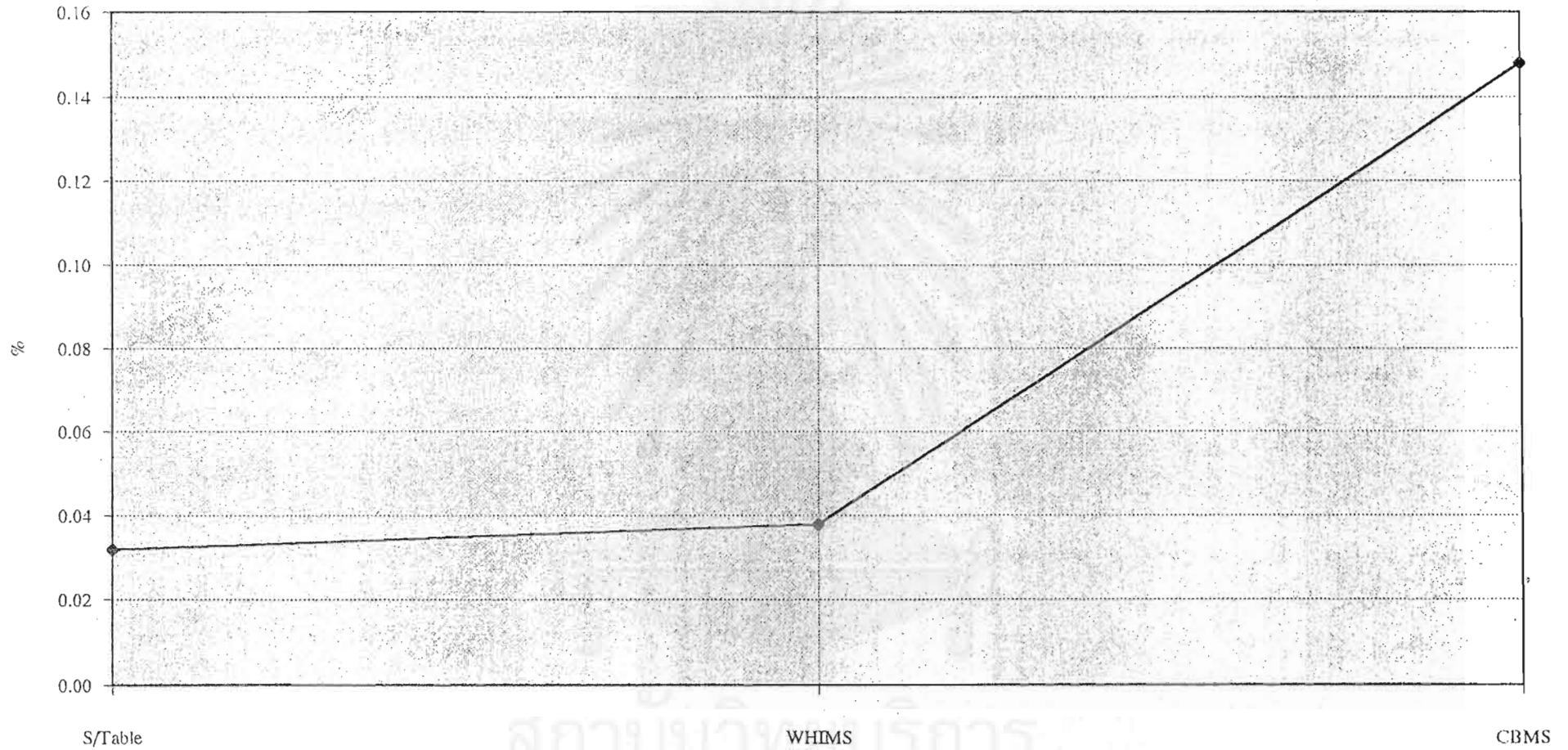
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-2 %AL₂O₃ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product



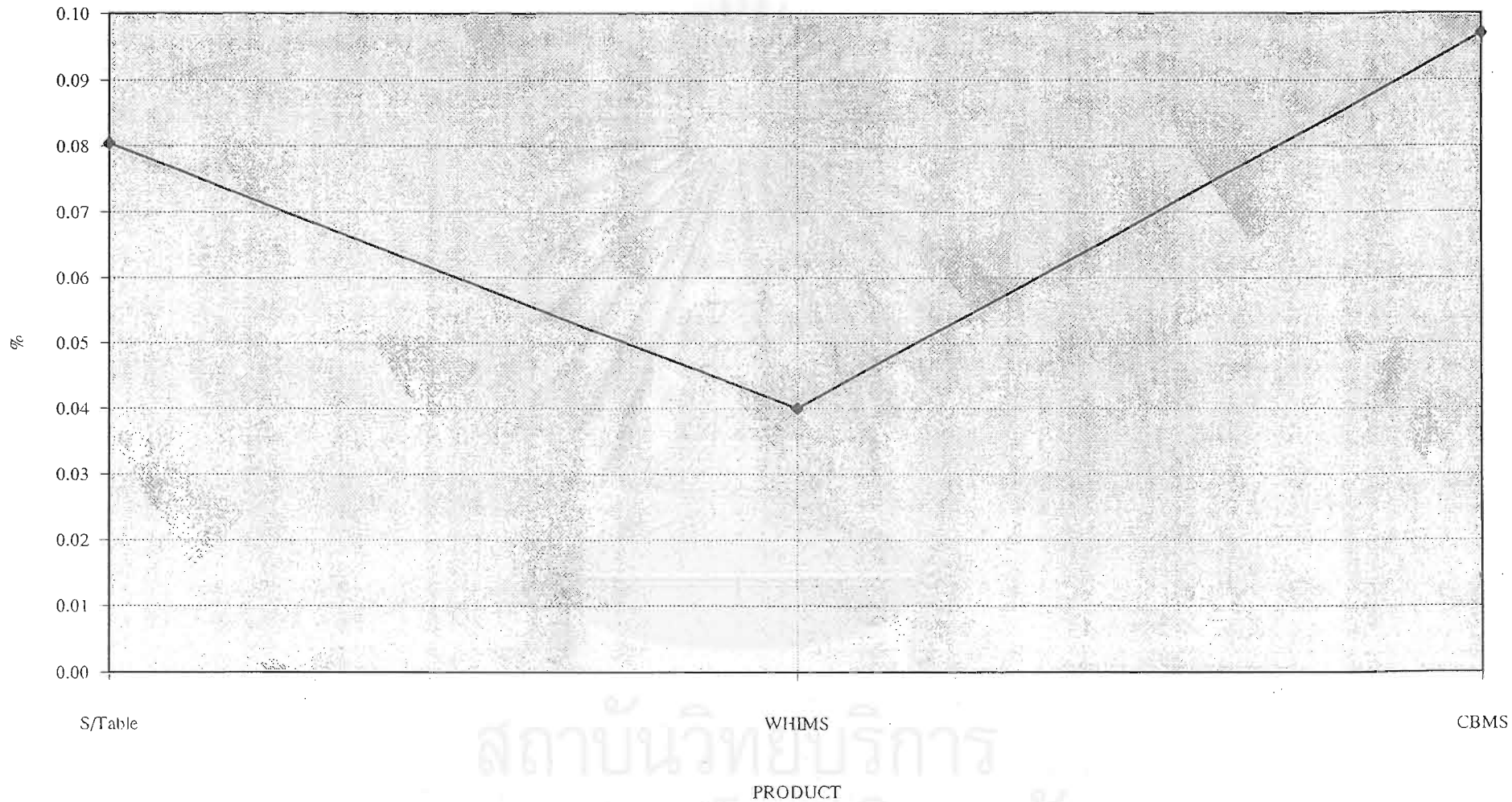
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
PRODUCT

รูปที่ 4-3 %TiO₂ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product



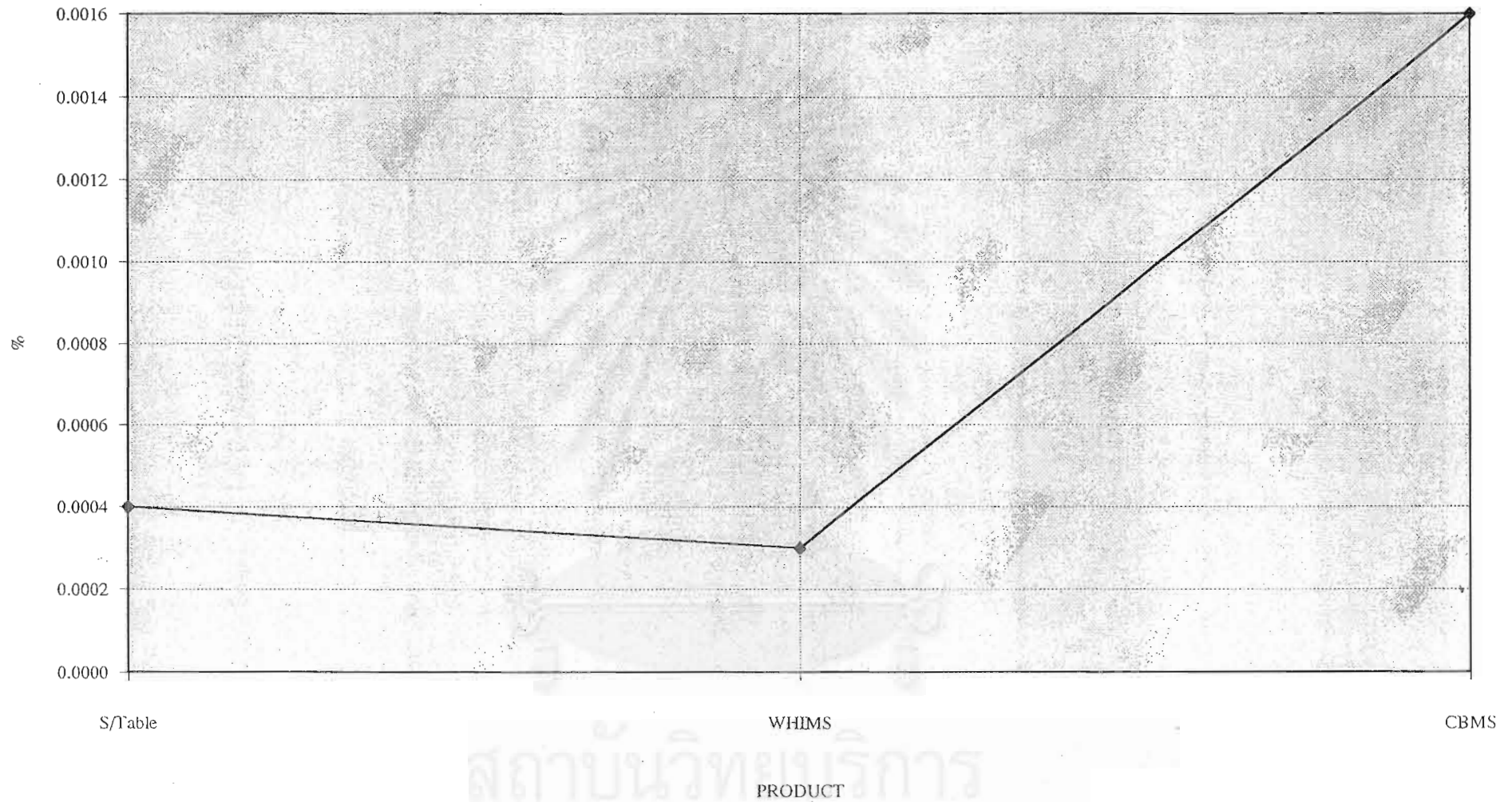
สถาบันวิศวกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-4 %Fe₂O₃ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product



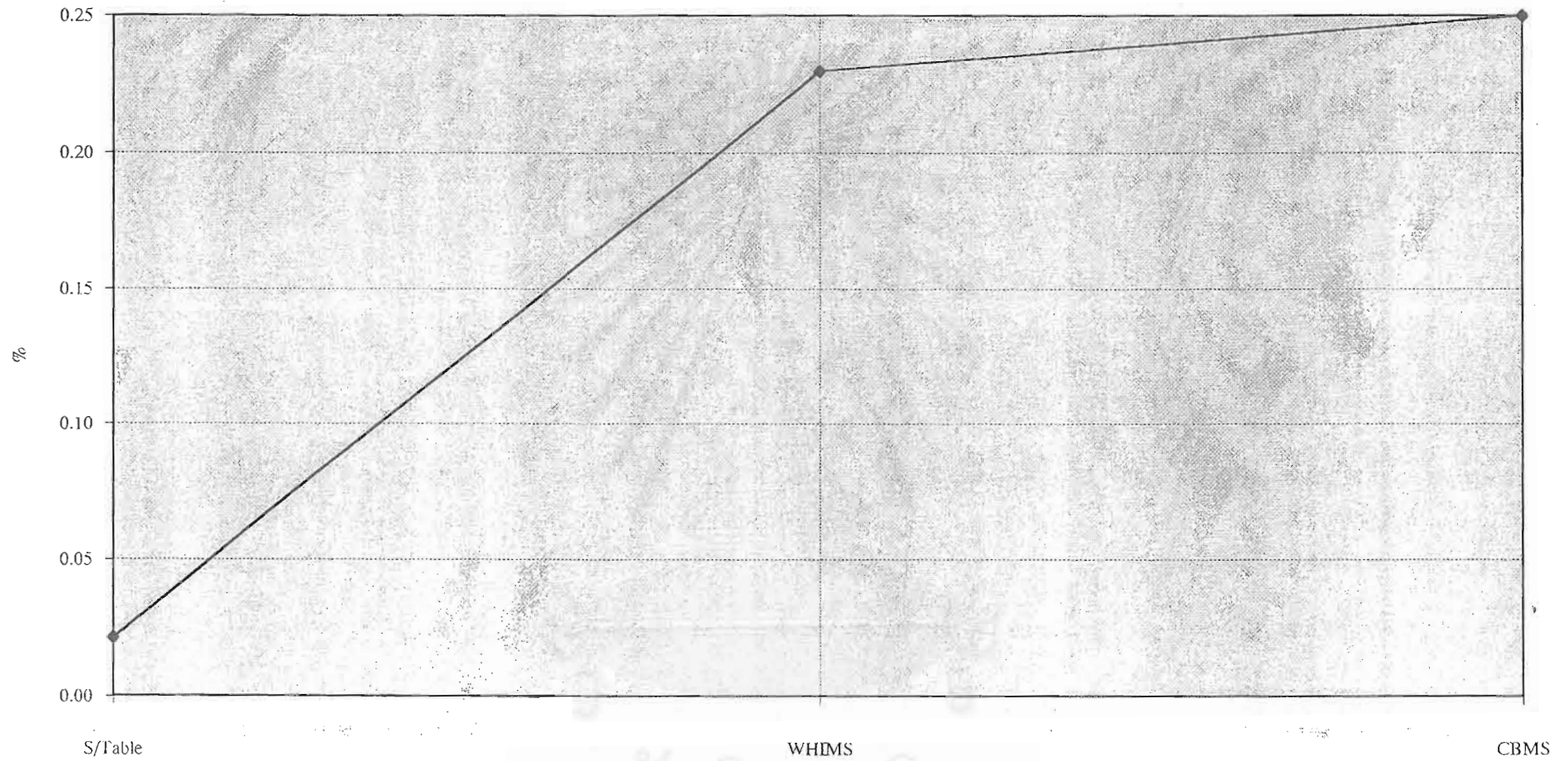
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-5 %Cr₂O₃ of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-6 %LOI of WHIMS & Shaking Table & CBMS Sand Product



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นได้ว่า ทรายจากแหล่งเมื่อนำมาผ่านการล้างและป้อนผ่านเครื่อง Humphrey Spiral ผลที่เห็นได้ชัดก็คือค่า % LOI ซึ่งจะทำให้ทรายมีความขาวขึ้นมากกว่าเดิม และสามารถ up grade ทรายแก้วคุณภาพต่ำที่นำมาได้พอสมควร แต่อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม จึงต้องมีการใช้เครื่องมือชนิดอื่น ๆ มาช่วยในการแต่งแร่เพิ่มขึ้น คือ เครื่อง Shaking Table , เครื่อง Wet Magnetic และเครื่อง Magnetic Cross Belt เพื่อจะได้ค่า % ต่าง ๆ ที่มีค่าดีขึ้น

ซึ่งจากผลวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ทรายที่ผ่านการแต่งจากเครื่อง Shaking Table และเครื่อง Wet Magnetic อีกที จะให้ค่า % ต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ เพราะค่า % ที่สำคัญคือค่า % Fe_2O_3 มีค่าที่น้อยกว่า 0.05 % ดังนั้นเครื่องมือทั้งสองชนิดนี้สามารถที่จะใช้ในการช่วยเครื่อง Humphrey Spiral ในการแต่งแร่ทรายแก้วที่มีคุณภาพต่ำได้ โดยเป็นเครื่องแต่งแร่ขั้นที่สอง และถ้าหากเนื่องจากโครงการนี้อาจจะมีเครื่องมือที่ดีกว่าเพื่อใช้ในการแต่งในขั้นที่ 2 นี้ หรือมีเครื่องมือที่จะนำมาช่วยเสริมการแต่งตามวิธีที่ได้กล่าวไว้แล้ว แล้วได้ผลดีกว่าในโครงการนี้ก็นับว่าเราจะสามารถนำทรัพยากรธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่ามาก และหวังว่าในอนาคตการปรับปรุงคุณภาพทรายแก้วที่มีคุณภาพต่ำให้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมแก้วได้และเกิดความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

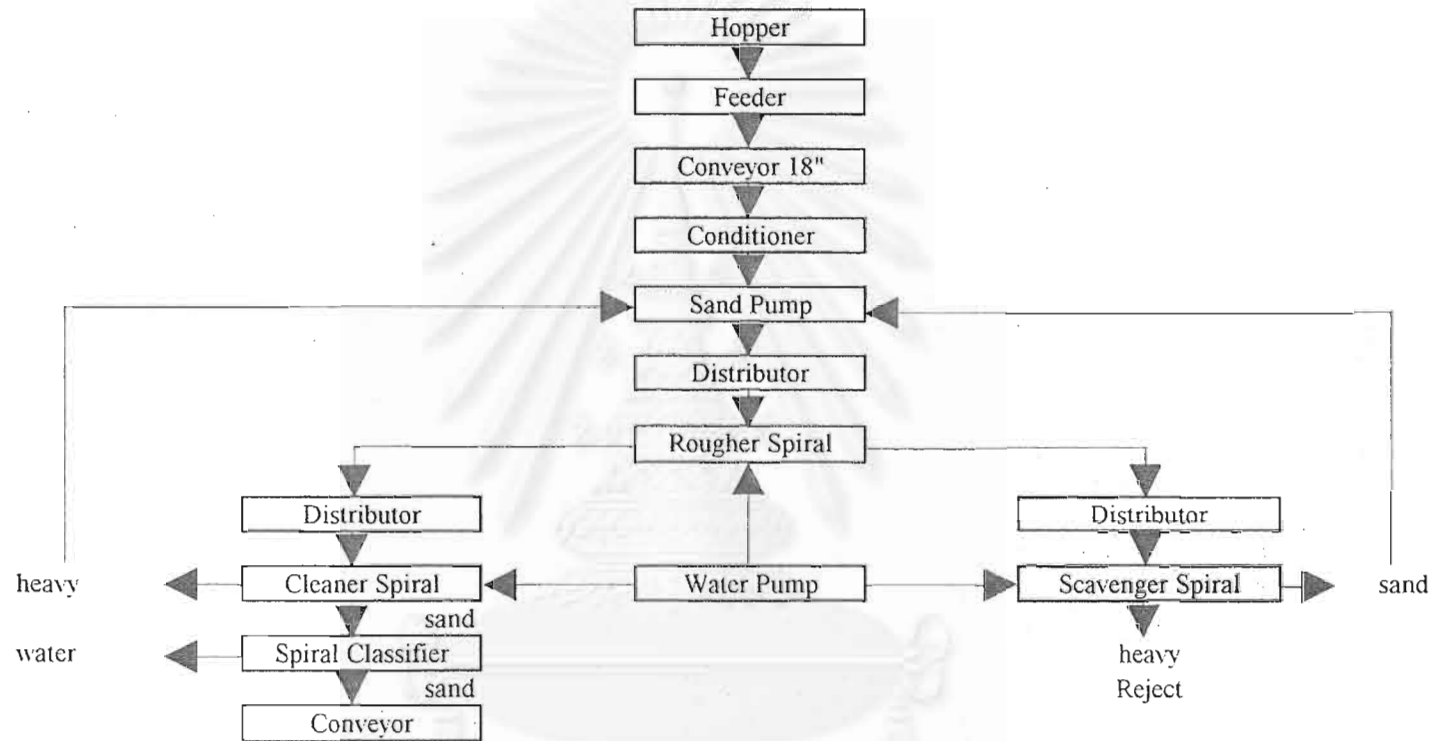
แนวทางการประยุกต์ผลการวิจัยไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมพอสรุปเป็นขบวนการแต่งแร่ทรายแก้วคุณภาพต่ำได้ดังนี้ ขั้นแรกเป็นการล้างสารอินทรีย์พวกกรากไม้ ต้นหญ้าและทรายเม็ดโตกว่า 50 เมชออกโดยใช้ตะแกรงสั่นหรือตะแกรงหมุนระบบเปียกซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นตัวกลางในการล้างมลทินสิ่งสกปรกสีต่างๆ ออกในขั้นตอนแรกด้วย ขั้นตอนที่สองเป็นการแยกแร่หนักออกจากทรายแก้วโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแตกต่างความถ่วงจำเพาะของเม็ดทรายและแร่หนักซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน เครื่องมือที่น่าสนใจคือ Humphrey Spiral เพราะมีความสามารถรับแร่ป้อนได้มากและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำเนื่องจากไม่ต้องอาศัยระบบขับเคลื่อนของกลไกต่างๆ การทำงานของขั้นตอนที่สองเริ่มโดยนำทรายแก้วจากขั้นแรกมาเข้าถังกวนแล้วป้อนทรายเข้า Rougher Humphrey Spiral ทรายที่แต่งได้จะป้อนเข้า Cleaner Humphrey Spiral ส่วนแร่หนักป้อนเข้าสู่ Scavenger Humphrey Spiral ทรายที่แต่งได้จากชุด Scavenger จะวนกลับไปป้อนเข้าสู่ Rougher ใหม่ ส่วนแร่หนักจากชุด Scavenger ก็ทิ้งออกจากระบบ สำหรับแร่หนักจากชุด Cleaner จะวนกลับไปป้อนเข้าสู่ Rougher ใหม่ ส่วนทรายที่แต่งได้จากชุด Cleaner

จะทำการแยกน้ำออกจากทรายแก้วโดยใช้ Spiral Classifier รายละเอียดวงจรการแต่งแร่ทรายแก้ว โดย Humphrey Spiral แสดงในรูปที่ 4-7; และการคำนวณมวลสมดุลในวงจรการแต่งแร่ทรายแก้วแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4-8 จะเห็นว่า ในขณะที่เกิดภาวะสมดุลในระบบ ปริมาณทรายแก้วที่ป้อนเข้าระบบ 30 ตัน/ชม. จะมีทรายแก้วที่ป้อนเข้าสู่ชุด Rougher ประมาณ 44 ตัน/ชม. , ทรายแก้ว ที่ป้อนเข้าสู่ชุด Cleaner 35 ตัน/ชม. และปริมาณทรายแก้วที่ป้อนเข้าสู่ชุด Scavenger 8.8 ตัน/ชม. ถ้าหากเลือก Humphrey Spiral ซึ่งสามารถรับแร่ป้อนได้ 2 ตัน/ชม. ก็สามารถคำนวณจำนวน Humphrey Spiral ที่ใช้ในในระบบในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้คือ Rougher 22 ชุด Cleaner 18 ชุด และ Scavenger 5 ชุด

ในการแต่งแร่ทรายแก้วขั้นที่ 3 หากคุณสมบัติทรายแก้วที่แต่งโดยวงจร Humphrey Spiral ยังไม่ได้มาตรฐานตามที่ต้องการ โดยเฉพาะ $\%Fe_2O_3$ ซึ่งอยู่ในรูปของแร่โอลิเมนไนต์ซึ่งมีคุณสมบัติติดแม่เหล็กได้ดีก็ควรแต่งแร่ทรายแก้วด้วยเครื่อง Wet High Intensity Magnetic Separator ซึ่งสามารถแยกแร่ติดแม่เหล็กได้ดีมากและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก็อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-7 FLOW SHEET FOR 30TPH GLASS SAND PROJECT



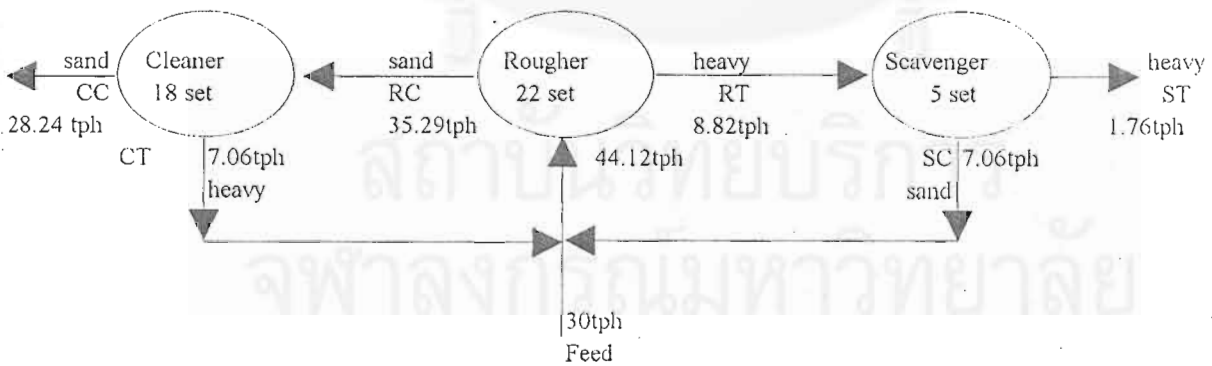
GLASS SAND PROJECT 30 TPH BY HUMPHREY SPIRAL

ASSUMPTION

RECOVERY 80% EACH STAGE

- F FEED
- RF ROUGHER FEED
- SF SCAVENGER FEED
- CF CLEANER FEED
- RC ROUGHER CONC.
- SC SCAVENGER CONC.
- CC CLEANER CONC
- RT ROUGHER TAIL
- ST SCAVENGER TAIL
- CT CLEANER TAIL

ITER	F	RF	SF	CF	RC	SC	CC	RT	ST	CT
1	30.00	30.00	6.00	24.00	24.00	4.80	19.20	6.00	1.20	4.80
2	30.00	39.60	7.92	31.68	31.68	6.34	25.34	7.92	1.58	6.34
3	30.00	42.67	8.53	34.14	34.14	6.83	27.31	8.53	1.71	6.83
4	30.00	43.66	8.73	34.92	34.92	6.98	27.94	8.73	1.75	6.98
5	30.00	43.97	8.79	35.18	35.18	7.04	28.14	8.79	1.76	7.04
6	30.00	44.07	8.81	35.26	35.26	7.05	28.20	8.81	1.76	7.05
7	30.00	44.10	8.82	35.28	35.28	7.06	28.23	8.82	1.76	7.06
8	30.00	44.11	8.82	35.29	35.29	7.06	28.23	8.82	1.76	7.06
9	30.00	44.12	8.82	35.29	35.29	7.06	28.23	8.82	1.76	7.06
10	30.00	44.12	8.82	35.29	35.29	7.06	28.23	8.82	1.76	7.06
11	30.00	44.12	8.82	35.29	35.29	7.06	28.24	8.82	1.76	7.06



รูปที่ 4-8 MASS BALANCE FOR GLASS SAND PROJECT BY HUMPHREY SPIRAL

บรรณานุกรม

เบญจวรรณ จาณุกัส , “ทรายแก้ว”, หน้า 1-23 , เอกสารเสริมฐุธรณีวิทยา ,กรม
ทรัพยากรธรณี , เล่มที่ 35 ,2525 .

ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ , “การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแม่เหล็กความ
เข้มสูงแบบเปียกและการลอยแร่,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทชั้นตรี หน้า 58-133
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2533.

อุบลศรี ชัยสาม และ เขวลักษณะ นิสสกา , คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้
งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่ , หน้า 93-104 , ฝ่ายข้อมูลและ
สถิติ กองวิชาการและวางแผน กรมทรัพยากรธรณี, 2526..

Burt , R.O., 1984, Developments in Mineral Processing, Gravity Concentration
Technology, ed. D.W. Fuerstenau/advisory, pp. 261-285.

Wills, B.A., 1981, Mineral Processing Technology, pp. 272-279, Pergamon Press
Oxford, London, 3rd ed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก A

A.1 หลักในการแต่งแร่โดย Spiral Concentration

เครื่องแยกแร่สไปรอล (Spiral Concentrator) เป็นอุปกรณ์แต่งแร่โดยวิธีกราวิตี (Gravity concentration) ที่ไม่มีชิ้นส่วนใดของเครื่องมือเคลื่อนไหว การทำงานเป็นแบบง่าย ๆ โดยได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการแต่งหัวแร่ขั้นต้น (preconcentration) กับสินแร่เกรดต่ำโดยมีความจุ (capacity) สูง ค่าใช้จ่ายต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบสไปรอล หลายชนิด แต่หลักการพื้นฐานของสไปรอลเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก

ในปี ค.ศ. 1941 ไอ บี ฮัมฟรีส (I.B. Humphreys) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการปรับปรุง spiral และประดิษฐ์ขึ้นมาเป็น spiral ชุดแรกซึ่งรู้จักกันในชื่อ ฮัมฟรีสสไปรอล (Humphreys spiral)

ในปัจจุบันสไปรอล ทุกชนิดมีลักษณะคล้ายกัน จะประกอบด้วยรางที่มีหน้าตัดเป็นรูปครึ่งวงกลม ขดเป็นวงเกลียวหลายชั้น สำหรับเป็นทางให้ พัลป์ (pulp) ไหลไป กับช่องน้ำล้าง (wash water channel) และชุดของช่องทางออกของหัวแร่หรือช่องดักแร่ (off-take ports) อยู่เป็นช่วง ๆ ถัดกันลงมาเป็นระยะสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาที่สำคัญด้านเทคโนโลยีของสไปรอล จุดใหญ่ คือ การออกแบบลักษณะหน้าตัดของรางเกลียว และ เส้นผ่านศูนย์กลางของสไปรอล การพัฒนา สไปรอล ที่ไม่ใช้น้ำล้าง (wash water) และการใช้สไปรอล ที่ไม่มีช่องดักแร่เป็นระยะลงมาตามรางเกลียว แต่มีที่ให้หัวแร่ แร่ละเอียดและหางแร่ ออกทางด้านล่างของ สไปรอลเพียงทีเดียว

การนำสไปรอลไปใช้ประโยชน์ ได้แพร่ขยายออกไปอย่างกว้างขวาง เช่น นำไปใช้ในการแต่งแร่จากสินแร่โลหะ แร่อุตสาหกรรม และ แร่ชายหาด (beach sand) และการนำไปใช้ล้างถ่านหินในอุตสาหกรรมถ่านหิน

A.2 หลักการการแต่งแร่ด้วย Spiral

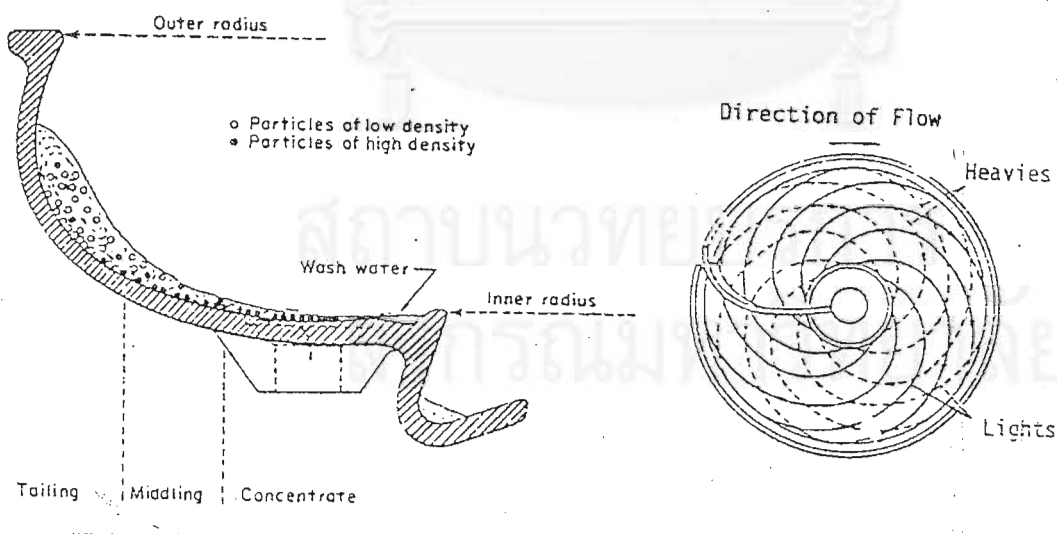
การแยกแร่มีลักษณะคล้ายการสะสมตัวของเม็ดแร่ บริเวณหาดหัวคั้งแม่น้ำตอนแม่น้ำไหลโค้ง เม็ดแร่นักกว่ามลทินจะจมตัวอยู่ตอนล่างมากกว่า

แร่ป้อนที่ต้องการแยกจะถูกป้อนเข้าสู่ช่องป้อนแร่ (feed box) เพื่อลดความเร็วและจัดให้มีแบบของการไหลที่ถูกต้อง แร่ป้อนจะผ่านเข้าไปในรางสไปรอล (Spiral channel) ในลักษณะที่เกือบจะเป็นเนื้อสม่ำเสมอ (homogeneous slurry) ในขณะที่พัลป์ ไหลไปรอบรางเกลียวของสไปรอล และเกิดการแบ่งชั้นขึ้นตามระนาบดิ่ง การแบ่งชั้นนี้จะถือว่าเป็นผลจากการตกตัวแบบฮิน

เดอรัเซตติง (hindered settling) และ อินเตอร์สติเชียล ทรिकกลิ่ง (interstitial trickling) ประกอบกัน รวมทั้ง Bagnold force ซึ่งมีความสำคัญ เนื่องจากอัตราของแรงเฉือนที่สูงในรางเกลียว ผลก็คือ ในระนาบตั้งของหนักจะไหลไปตามโซนที่มีความเร็วต่ำใกล้กับผิวของราง ในขณะที่ของเบาพยายามจะก่อตัวเป็นชั้นอยู่เหนือของหนักในโซนที่มีความเร็วสูงกว่า

ลักษณะที่บิดเป็นเกลียวคล้ายเชือกของ Spiral ไม่เพียงแต่ทำให้เกิด a flowing film velocity gradient ตามระนาบตั้ง แต่จะเกิดขึ้นตามแนวรัศมีหรือแนวศูนย์กลาง (centrifugal) ในระนาบราบด้วย ซึ่ง velocity gradient ทั้งสองจะมีความเกี่ยวเนื่องกัน

ความแตกต่างของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ที่กระทำบนส่วนต่าง ๆ ของ stream (คือ pulp ที่ไหลลงมาตามรางเกลียว) เป็นเหตุให้เกิดการหมุนตามภาคตัดขวาง ส่วนของ stream ที่อยู่ใกล้ผิวหน้ามากที่สุด จะเคลื่อนออกไปทางจุดที่มีความเร็วมากที่สุด จากนั้นจะเคลื่อนตัวต่ำลงไปตามผิวของ spiral ลงไปได้ล่างของ stream แล้วไหลเข้าไปขอบในกว่าของ stream การหมุนตามภาคตัดขวางของ stream นี้ จะทำให้แร่หนักเคลื่อนเข้าไปด้านในทางช่องดักแร่หรือช่องเก็บแร่ และแร่เบาซึ่งไหลเร็วกว่าแต่ตกตัวช้ากว่า จะออกไปอยู่ทางด้านนอก ส่วนประกอบของแร่ส่วนที่หนักกว่าและเบากว่าของ streams จะเลื่อนไปในทิศทางตรงข้ามกัน เพื่อการแยกตัว รูปที่ A.1 แสดงแบบแปลนในอุดมคติของการเคลื่อนตัวของอนุภาคใน Spiral



รูปที่ A.1 Cross Section of a Spiral , showing particle movement

อีกลักษณะหนึ่งของ Spiral คือ การเพิ่มน้ำล้าง (wash water) เข้าไปจากขอบในของราง (inner radius of the trough) ในระหว่างช่องดักแร่ ผลของการใช้น้ำล้าง จะช่วยไล่อนุภาคที่เบาซึ่งอยู่บนผิวของชั้นแร่หนักที่ขอบในของราง กลับออกไปอยู่ที่ขอบนอกของราง (outer radius of the trough) และยังช่วยดันแร่หนักเข้าช่องดักแร่

การแต่งแร่ด้วย Spiral คือการผสมผสานของแรงชนิดต่าง ๆ ที่ซับซ้อน เช่น hindered settling classification, interstitial trickling, Bagnold shear และ stream cross-sectional rotation อุปกรณ์แต่งแร่ด้วยแรงโน้มถ่วงหลายชนิดใช้แรง 2 อย่างแรก อีกหลายชนิดใช้แรง 3 อย่างแรก แต่การเพิ่ม cross-sectional rotation ทำให้ Spiral มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว แยกออกจากอุปกรณ์แต่งแร่อื่น ๆ

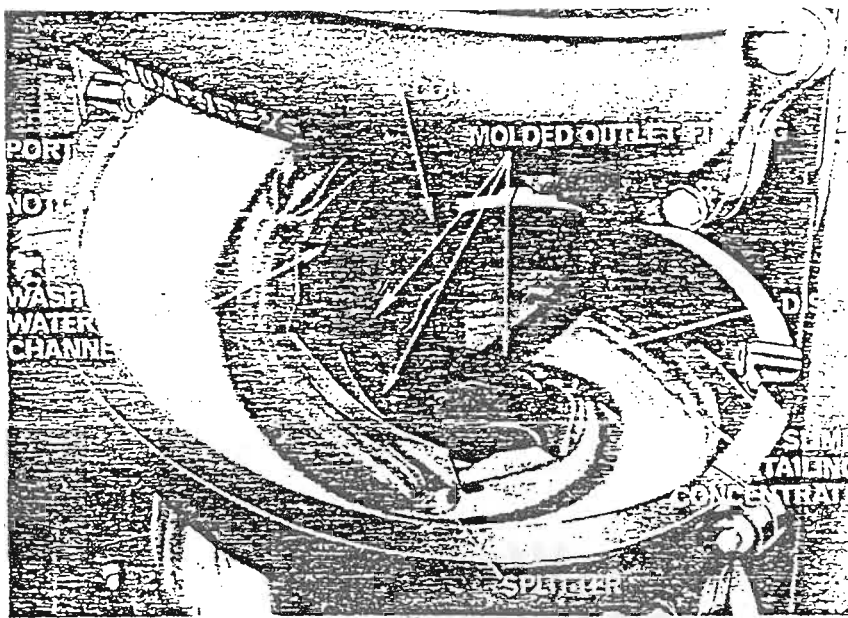
A.3 ชนิดของเครื่องแต่งแร่แบบ Humphreys Spirals

The Humphreys Spiral เป็น Spiral ชนิดแรกที่ได้มีการพัฒนามาใช้งานตามมาตรฐานจะมีรางรูปวงเกลียว 5 วง ล้อมรอบแกนกลางที่ใช้เป็นตัวค้ำจุน (central supporting column) ดังแสดงในรูปที่ A.2 ซึ่งแกนกลางนี้จะใช้เป็น discharge pipe สำหรับรวบรวมหัวแร่ด้วย สำหรับ Spiral ที่ใช้ล้างหินจะมีวงเกลียว 6 วง และมี pitch สั้นกว่าเล็กน้อย (pitch คือระยะห่างของวงเกลียว)

ภายใน main concentrating channel จะมีช่องน้ำล้าง น้ำจะไหลออกทาง notches ที่ติดตั้งเอาไว้ ที่พื้นของรางที่ช่องดักแร่ โดยใช้ splitter ทำด้วยโลหะติดลงไปในช่วงนี้ และปรับได้เพื่อกำหนดปริมาณของ stream ที่จะให้เป็นส่วนหนึ่งของหัวแร่ไหลลงไป

Humphreys spiral สร้างโดยทำเป็น segment 120 องศา ที่เหมือนกัน 3 อัน มาต่อกันเป็นรางเกลียว 1 วงรอบ โดยมาก Spiral จะมี 5 วงรอบ ทำด้วย cast iron จะมีหรือไม่มียางหรือ fibre glass ติดกับข้างเป็น lining ก็ได้ pitch ของ Spiral ขนาดมาตรฐานเท่ากับ 342 มม.

เพื่อเป็นการเพิ่ม capacity ของ Spiral ต่อหนึ่งหน่วยของ floor space ได้มีการใช้ double-start Spiral ใช้รางเกลียวเป็นคู่รอบแกนกลาง แต่ละ Spiral จะอยู่นอก phase กัน 180 wall height ถูกลดลงให้เหมาะกับการจัดแบบ double start ในขณะที่ pitch ยังคงที่



รูปที่ A.2 One Turn of a Humphreys Spiral

A.4 การปฏิบัติการด้วย Spirals

Spiral Concentrator เป็นอุปกรณ์แบบง่าย ๆ การเลือกใช้งานต้องเลือกให้ถูกต้องตามชนิดและจำนวนของ Spirals ใช้คนงานในการควบคุมน้อย โดยเฉพาะให้มีอัตราการป้อน (feed rate) และความเข้มข้นของแร่ป้อน (pulp density) คงที่ และให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ให้มากที่สุด และให้แน่ใจว่าการทำงานของ Spiral เป็นที่พอใจแล้ว

สิ่งที่สำคัญในการใช้ Spiral ทำงาน คือ ต้องรู้ถึงผลกระทบ ไม่ว่าจะเป็นระยะสั้นหรือระยะยาว ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะของแร่ป้อนจากลักษณะที่กำหนดไว้

A.4.1 Machine Parameters

อุปกรณ์แต่งแบบ Spiral ที่ผลิตโดยผู้ผลิตต่าง ๆ กัน มีรูปร่างทั่วไปเหมือนกัน และได้รับผลกระทบจากตัวแปรในการทำงาน (Operating variables) อย่างเดียวกัน การทำงานและการบำรุงรักษา แปรเปลี่ยนไปเล็กน้อยในแต่ละแบบ Spiral แบบ Multi Offtake เป็นแบบที่ธรรมดาที่สุด ดังนั้นในการพิจารณาลักษณะพิเศษและการควบคุมต่าง ๆ จะเกี่ยวข้องกับ Spiral แบบนี้เป็นส่วนใหญ่

ประสิทธิภาพของ Spiral แต่ละตัวขึ้นอยู่กับ การปรับช่องดักแร่ให้เหมาะสม สำหรับ Spiral ที่มีช่องดักแร่ถึง 15 ช่อง และแม้ว่าจะไม่สนใจความจริงที่ว่า Splitter แต่ละตัวสามารถปรับเปลี่ยนไปได้มากมาย และสมมุติว่าช่องดักแร่สามารถเป็นได้ทั้งปิด หรือเปิด หนึ่งในสี่ หรือเปิดครึ่งช่องหรือเปิดสามในสี่ หรือเปิดทั้งหมด เพียงอย่างเดียว สามารถจัดปรับ Splitter settings ได้ถึง 750,000 แบบ ในขณะที่โรงงานส่วนใหญ่ใช้ Spirals ถึง 5,000 ตัว การปรับ Splitter settings ด้วยคน เพื่อให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของแร่ป้อนในระยะสั้นยังไม่สามารถพิจารณาว่าเหมาะสมที่สุด

ดังนั้นการออกแบบและใช้งาน Spiral ให้มีประสิทธิภาพส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับ การเลือก ชนิดและจำนวนของ Spiral ที่ถูกต้อง สำหรับใช้งานเฉพาะแต่ละอย่าง เพื่อจัดให้ได้ performance ดี ที่สุด ที่แร่ป้อนปกติ (mean feed)

A.4.2 Solids Characteristics

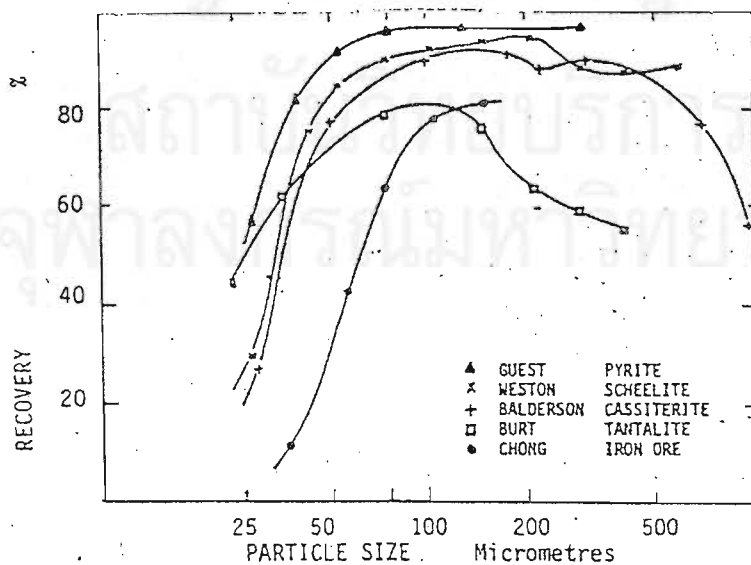
A.4.2.1 Maximum particle size ขนาดของหินแร่เพื่อให้การแยกได้ผลดี มีขีดจำกัดไม่เกิน 1 มม. สำหรับพวกมลทินขนาดใหญ่ได้ถึง 3 มม. แต่การแยกถ่านหินสามารถให้มีขนาดได้ถึง 6 มม.

จะต้องมีการควบคุมขนาดของอนุภาคที่เข้าไปในวงจรมุ่งแร่ด้วย Spiral อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินไป จะไม่ลอยปนไหลไปกับ pulp แต่จะตกตัวออกมาและเป็นเหตุให้เกิด sand bars เช่นเดียวกับเมื่อใช้ Spiral ในวงจรมุ่งแร่ ต้องคอยระวังแยกเอา blasting wire ซึ่งอาจพลัดหลงเข้ามาอยู่ในกองแร่ออกไป มิฉะนั้นอาจไปขวางกั้นอยู่ใน spiral channel หรือช่องดักแร่ หรือติดอยู่ในท่อนำหัวแร่ ซึ่งจะเป็นปัญหาอย่างมาก

A.4.2.2 Size Range Spiral สามารถแยกแร่ป้อนที่มี size range กว้างได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แยกพวก free minerals อย่างไรก็ตามในการแยกแร่ชนิดที่ยาก ๆ เช่น พวก locked particles ต้องมีการเตรียมแร่ป้อนก่อน

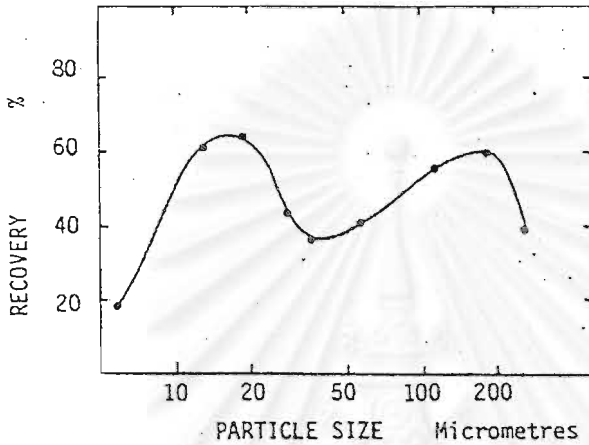
การเตรียมแร่ป้อน (หากต้องใช้) ควรใช้ screening จะดีกว่าวิธี classification

Spirals ในยุคแรกถูกลงความเห็นว่าไร้ประสิทธิภาพสำหรับอนุภาคขนาดละเอียดกว่า 75 ไมครอน แต่ปัจจุบันสามารถทำการแยกอย่างมีประสิทธิภาพ ได้ละเอียดถึง 50 ไมครอน และรูปที่ A. 3 ได้ปรับปรุงสำหรับข้อมูลของ Spirals ในการแต่ง iron ore (Chong) ,pyrite (Guest) , scheelite (Weston) , tantalite (Burt) และ cassiterite (Balderson)



รูปที่ A.3 Performance of Spiral Concentrators on Various Feed Materials

ในบางกรณีการใช้ Spirals เป็น scavenging units ซึ่งแร่ป้อนเป็นแร่ละเอียดที่อนุภาคมีขนาด mid range กับแร่หนักขนาดละเอียดถึง 10 ไมครอน ซึ่งจะมีผลต่อ Recovery แม้ว่าจะมี Enrichment ต่ำ (รูปที่ A.4) โดยยอมรับ Enrichment ต่ำ อนุภาคที่ใหญ่กว่าจะเกิด apparent heavy bed ซึ่งจะจับกับ fine heavy particles อีกทางหนึ่ง การแยกในส่วนที่ละเอียด อาจเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของ Bagnold forces อย่างไรก็ตามผลลัพท์สุทธิ ของกลไกทั้งสองคล้ายกันมากจึงไม่จำเป็นต้องแยกแยะกลไกทั้งสอง



รูปที่ A.4 Very Fine Recovery on a Spiral Concentrator

จากตัวอย่างในรูป A.4 จะปรากฏ Recovery มี double peak ซึ่งไม่ใช่ปัญหาสำคัญ ด้วยเหตุว่าการใช้ Spirals ในวงจร Scavenger ใน Gravity plant ที่ซับซ้อน มักจะให้ความสนใจน้อย เช่น process ที่ต่างก็มี characteristic waste product ของตนเอง เมื่อมารวมกันจะได้ผลเป็น multi-modal size distribution ของแร่หนัก

การล้างด้านหลังด้วย Spirals โดยทั่วไปใช้ได้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 75 ไมครอน Spiral สามารถพลิกแพลงให้เข้ากับพวก ultrafines ในแร่ป้อนได้ซึ่งแม้แต่ความหนืดมาก ๆ ยังไม่มีผลต่อ ultrafines นี้ อย่างไรก็ตาม ultrafines เหล่านี้ จะออกไปอยู่ทางขอบนอกของรางและเก็บเป็นส่วนของหางแร่

A.4.2.3 Particle Shape Spiral สามารถแยกแร่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่า concentration criterion จะเข้าใกล้ 1 ถ้าหากว่ารูปร่างของ particle มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด ตัวอย่างเช่น การแยก mica จาก quartz และ feldspar เกสึค mica จะถูกกวาดไปอยู่ในส่วนที่ stream มีความเร็วมากกว่าทางด้านขอบนอกของราง ในขณะที่ quartz/feldspar จะตกตัวอยู่ด้านในและไหลออกทางช่องดักแร่

Adai and his co-workers ได้หาสภาวะที่ดีที่สุด สำหรับแยกสินแร่ mica/quartz โดยกำหนดสภาวะ flow rate ต่ำที่ density สูงจะได้ recovery มากกว่า 90% พร้อมส่วนของ mica สูงถึง 90% mica

A.4.2.4 Feed Grade ใน Spiral Splitters จะต้อง set ไว้ สำหรับแร่ป้อนเฉพาะอย่าง การแปรเปลี่ยนของ grade ของแร่ป้อนมาก ๆ จะมีผลให้ performance ของ Spiral ต่ำลง ผลกระทบนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการใช้ Spiral ให้ทำหน้าที่อะไร ตัวอย่างเช่น ในการแต่งแร่เกรดสูง เช่นแร่เหล็ก ตามปกติ splitters จะ set ไว้เพื่อให้ได้ Grade และ Recovery ที่ดีที่สุด ถ้าเกรดของแร่ป้อนสูงขึ้นมาก จะทำให้ Recovery ลดลง เพราะว่าแร่ที่หนักมาก ๆ (extra heavy) ไม่สามารถไปถึง splitters หากแร่ป้อนมี grade ต่ำลงจะไปกระทบต่อการแยกให้แย่ง ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ grade ของแร่ป้อนเปลี่ยนแปลงไปมาก ๆ (ให้ Spirals ทำงานที่ pulp density ต่ำ ๆ) ในขณะที่การทำให้ grade ของแร่ป้อนสม่ำเสมอดีขึ้นจะเป็นผลไปลด capacity ของ Spirals

โดยที่ Spirals ที่ถูกใช้ใน Rougher หรือ scavenger circuit สำหรับแร่ป้อน grade ต่ำ Recovery มีความสำคัญมากกว่า grade ในกรณีเช่นนี้ โดยทั่วไป Spiral จะถูก set ให้สามารถ reject หางแร่ สำหรับสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของ grade

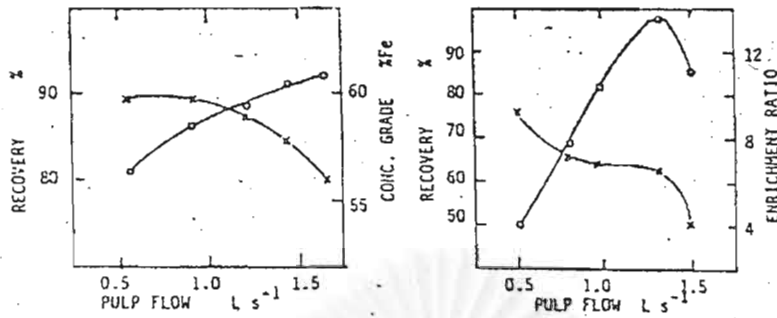
A.4.3 Loading of the Spiral

การป้อนแร่ลง Spiral (ในรูปของ Solids flow และ fluid flow) จะมีผลต่อ maximum plant capacity และ production performance ของ Spiral จะขึ้นอยู่กับระหว่าง solids flow และ fluid flow มากกว่าอุปกรณ์แต่งแร่ด้วยแรงโน้มถ่วงแบบอื่น

A.4.3.1 Fluid Flow Cross sectional profile ของ fluid flow ลงมาตามรางเกลียวจะแปรเปลี่ยนไปตาม flow rate และตามรูปร่างของรางเองด้วย การไหลของน้ำเป็นแบบ laminar ถ้า flow rate ไม่เกิน 1 ลิตรต่อวินาที ถ้ามากกว่า 1.25 ลิตรต่อวินาที จะเป็นแบบ turbulence

ด้วยการเพิ่ม flow rate และผลรวมของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ทำให้แร่หนักขนาดละเอียดและแร่คละถูกผลักออกไปอยู่ในแถบของหางแร่ ซึ่งการไหลเป็นแบบ turbulent มีผลให้ Recovery ลดลง ในทางกลับกันถ้า flow rate ต่ำ จะเป็นผลให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไม่เพียงพอที่จะผลักพวกมลทินออกไปจาก stream ของหัวแร่ และเป็นผลให้ได้หัวแร่เกรดต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการเกิด sandbars รอบช่องตักแร่ (เนื่องจากการ set ตัวของอนุภาคที่ใหญ่กว่า) และจะเกิดการแยกที่ขาดประสิทธิภาพ รูปที่ A.5 แสดงความสัมพันธ์ของ Recovery และ grade ของ Spiral สำหรับแร่ที่แตกต่างกันอย่างกว้าง ๆ 2 ชนิด อย่างหนึ่งเป็น 40 % iron ore และอีกอย่าง เป็น tantalite ore มีเกรด 0.1% Ta₂O₅ ปริมาตรของ pulp ในอุดมคติของ Spiral ขึ้นอยู่กับ size range, เพลอร์เซ็นต์ของแร่หนักในแร่ป้อนที่อยู่ใน pulp stream และ diameter ของ Spiral อย่างไรก็ตามสำหรับการแยกส่วนใหญ่ flowrate 1.0 - 1.5 ลิตรต่อวินาทีต่อ start สำหรับ Spiral มาตรฐาน

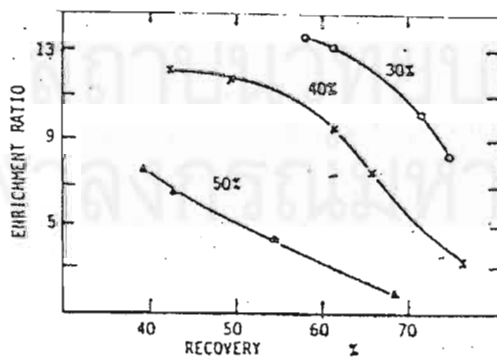
diameter 600 มม. เป็นช่วงที่ดีที่สุด โดยอาจตรวจสอบ flow pattern ที่รางเกลียวอันกลาง ซึ่ง pulp stream ควรอยู่ต่ำกว่าขอบของ Spiral 25-30 มม.



รูปที่ A.5 Effect of Fluid Flow on the Performance of a Spiral Concentrator
(a) iron ore (b) tantalum ore

A.4.3.2 Pulp Density ช่วงของ pulp density หรือ percent solid content ของ fluid เป็น function ของชนิดของ Spiral ที่ใช้ ตัวอย่างเช่น Mark 3 Reichert Spiral ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่ช่วง 25-45% Solids ในขณะที่ช่วงของ Mark 2 เป็น 15-35% solids Spirals ที่มี pitch สูงกว่า จะทำงานได้ที่ solid content สูงกว่าด้วย (และด้วยเหตุนี้จึงมี capacity สูงกว่า) Spirals ที่ไม่ใช่ น้ำล้างก็นำมาใช้ที่ pulp density สูงกว่าได้ด้วย

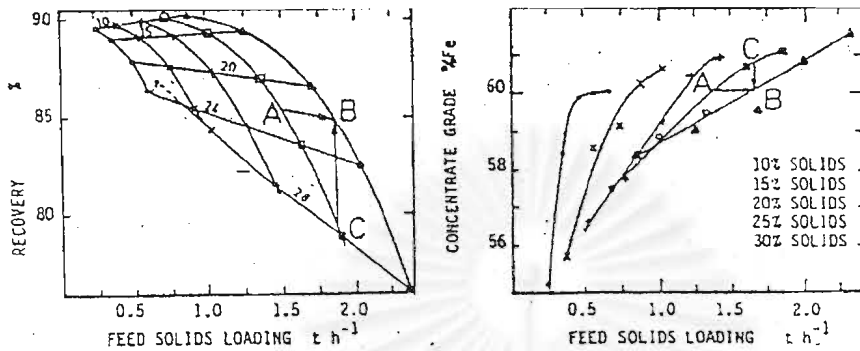
Pulp density ที่ดีที่สุด สำหรับ Spiral ทั่ว ๆ ไป ขึ้นอยู่กับแร่ป้อนที่จะแต่ง pulp density ที่สูงเกินไป จะไปกระทบรูปแบบการไหลที่ปกคติน Spiral ซึ่งเป็นการทำให้ performance เสียไปอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ A.6



รูปที่ A.6 Effect of Excess Pulp Density on Spiral Performance

A.4.3.3 Solids Load Solid flow สามารถพิจารณาว่าเป็น factor ของ fluid flow rate และ pulp density (หรือ% solids ของ fluid)

การขึ้นอยู่กันและกันของ factors 2 อย่างนี้ที่มีต่อ performance ของ Spiral สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนโดยรูปที่ A.7



รูปที่ A.7 Effect of Solids Load, at different pulp densities, on
(a) recovery (b) grade

การเพิ่ม Solids load (โดยการเพิ่ม pulp density ในขณะที่รักษาให้ pulp flow คงที่) จะเป็นผลให้ Recovery ลดลงเล็กน้อย (AB) โดยที่ grade ของหัวแร่ มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การรักษาให้ load คงที่โดยการเพิ่ม pulp density และลด pulp flow จะทำให้ Recovery เพิ่มขึ้นอย่างมาก (CB) โดย grade ของหัวแร่ลดลงเล็กน้อย

เห็นได้ว่า fluid flow มีความสำคัญมากกว่า solid flow (แต่มีขีดจำกัด) ซึ่งผลสรุปตรงกันกับกลไกของการแยกของ Spiral

Spiral มีความสามารถที่จะแยกแร่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วง throughput ที่กว้าง feed rates อาจอยู่ในช่วง 0.5 ถึงประมาณ 4.0 ตันต่อชั่วโมงต่อ start พร้อมกับได้ metallurgical performance ที่ดี เห็นได้ชัดว่า feed tonnage สำหรับการประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเกินค่าจำกัดนี้ ถ้า operating parameters ไม่เปลี่ยนไปมากมายการรักษาให้ Solids flow อยู่ในช่วง + 15% ของ set flow จะทำให้การทำงานของ Spiral มีเสถียรภาพแน่นอน

ชนิดของ Spirals ที่แตกต่างกัน ใช้ flow rates ที่อัตราแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น Humphreys single start spirals มีอัตราที่ 1.5 ตันต่อชั่วโมงต่อ start หากทำงานที่ใกล้เคียง controlled conditions จะขึ้นได้ถึง 3 ตันต่อชั่วโมง

Spiral ที่มี pitch ชันกว่า เช่น GEC Spiral สามารถป้อนแร่เข้า Spiral ที่ feed pulp density สูงกว่า ในทางกลับกันได้ throughputs of solids สูงกว่า และต้องการน้ำล้างน้อยกว่าในการช่วยให้แร่หนักไหลใน Spiral channel

Spiral รุ่นใหม่บางชนิดออกแบบให้ใช้ flow rate ได้สูงขึ้น เช่น Reichert Mark 6 Spiral มีอัตรา 5 ต้นต่อชั่วโมงต่อ start ในขณะที่ Spiral ที่มี diameter ขนาดใหญ่ ใน USSR ทำได้ถึง 8 ต้นต่อชั่วโมงต่อ start

Solids loading ที่ดีที่สุดที่แท้จริงจะขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ป้อน พร้อมทั้ง size และ size range ของแร่ป้อน Capacity ของ Spiral เมื่อใช้กับแร่ละเอียดจะต่ำกว่าเมื่อใช้กับแร่ที่หยาบกว่า สำหรับแร่ชนิดเดียวกัน

A.4.3.4 Wash Water Flow Multi-offtade Spirals ทั้งหมดมีความจำเป็นต้องใช้น้ำล้างตลอดความยาวของราง เพื่อให้แถบแร่หนักสะอาด โดยไล่มลทินออกจากผิวบนของแถบแร่หนักก่อนไหลเข้าช่องดักแร่ หากไม่มีน้ำล้างจะไม่สามารถเพิ่ม grade ของหัวแร่ได้ตามที่ต้องการ แร่กากจะไหลวนเข้าไปทางช่องดักแร่

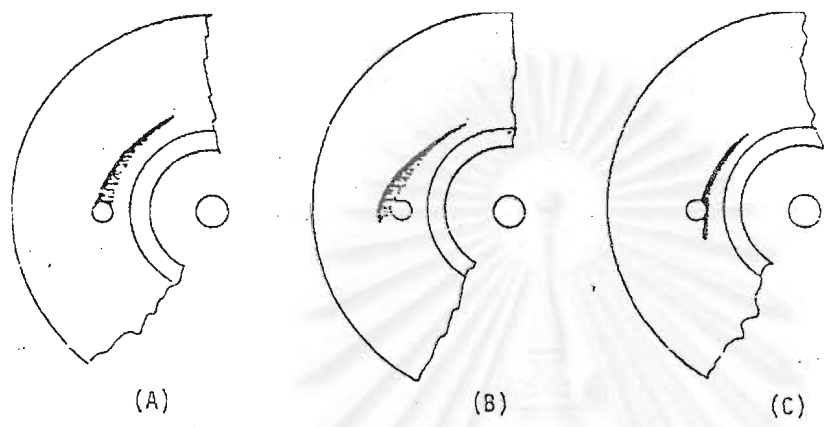
ผู้ผลิต Spiral ส่วนใหญ่ ได้ออกแบบระบบการเพิ่มน้ำล้างเป็นแบบของตัวเอง โดยส่วนใหญ่ใช้ช่องน้ำล้างติดตั้งใน main pulp flow channel การกระจายของน้ำล้างทำได้โดยใช้ notches ซึ่งมีอยู่ 6 ตัวต่อรอบ ปริมาณของน้ำที่ไหลจะเป็นสัดส่วนลงมาตาม channel ด้วยระบบนี้ การกระจายของน้ำถูกกำหนดโดยปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าทางส่วนยอดของ Spiral ในขณะที่ระบบนี้มีข้อดีตรงที่มีความง่าย แต่ไม่ค่อยมีความยืดหยุ่น

ผู้ผลิตอื่น ๆ ได้พัฒนาระบบที่ซับซ้อนซึ่งยืดหยุ่นได้มากกว่า และช่วยให้ operator ใส่น้ำล้างในที่ต้องการมากที่สุดได้ ตัวอย่างเช่น Reichert และ Vickers เพิ่มวาล์วตัวเล็ก ๆ กับให้น้ำล้างผ่านเข้ารางได้ช่องน้ำล้าง

ปริมาณของน้ำล้างที่ใช้จริงในการแยกใดๆ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของแร่ที่กำลังแต่งใน Spiral และ size structure ของ solids ใน feed pulp ปริมาณของน้ำล้างสำหรับแร่ป้อนที่มีขนาดหยาบกว่าจะใช้ปริมาณน้ำค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามปริมาณของน้ำล้างสามารถกำหนดให้แน่นอนได้สำหรับแต่ละ condition

รูปที่ A.8 ซึ่งให้เห็นถึง conditions 3 แบบ ของการใช้น้ำล้างสำหรับการแยกแร่ป้อนที่ grade ดีเมื่อดูจากช่องดักแร่ที่สองหรือที่สามของ Spiral ปริมาณของน้ำที่ถูกต้องจะเป็นผลให้แถบหัวแร่ไหลลงในช่องดักแร่ ถ้ามากเกินไปจะไปปลักหัวแร่ออกไปด้านนอก แต่ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอจะเป็นผลให้แร่กากผ่านเข้าช่องดักแร่ได้ สำหรับแร่ป้อนที่ grade ต่ำกว่า แถบหัวแร่จะแคบ และควรจะวางแผนวให้ตรงกับศูนย์กลางของช่องดักแร่

ในทางปฏิบัติสำหรับ rougher or scavenger spiral จะใช้น้ำหมุนเวียน สำหรับ cleaner spirals ต้องใช้น้ำสะอาด เพราะน้ำสกปรกจะไปแยกแอมของหัวแร่และหัวแร่ที่ได้จะมี grade ต่ำ การใช้น้ำหมุนเวียนไม่ควรปล่อยให้ น้ำขุ่น ซึ่งมีสารแขวนลอยอยู่ เนื่องจากจะไปทำให้ Spiral channel เกิดคราบและทำให้การทำงานของ Spiral ขาดประสิทธิภาพ



รูปที่ A.8 Three Levels of Wash Water Addition
(a) Correct (b) Too much (c) Insufficient

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก B

หลักการแต่งแร่โดยวิธี Wet Magnetic

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคาร์เซล

การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก จะใช้คุณสมบัติที่แตกต่างทางการติดแม่เหล็กของแร่ชนิดต่าง ๆ ทำการแยกแร่มีค่าภาษาอังกฤษที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่มีค่าที่ไม่ติดแม่เหล็กก็ได้ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กเป็นเครื่องแยกแร่ที่รู้จักกันมาเกือบ 200 ปีแล้ว ซึ่งนอกจากจะนำเอาไปใช้แยกสินแร่เหล็ก (Iron Ore) แล้ว ยังนำเอาไปใช้ในการแยกเศษแม่เหล็กซึ่งสร้างขึ้นมาใช้ประโยชน์อยู่หลายแบบ และบางแบบก็ยังมีใช้อย่างกว้างขวาง จนกระทั่งทุกวันนี้ แต่เมื่อ 80 กว่าปีที่ผ่านมานี้ ได้มีการปรับปรุง พัฒนาการออกแบบเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้ ซึ่งสามารถนำเอาไปใช้แยกแร่ได้หลายชนิด ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดต่าง ๆ สามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิงอื่น ๆ ได้

B.1 กลุ่มของแร่ตามคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก

แร่ชนิดต่าง ๆ นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็ก คือ

1. แร่ไม่ติดแม่เหล็ก (Diamagnetic Mineral)
2. แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral)
3. แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral)

แร่ไม่ติดแม่เหล็กนั้น ความจริงหากมันอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจะถูกผลักออกไปจากสนามแม่เหล็กด้วยซ้ำ แต่ทว่าแรงผลักนี้จะอ่อนมากจนไม่สามารถสังเกตได้ โดยมันจะถูกผลักออกไปจากบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ไปยังบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่า แต่เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นน้อยมากจนไม่อาจใช้คุณสมบัติในการผลักของแร่ชนิดนี้มาใช้ในการแยกแร่ได้ ยกเว้นในกรณีพิเศษเท่านั้น ตัวอย่างแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กได้แก่ แร่ควอตซ์ (Quartz) และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

ส่วนแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น จะถูกดึงดูดเข้าสู่สนามแม่เหล็กไปตามเส้นแรงแม่เหล็กเข้าสู่บริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่าด้วยแรงอย่างอ่อน ดังนั้นจึงสามารถแยกแร่เหล่านี้ออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง (High Intensity Magnetic Separator) ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนได้แก่ แร่อิลเมนไนต์ (Ilmenite), ฮีมาไทต์ (Haematite), วุลแฟรมไมต์ (Wolframite), โมนาไซต์ (Monazite), ซิเดอไรต์ (Siderite), ไพร์โรไทต์ (Pyrrhotite), โครไมต์ (Chromite), แมงกานีส (Manganese Ore) ฯลฯ

มีธาตุบางชนิดที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนเช่น นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co), แมงกานีส (Mn), โครเมียม (Cr), ซีเรียม (Ce), ไทเทเนียม (Ti), ออกซิเจน (O) และธาตุโลหะกลุ่มแพลทินัม

ส่วนแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนั้น จัดว่าเป็นแร่ติดแม่เหล็กอ่อนชนิดพิเศษ กล่าวคือ สามารถติดแม่เหล็กได้แรงกว่า เนื่องจากมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) สูงกว่าและจะคงความเป็นแม่เหล็กหลังจากที่เอาสนามแม่เหล็กออกไปแล้ว (Remanence) ดังนั้นจึงสามารถแยกมันออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มต่ำ (Low Intensity Magnetic Separator) ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนี้ ได้แก่ แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) และแร่ซิดิเคอไรต์ (Siderite) ที่ผ่านการย่างเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแม่เหล็กมาแล้ว (Magnetic Roasting) ซึ่งทำให้มันกลายเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงได้ (ปกติแร่ซิดิเคอไรต์เป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน) ส่วนโลหะเหล็กก็จัดว่าเป็นพวกที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง

คุณสมบัติการดูดติดแม่เหล็กของแร่อาจเปลี่ยนแปลงได้ หากมีมลทินที่ติดแม่เหล็กอื่นปนอยู่ในแร่ นั้น มลทินที่สำคัญได้แก่ เหล็ก (Fe) และไนโอเบียม (Nb) ยกตัวอย่างเช่น แร่การ์เนต (Garnet) และแร่สฟาเลอร์ไรต์ (Sphalerite) จะมีคุณสมบัติในการติดแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเหล็ก ซึ่งเจือปนในแร่ทั้งสองชนิดนี้ ส่วนแร่ดีบุกชนิดแคสซิเทอไรต์ (Cassiterite) และแร่รูไทล์ (Rutile) นั้น จะมีคุณสมบัติในการติดแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณเจือปนของธาตุไนโอเบียม ทำให้แร่เหล่านี้สามารถติดแม่เหล็กได้เช่นกัน

B.2 ทฤษฎีและกลไกในการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก

การแยกแร่ติดแม่เหล็กเป็นกระบวนการแยกแร่ทางฟิสิกส์หรือกายภาพ ที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่อิสระ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อเม็ดแร่นั้น ซึ่งได้แก่

1. แรงดึงดูดแม่เหล็ก (Tractive Magnetic Force)
2. แรงต่อต้าน (Competing Force), แรงเสียดทาน (Frictional Force), แรงอุทกจลน์ (Hydrodynamic Force), แรงเฉื่อย (Inertial Force) เป็นต้น
3. แรงระหว่างเม็ดแร่ (Interparticle Force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูด หรือแรงผลักระหว่างเม็ดแร่ก็ได้

แรงดึงดูดแม่เหล็กและแรงต่อต้าน มีแนวโน้มที่จะช่วยให้เกิดการแยกระหว่างแร่ได้ดีขึ้น ในขณะที่แรงระหว่างเม็ดแร่มีแนวโน้มที่จะลดประสิทธิภาพของการแยก ดังนั้นแรงทั้ง 3 ดังกล่าวข้างต้นจะเป็นตัวตัดสินว่าการแยกแร่ที่เกิดขึ้นดีหรือไม่ แรงที่เกิดขึ้นเหล่านี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแร่ ป้อนและลักษณะของเครื่องแยกแม่เหล็ก ธรรมชาติของแร่ป้อนนั้นจะรวมไปถึงการกระจายของขนาดแร่ (Size Distribution), ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) หรือคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของแร่ซึ่งอาจจะมีผลต่อแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ลักษณะของเครื่องแยกแม่เหล็กจะ

รวมไปถึงการออกแบบและตัวแปรอื่น ๆ เฉพาะอย่าง ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก และอัตรากรป้อนแร่

B.3 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในการแยกหัวแร่ และแยกแร่ให้สะอาดแบบเปียก (Wet Magnetic Separator)

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งที่กล่าวมาข้างต้น นิยมใช้ในการแยกแร่ดีบุกแม่เหล็กมากกว่า 80 ปีมาแล้ว อย่างไรก็ตามการแยกแร่ดีบุกแม่เหล็กแบบแห้งจะได้ผลดีก็ต่อเมื่อขนาดของเม็ดแร่ที่ทำการแยกมีขนาดโตกว่า 200 เมช (หรือ 74 ไมครอน) ส่วนแร่ขนาดเล็กควรแยกแบบเปียก ในแง่ของเศรษฐศาสตร์แล้วการแยกแร่แบบเปียกจะดีกว่าในแง่ที่ว่าแร่ต่าง ๆ ที่เกิดตามธรรมชาติ หรือแร่ที่ผ่านขบวนการแยกแร่ด้วยวิธีอื่นมาก่อนแล้วมักจะเปียก ดังนั้นหากสามารถแยกแร่ในสภาพเปียกได้ก็จะเป็นการประหยัดเพราะไม่ต้องทำการย่างแร่ให้แห้งก่อนการแยก

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นต่ำ จะนิยมใช้แยกแร่ดีบุกแม่เหล็กอย่างแรงเท่านั้น และจะใช้ได้ดีกับแร่ที่มีขนาดโตกว่า 74 ไมครอน ส่วนเครื่องแยกแร่ดีบุกแม่เหล็กแบบเปียกแรงสูง (จะได้อธิบายต่อไป) จะสามารถแยกแร่ดีบุกแม่เหล็กอย่างอ่อนได้ในช่วงขนาดแร่ช่วงแคบช่วงหนึ่ง ความสามารถในการแยกแร่จะขึ้นอยู่กับความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) และขนาดของเม็ดแร่นั้น เครื่องมือจะแยกแร่ที่มีการกระจายตัวของแร่ในช่วงหนึ่งได้ดี แต่จะไม่สามารถทำการเลือกแยกแร่ที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กซึ่งใกล้เคียงกันออกจากกันได้ ดังนั้นแร่ที่นำมาแยกควรมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่แตกต่างกันมาก ๆ จึงจะทำให้การแยกได้ผลดี

B.3.1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator เขียนย่อว่า WHIMS)

เนื่องจากปัญหาในการแยกแร่ดีบุกแม่เหล็กอย่างอ่อน เม็ดละเอียดขนาดเล็กลงกว่า 74 ไมครอน ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ประกอบกับบางกรณีต้องบดแร่ให้ละเอียดเพื่อให้เม็ดแร่หลุดออกจากกันเป็นอิสระ ซึ่งการบดแห้งอาจมีการสูญเสียแร่ที่เป็นฝุ่น จึงเปลี่ยนมาแบบเปียก หรือในบางแผนผังการแยกแร่วิธีการทำให้แร่แห้งทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก จึงมีการพัฒนาเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งมาเป็นแบบเปียก

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นสนามแม่เหล็กสูงแบบเปียก ส่วนใหญ่ใช้ในการแยกแร่ดีบุกแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กในรูปของเหลว หรือพวกสารแขวนลอย เครื่องแยกนี้แบบแรกที่มีการพัฒนานั้นมีรูปร่างคล้ายเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนียวนำ (Induced Roll Magnetic Separator) โดยการดัดแปลงให้สามารถรับแร่ร้อนเปียกได้ โดยมีผู้รายงานว่าในสหภาพโซเวียตได้มีการพัฒนา เครื่องแยกแร่แบบลูกกลิ้งเหนียวนำเพื่อทำการแยกเอาแร่เหล็กออกมา ส่วนเครื่องแยกในรุ่น

หลังๆ นี้ได้พัฒนาให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำสูงถึง 20,000 เกาส์ ซึ่งเป็นค่าความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัวของเหล็กอ่อนที่ใช้ทำเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ในเครื่องแยกโดยมีเมทริกซ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น เป็นลูกกลม แผงแผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) และแผ่นเหล็กรูปร่างตาราง (Expanded Steel) และเป็นฝอย (Fibre) ในที่นี้จะได้อธิบายถึงเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเป็ยกความเข้มขั้สนามแม่เหล็กสูง

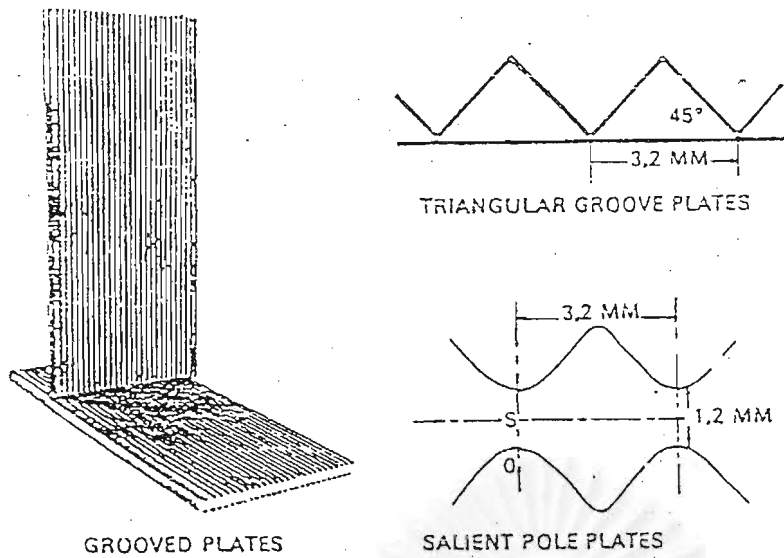
ชนิดังการูเซล (Carousel Separator) เป็นเครื่องแยกแร่ซึ่งมาจากความคิดของ G.H. Jones ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาจากชนิดกิลล์ (Gill Separator) ซึ่งในชนิดกิลล์นั้น แร่ติดแม่เหล็กจะถูกดูดให้ติดกับผิวของตัวหมุน (Rotor) ซึ่งทำให้พื้นที่ในการเก็บแร่เพิ่มขึ้หลายเท่า และความเข้มสนามแม่เหล็กก็สูงกว่าแบบกิลล์ เครื่องแยกแร่ของโจนซึ่งทำงานเป็นจังหวะ 3 ขั้นตอน (Three-Stage Cyclic Jones Separator) ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ B.2 ซึ่งการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอน มีดังนี้

- ขั้นตอนแรก แร่ผสมน้ำจะถูกป้อนเข้าไปยังเครื่องในขณะที่เครื่องทำงานอยู่ โดยมีความเข้มสนามแม่เหล็ก แร่ติดแม่เหล็กจะถูกติดกับเมทริกซ์รูปร่างเป็นแบบแผ่นที่เป็นร่อง ขณะที่แร่ไม่ติดแม่เหล็กจะผ่านออกไปยังถังเก็บ

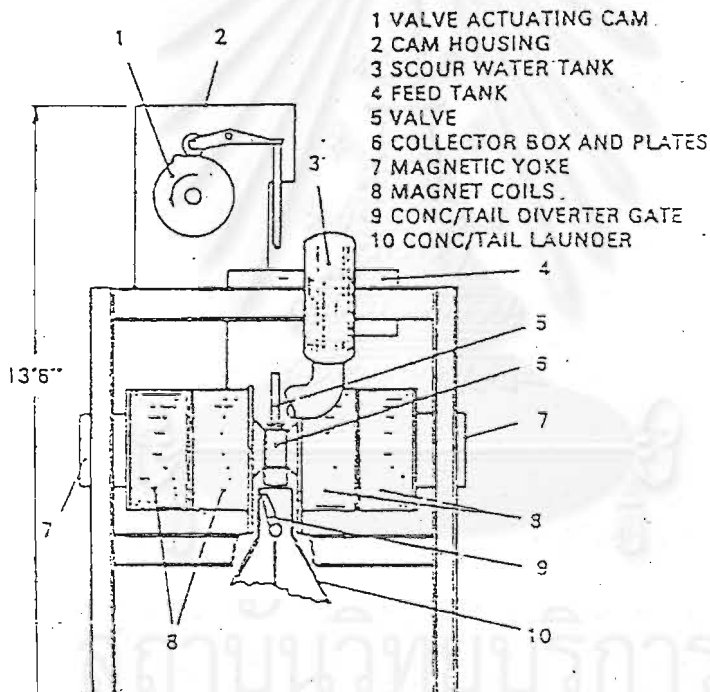
- ขั้นตอนที่สอง จะหยุดป้อนแร่ โดยที่เครื่องยังคงมีสนามแม่เหล็กอยู่และจะใช้น้ำที่มีความดันประมาณ 30-60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ล้างเอาแร่ซึ่งไม่ติดแม่เหล็กซึ่งอาจถูกแร่ติดแม่เหล็กอุ้มอยู่ออกไป

- ขั้นตอนที่สาม จะปิดเครื่องไม่ให้มีสนามแม่เหล็กอยู่เลย แล้วใช้น้ำล้างเอาแร่ที่ติดแม่เหล็กซึ่งติดอยู่บนแผ่นที่เป็นเมทริกซ์ส่งออกไป

ขั้นตอนทั้ง 3 จะใช้เวลาในการทำงาน 6-15 วินาที และได้มีการทดลองใช้เครื่องแยกแบบนี้หลายปีมาแล้ว อย่างไรก็ตามการทำงานเป็นจังหวะ 3 ขั้นตอนดังกล่าวทำให้ต้องเปิดกระแสไฟฟ้าเป็นช่วง ๆ และข้อยู่ยากทางกลของเครื่องมือนี้ทำให้ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกแร่จำนวนมาก ๆ ในเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมเครื่องแยกควรจะทำงานได้ต่อเนื่องแทนที่จะเป็นจังหวะดังกล่าว



รูปที่ B.1 เมทริกซ์ซึ่งมีรูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องในเครื่องแยกแร่ของโจนส์

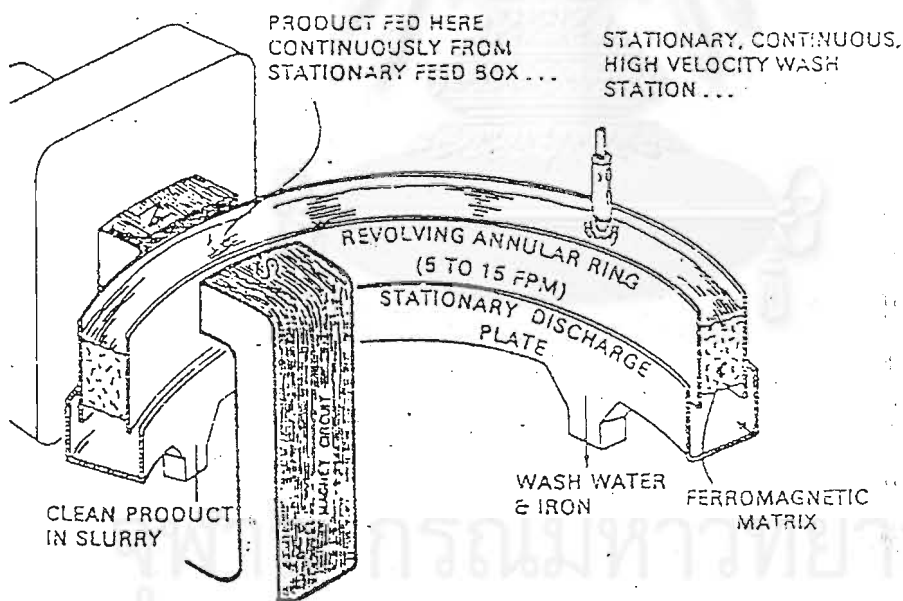


รูปที่ B.2 เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกของโจนส์ซึ่งทำงานเป็นจังหวะ 3 ชั้นตอน

ได้มีความพยายามที่จะสร้างเครื่องมือชนิดโจนส์ให้ทำงานแบบต่อเนื่อง เช่น ได้มีการสร้างเครื่องแยกเฟอร์เรอร์ (Ferrer Separator) ขึ้นมาแต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ รูปที่ B.3 ได้แสดงให้เห็นรูปร่างสำคัญของเครื่องแยกแร่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแบบเปียก ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาในตอนหลัง โดยการใส่เมทริกซ์เข้าไปในช่องวงแหวน (Annular Box) ที่อยู่บนขอบนอกของตัวหมุน (Rotor) เรียกว่ากังคารูเซล (Carousel) ซึ่งจะติดอยู่กับแกนหมุน (Roller Shaft) เมทริกซ์อาจทำ

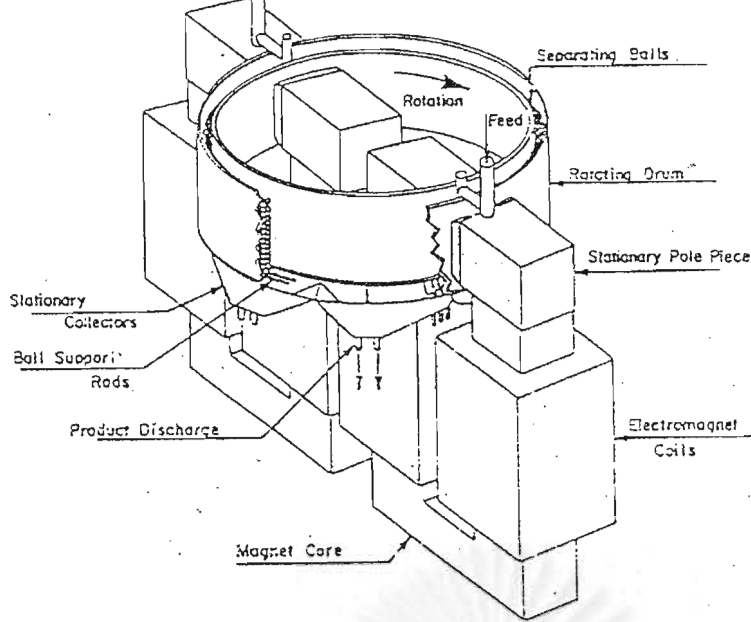
เป็นเหล็กกลม (Steel Ball or Steel Sphere), แผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) แผ่นเหล็กรูปตาราง (Expanded Steel), ฝอยเหล็ก (Steel Wool or Steel Fibre) แร่ป้อนผสมน้ำจะถูกป้อนเข้ามาในช่องวงแหวน ซึ่งหมุนไปตามถังคาร์เซล ภายใต้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดความชื้นสนามแม่เหล็ก ขึ้นบนเมทริกซ์ แร่ไม่ติดแม่เหล็กก็จะไหลผ่านออกไปช่องหนึ่ง ส่วนแร่ติดแม่เหล็กก็จะดึงดูดติดกับเมทริกซ์ และหมุนตามถังคาร์เซลออกไปนอกสนามแม่เหล็กซึ่งจะถูกล้างด้วยน้ำให้ไหลไปยังอีกช่องหนึ่ง เครื่องแยกแร่ในลักษณะนี้อาจเรียกว่า เครื่องแยกแร่ถังคาร์เซล (Carousel Separator) ซึ่งมีการออกแบบไปหลาย ๆ ลักษณะดังนี้

i) Carpco Separator, Carpco-Amax Separator หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Carpco Separator เป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก(WHIMS)เครื่องแรกที่สร้างขึ้นใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยลักษณะของถังคาร์เซลดังกล่าวนี้ จะมีเมทริกซ์ที่บรรจุในช่องวงแหวนเป็นแบบลูกเหล็กกลม (Steel Ball) ทำจากเหล็กอ่อนทางแม่เหล็ก (Capacity) ต่อหัวแม่เหล็กของเครื่องขึ้นอยู่กับความชื้นสนามแม่เหล็ก ความชื้นสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำสูงถึง 22000 เกาส์ มีความจุ 1 ตันต่อชั่วโมงต่อหัวแม่เหล็ก เครื่องต้องการกำลังไฟประมาณ 2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันแร่ป้อน น้ำหนักของเครื่องประมาณ 3 ตันต่อหัวแม่เหล็ก ในอาฟริกาได้ใช้ในการลดปริมาณเหล็กจากแร่ฟอสเฟต รูปร่างของเครื่องแสดงไว้ในรูปที่ B.4



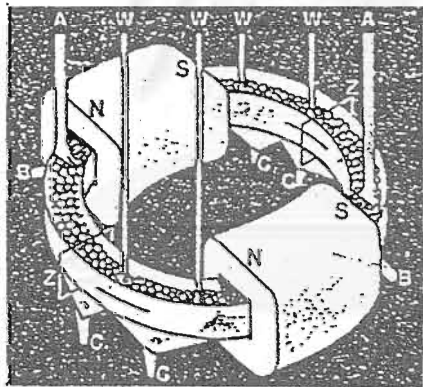
Essential features of carousel-type continuous high-intensity wet magnetic separator.

รูปที่ B.3 ลักษณะที่สำคัญของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคาร์เซล



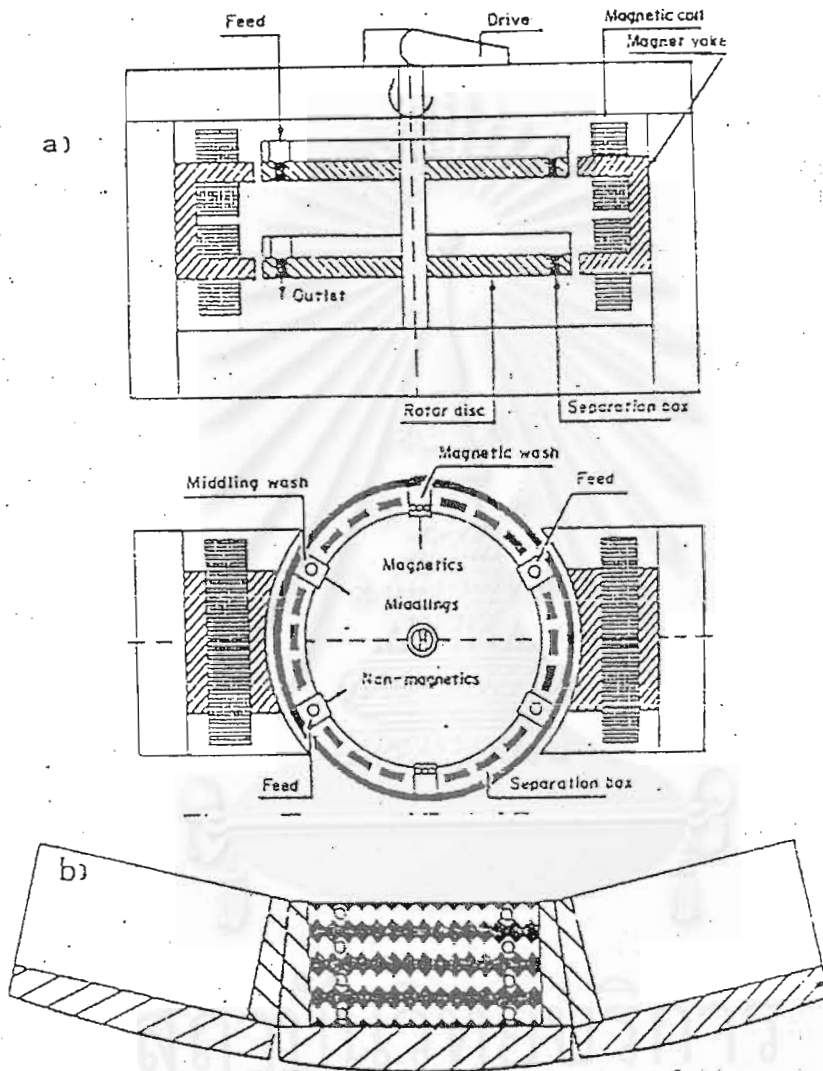
รูปที่ B.4 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังการูเซล Carpco Separator

ii) Krupp Sol Separator, บริษัท Sala Magnetics, Inc ได้ออกแบบเครื่องแยกแร่ถังการูเซล โดยการใช้ขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid) แทนวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่ว ๆ ไป ทำให้มันมีน้ำหนักน้อยกว่า Carpco Separator และใช้ลูกเหล็กกลม (Steel Ball) เป็นแม่เหล็กคล้าย Carpco Separator รูปที่ B.5



รูปที่ B.5 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังการูเซล Krupp Sol Separator, A คือแร่ป้อนผสมน้ำ, B คือส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก, C คือส่วนที่ติดเหล็ก, W คือน้ำ Z คือบริเวณกึ่งกลาง และ N,S คือขั้วเหนือ-ใต้ของแม่เหล็ก

iii) Jones Separator, Humbolt Division of Klockner-Humbolt-Deutz A.C. แห่งโคโลญน์ (Cologne) ประเทศสาธารณรัฐเยอรมันตะวันตกได้พัฒนาเครื่องแยกแร่ของโจนส์ ซึ่งทำงานเป็น จังหวะ (ที่ได้อธิบายมาแล้ว) โดยออกแบบให้มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังการูเซล ซึ่งนำไปใช้แยกแร่ฮีมาไทต์ (Haematite) ขนาดละเอียดในเชิงพาณิชย์ได้ดี

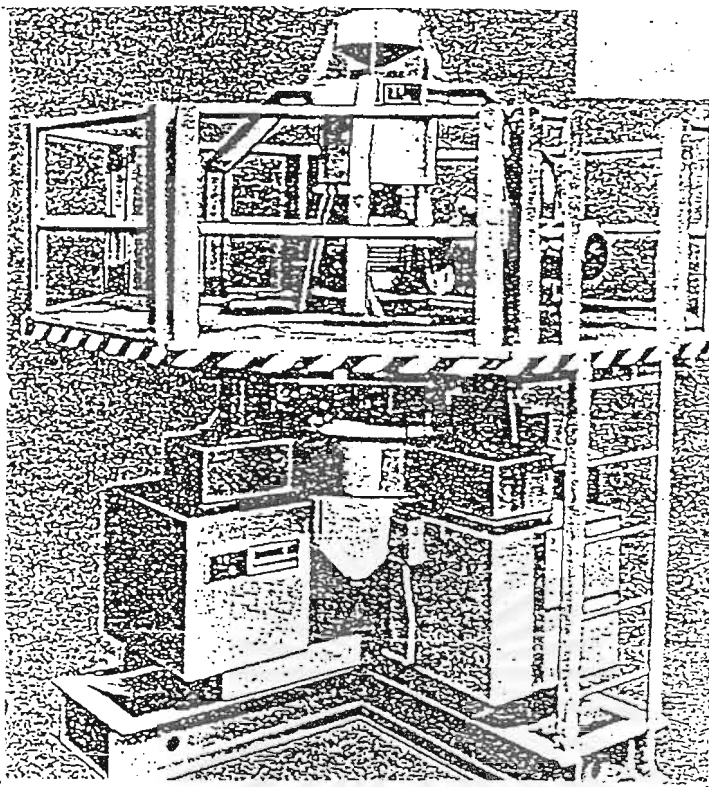


รูปที่ B.6 (a) รูปร่างและการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดตั้ง
 การูเซล Jones Separator

(b) เมทริกซ์รูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องใน Jones Separator

เครื่องแยกแร่ Jones Separator ก็เช่นเดียวกับ Carpco Separator Krupp Sol Separator ที่ใช้หลักการเครื่องแยกแร่ Forsgren Separator ซึ่งได้จดลิขสิทธิ์ในปี ค.ศ. 1897 มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังการูเซล รูปที่ B.6 แสดงให้เห็นลักษณะของ Jones Separator ประกอบด้วยโครงเหล็กที่มีขั้วแม่เหล็กติดอยู่ โดยมีขดลวดแม่เหล็กพันรอบติดกับช่องระบายอากาศ (Air-Cooled Case) การแยกแร่เกิดขึ้นที่ช่องวงแหวน (Annular Box) ของถังการูเซล (Carousel) โดยใช้แผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) ทำด้วยเหล็กอ่อนเป็นเมทริกซ์ (ดูรูปที่ B.6 (b)) ซึ่งนำมาวางซ้อนกันเป็นชุด ๆ ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขั้วแม่เหล็ก โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะรวมเส้นแรงแม่เหล็กให้ลู่อัดตรงส่วนปลายของเมทริกซ์ซึ่งเป็นร่อง ซึ่งจะเพิ่มความเข้มข้นแม่เหล็กและความชันสนามแม่เหล็กตรงส่วนนั้น ในเวลาเดียวกันแร่ป้อนผสมน้ำจะป้อนผ่านวงแหวนที่หมุนผ่านสนามแม่เหล็กความเข้มสูงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จุดป้อนแร่จะอยู่ในตำแหน่งก่อนที่แร่จะถูกหมุนเข้าไปในสนามแม่เหล็ก ซึ่งในแต่ละตัวหมุน (Rotor) จะมีจุดป้อนแร่ 2 จุด (อยู่ในตำแหน่งสมมาตรกัน) (ดูรูปที่ B.6) แร่ที่ติดเหล็กอย่างอ่อนจะเกาะติดกับเมทริกซ์ ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็กจะไหลผ่านเมทริกซ์ลงไปข้างล่างสู่ถังเก็บ ก่อนที่จะเคลื่อนออกจากสนามแม่เหล็กไปจะมีการฉีดน้ำความดันต่ำล้างแร่ไม่ติดแม่เหล็กสู่ช่องแร่คละ (Middlings) และเมื่อมันเคลื่อนมาถึงจุดกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2 ชุด ซึ่งตำแหน่งนี้ ความเข้มข้นแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ แร่ติดแม่เหล็กถูกฉีดล้างด้วยน้ำที่มีความดันสูงถึง 5 บาร์ (Bar) สู่ช่องเก็บแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ปริมาณน้ำในเครื่องแยกประมาณ 4 ตันต่อน้ำหนักแร่ 1 ตัน ปริมาณน้ำที่รั่วร้อยละ 90 จะถูกนำเอากลับมาใช้อีก เครื่องแยกสามารถปรับให้ความเข้มข้นแม่เหล็กเหนี่ยวนำได้สูงกว่า 20000 เกาส์ (Gauss) หากใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กป้อน (Applied Magnetic Field Intensity) 15,000 เอสเต็ด (Oersted) ต้องการกำลังไฟในขดลวดประมาณ 16 กิโลวัตต์ต่อขั้วแม่เหล็ก

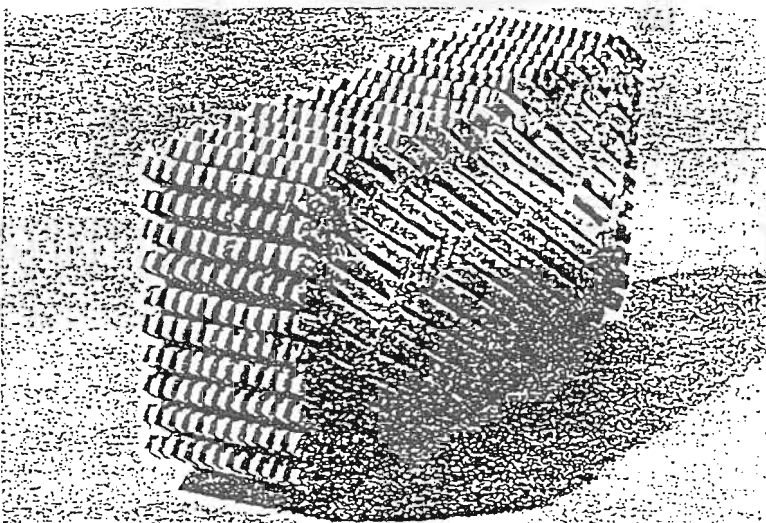
เครื่องแยกแร่ชนิดนี้นิยมใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เช่น แฮฮีมาไทต์ (Haematite) แร่เหล็กที่มีคุณภาพต่ำ (Low Grade Iron Ore) เป็นต้น โดยใช้แยกแร่เหล่านี้ที่ขนาดละเอียดกว่า 200 เมช แทนวิธีการลอยแร่ แม้ว่าจะยังไม่ใช้เครื่องแยกแร่ที่แพร่หลายนักในทวีปอเมริกาเหนือเพราะเงินลงทุนสูง โดยต้นทุนของเครื่องลอยแร่สำหรับแยกแฮฮีมาไทต์นั้นประมาณร้อยละ 20 ของเครื่องแยกแร่นี้ แต่ค่าใช้จ่ายในการทำงานของการลอยแร่สูงกว่า 3 เท่าโดยได้คิดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ (Water Treatment) ในการลอยแร่ด้วย เมื่อคิดในระยะยาวเช่น 10 ปีขึ้นไป และมีการคิดค่าเสื่อมราคาด้วยแล้ว พบว่าการใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก จะดีกว่าการลอยแร่ สถานที่ที่ใช้เครื่องแยกแร่ Jones Separator ที่ใหญ่ที่สุดอยู่ที่ Companhia Vale De Rio Doce ใน Itabira ประเทศ บราซิล ซึ่งใช้แยกแฮฮีมาไทต์ (Haematite) ขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ขนาดความจุ (Capacity) 120 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ B.7 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล Boxmag-Rapid Separator

iv) Boxmag-Rapid Separator ซึ่งออกแบบโดยบริษัท Boxmag-Rapid Ltd. แห่งเมืองเบอร์มิงแฮม (Birmingham) ประเทศอังกฤษ ให้มีขั้วแม่เหล็ก 4 ชุด ดังรูปที่ B.7 โดยที่ภายในช่องที่แยกแร่มีแม่เหล็กทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ซึ่งมีรูปร่างเป็น Wedge-Bar คัดล้ายกับที่ใช้ในตะแกรงสั่นสำหรับการคัดขนาดเม็ดเล็ก ๆ ดังแสดงในรูปที่ B.8

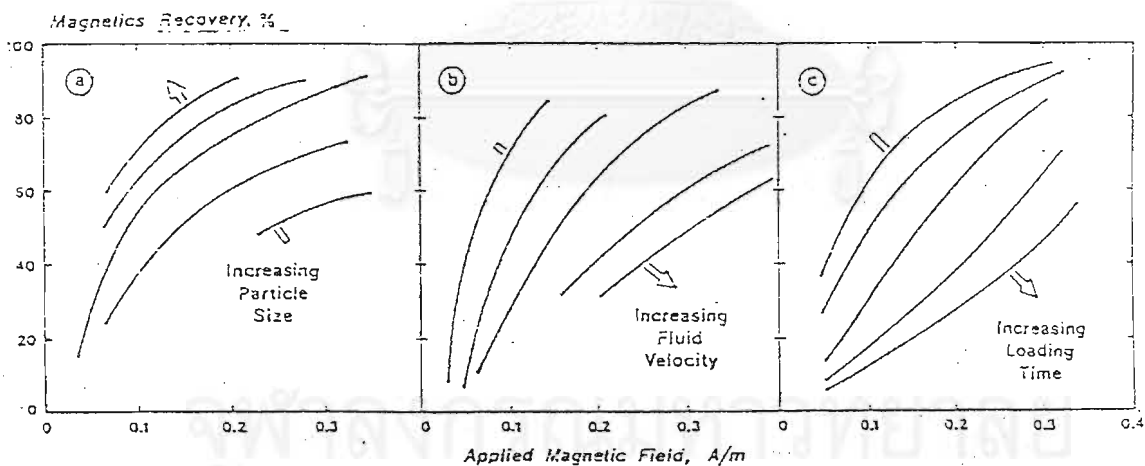
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (WHIMS) ชนิดถังคารูเซลนี้ ได้มีการพัฒนาขึ้นมาอีกหลายลักษณะมีการเรียกต่างกันไป เช่น Eriez Separator และเครื่องแยกแร่ถังคารูเซลซึ่งออกแบบโดย Fraas และพัฒนาโดย Cribla S.A. แห่งบริษัทเชลส์ ประเทศเบลเยียม



รูปที่ B.8 แม่เหล็กรูป Wedge-Bar ที่รูปทรงแข็งแรง ซึ่งใช้ใน Boxmag-Rapid Separator

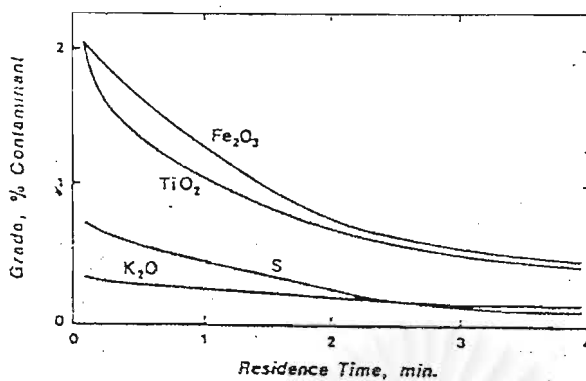
B.3.2 สมรรถนะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Performance of High Intensity Wet Magnetic Separator)

สมรรถนะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกนั้น มีปัจจัยที่มีผลต่อการแยกหลายประการ เช่น ขนาดของแร่ป้อน ขนาดของแร่มลทินที่ติดแม่เหล็กความเร็วของแร่ผสมน้ำที่ผ่านเมทริกซ์ เวลาที่ใช้ในการแยก ค่าความเข้มข้นแม่เหล็กปริมาณของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ (ส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 20-30 % Solids) ขนาดของเมทริกซ์ ความหนาแน่นของเมทริกซ์ คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ป้อนผสมน้ำ รูปที่ B.9 เป็นกราฟแสดงผลของเม็ดแร่ป้อน ความเร็วของแร่ผสมน้ำที่ป้อนเข้ามา และเวลาที่ใช้ในการแยก ที่มีผลต่อการเก็บแร่ติดแม่เหล็ก (Magnetics Recovery) ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดคานิสเตอร์ (Canister-type Separator) ซึ่งในเอกสารอ้างอิงอื่น ๆ ก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกล่าวคือตามรูปที่ B.9 (a) แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการแยกแร่ที่มีขนาดเล็กลงให้ปริมาณมากขึ้นจะต้องให้ความเข้มข้นแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้น เพื่อที่จะเอาชนะแรงอุทกจลน์ (Drag Force) รูปที่ B.9 (b) แสดงให้เห็นว่าเมื่อต้องการเพิ่มcapacity ของเครื่องแยก จะมีผลทำให้ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำที่ผ่านเมทริกซ์สูงขึ้น ดังนั้นเมื่อต้องการแยกแร่ติดแม่เหล็กให้ได้ปริมาณมากแล้ว จะต้องเพิ่มความเข้มข้นแม่เหล็กให้สูงขึ้นซึ่งมีผลคล้ายกับกราฟในรูปที่ B.10 ซึ่งแสดงผลของการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องชนิดคานิสเตอร์ซึ่งเมื่อเพิ่มความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำจะเป็นผลทำให้แร่มีเวลาอยู่ในเครื่องแยกน้อยลง (Low Residence Time) ก็จะทำให้แยกมลทินออกจากดินขาวได้น้อยลง



รูปที่ B.9 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์ อันได้แก่

- (a) ขนาดของเม็ดแร่ (b) ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำ (c) เวลาที่ใช้ในการแยก



รูปที่ B.10 แสดงการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องแยกคานิสเตอร์

ส่วนรูปที่ B.9 (c) นั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้เครื่องแยกชนิดคานิสเตอร์ ผลของเวลาที่ใช้ในการแยกแร่ในแต่ละวัฏจักร (คือ Loading Time เป็นเวลาซึ่งเมื่อเริ่มป้อนแร่เข้าไปในเครื่องแล้วเมทริกซ์ทำการดึงเอาแร่มลทินออกมาจนกระทั่งหยุดป้อนแร่ และทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อนำยาล้างมลทินออกมา) ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการแยกแต่ละวัฏจักร (Loading Time) นานจนเกินไปแล้ว ความสามารถในการดึงเอามลทินจะลดลง ซึ่งหากต้องการให้เครื่องแยกสามารถแยกเอามลทินเพิ่มขึ้นมาก็จะต้องเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเครื่องแยกแร่ชนิดคานิสเตอร์จึงทำงานเป็นจังหวะไม่ต่อเนื่อง (จะต้องมีการหยุดเครื่องเป็น พัก ๆ) เพื่อทำการล้างเอามลทินซึ่งติดอยู่กับเมทริกซ์ออกไป นอกจากนั้นแล้วกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องแยกยังสามารถแสดงออกมาได้ในรูปคณิตศาสตร์อีกด้วย

B.3.3 การประยุกต์ใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกในอุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกนั้น เพิ่งจะมีมาไม่นานนี้ และที่นำเอาไปใช้ในอุตสาหกรรมแร่ที่ใหญ่ที่สุด คือการนำเอาเครื่องแยกชนิดโจนส์ (Jones Separator) ไปแยกแร่ฮีมาไทต์ขนาดละเอียดที่ Campanhia Vale De Rio Doce ใน Itadira ประเทศบราซิล ซึ่งได้ผลดี ยังมีผู้ได้ศึกษาถึงการนำเอาเครื่องแยกไปแยกแร่ฮีมาไทต์เพิ่มเติมอีกหลายคน และอุตสาหกรรมแร่ที่นำไปใช้ขนาดใหญ่เป็นอันดับสองก็คือ การนำเอาเครื่องแยกชนิดคานิสเตอร์ (Canister-type Separator) ไปใช้แยกมลทินออกจากดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ (Coating Quality Kaolin) โดยประเทศสหรัฐอเมริกา และสหราชอาณาจักรเป็นสองประเทศผู้นำด้านนี้ นอกจากนั้นแล้วได้มีการนำเอาไปใช้ และคาดว่าจะมีการนำเอาไปใช้ในการแยกแร่ชนิดอื่น ๆ อีก ดังต่อไปนี้

1. ใช้แยกแร่เหล็กฮีมาไทต์ (Haematite) คุณภาพสูงเพื่อใช้ทำเฟอร์ไรต์ (Ferrite) หรือใช้ถลุงโดยตรงให้เป็นผงเหล็ก (Direct Reduction to Iron Powder)
 2. ใช้แยกแร่พลินที่ติดแม่เหล็กออกจากหัวแร่ดีบุกชนิดแคสซิเทอไรต์ (Cassiterite)
 3. ใช้แยกแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) ออกจากแร่ใยหิน (Asbestos)
 4. ใช้แยกแร่ฮีมาไทต์ (Haematite) ออกจาก แร่ฟอสเฟตอะพาไทต์ (Apatite)
 5. ใช้แยกมลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ซีไลต์ (Scheelite)
 6. ใช้แยกมลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ทัลค์ (Talc)
 7. ใช้แยกมลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ทราย (Silica Sand) หรือแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)
 8. ใช้แยกแร่วุลแฟรมไมต์ (Wolframate) และแร่โมลิบดีนัมที่ไม่ใช่แร่สารประกอบซัลไฟด์ (Non-Sulphide Molybdenum-Bearing Mineral) ออกจากหางแร่ที่เกิดจากการลอยแร่
 9. ใช้แยกแร่ยูเรเนียม (Uranium Ore)
 10. ใช้แยกแก้วที่มีสี (Coloured Glass) ออกจากแก้วที่ไม่มีสี (Colourless Glass) ในกระบวนการนำเอากลับมาใช้อีกครั้งหนึ่ง (Recycling Operation)
 11. ใช้แยกแร่หนัก (Heavy Mineral) จากแร่ชายหาด (Mineral Beach Sand)
 12. ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแร่อุตสาหกรรมบางชนิด
 13. คาดว่าจะสามารถใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกมาใช้ในการแยกซัลเฟอร์ (Sulphur) ออกจากถ่านหิน อย่างไรก็ตามซัลเฟอร์ซึ่งแยกออกมานั้นสามารถแยกออกมาได้จำนวนหนึ่งเท่านั้น เพราะซัลเฟอร์ที่พบอยู่ในถ่านหินประมาณครึ่งหนึ่งอยู่ในสารประกอบแร่ไพไรต์ (Pyrite FeS_2) ซึ่งติดแม่เหล็กอย่างอ่อนมาก (Feebly Magnetic) ส่วนซัลเฟอร์ที่เหลือนั้นอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ (Organic Sulphur)
 14. คาดว่าจะมีการประยุกต์ใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกในการ ทำให้น้ำบริสุทธิ์ขึ้นโดยใช้การกรองด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Filtration) และการตกตะกอนด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Flocculation)
- ตารางที่ B.1 แสดงให้เห็นแร่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งอาจแยกได้ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กต่าง ๆ กัน

B.4 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดตั้ง การูเซด

ตัวแปรของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator, WHIMS) ชนิดตั้งการูเซด (Carousel Type) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

i) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับแร่ป้อน ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ คุณภาพของแร่ป้อนที่จะทำการแยก (เช่น ปริมาณมลทินติดเหล็กในแร่ป้อน) ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ของแร่ มลทินติดแม่เหล็กในแร่ป้อนนั้น นอกจากนั้นแล้วยังได้แก่ ความหนาแน่น (Pulp Density) ของของผสม และอัตราการป้อนแร่ (Flow Rate) ฯลฯ

ii) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ WHIMS ตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการแยกมลทินติดแม่เหล็ก อัตราเร็วถึงการูเซด ชนิดเมทริกซ์ที่ใช้แรงดันและปริมาณของน้ำที่ใช้ในการฉีดแร่ติดแม่เหล็กและแร่คละให้ออกจากเมทริกซ์ การปรับช่องแบ่ง (Splitter) ในการแยกแร่ ติดแม่เหล็ก ฯลฯ

ได้ทำการศึกษาศักยภาพการทำงานของ เครื่องแยกแร่มลทิน (ที่มีธาตุเหล็กเจือปน) ติดแม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก กลุ่มแร่มลทินติดแม่เหล็กได้แก่ แร่การ์เนต หั้วรมาลีน มัสโคไวต์ และไพไรต์ ซึ่งเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็กได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ควอร์ตซ์ โดยทำการทดลองรับแร่ป้อนที่ผ่านการบดลดขนาด -60 เมช (-250 ไมครอน) ตัวแปรที่ศึกษาคืออัตราการป้อนของผสม (อัตราการไหลของแร่ป้อน) % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ (%Solid) และอัตราเร็วถึงการูเซด

B.4.1 อุปกรณ์

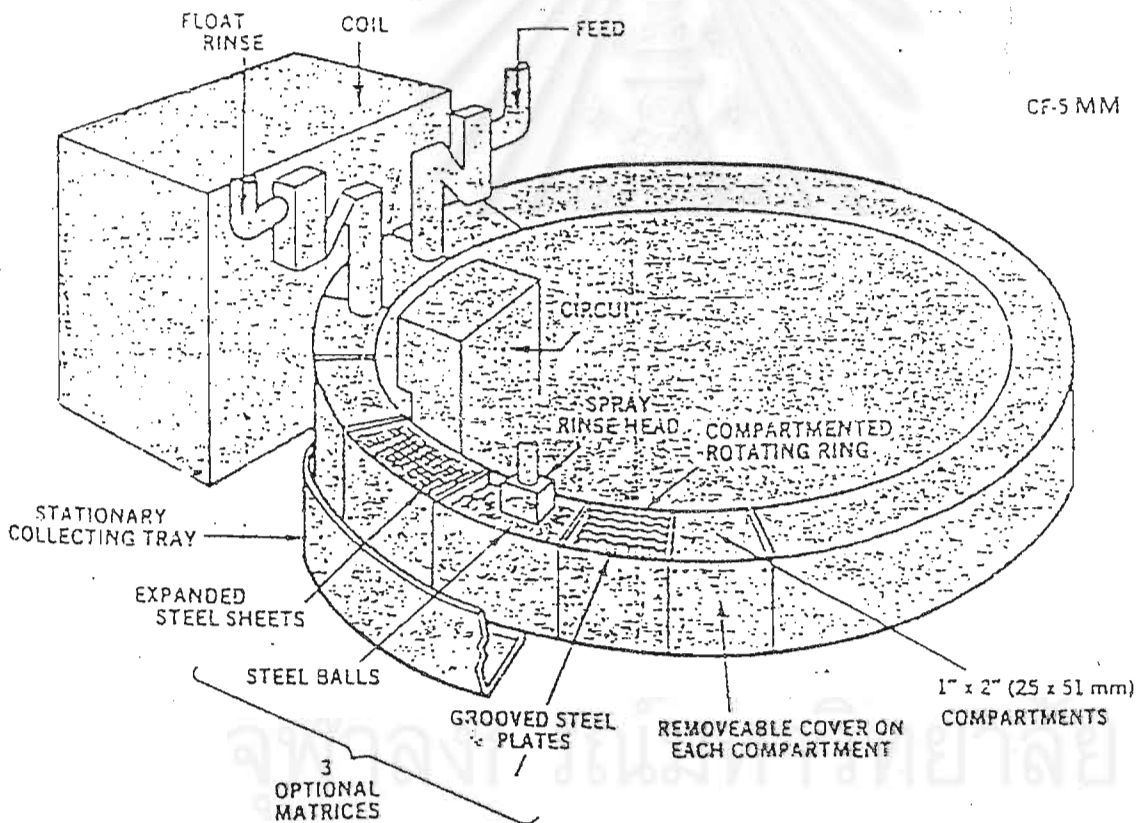
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (WHIMS) ชนิดตั้งการูเซดขนาดโรงประลองแยกแร่ ของ Eriez Magnetic Co.,Ltd. รุ่น CF-5 (ความสามารถในการทำงานขึ้นกับ ชนิดแร่ป้อนและความต้องการของการแยก ความจุของเครื่องประมาณ 225 ถึง 675 กิโลกรัมแร่แห้ง/ชั่วโมง มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

ก) ขดลวดไฟฟ้า (Electro Coil) ซึ่งผลิตสนามแม่เหล็กความเข้มสูงโดยการแปรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Ampere) หรือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt) หรือกำลังไฟฟ้า (Watt)

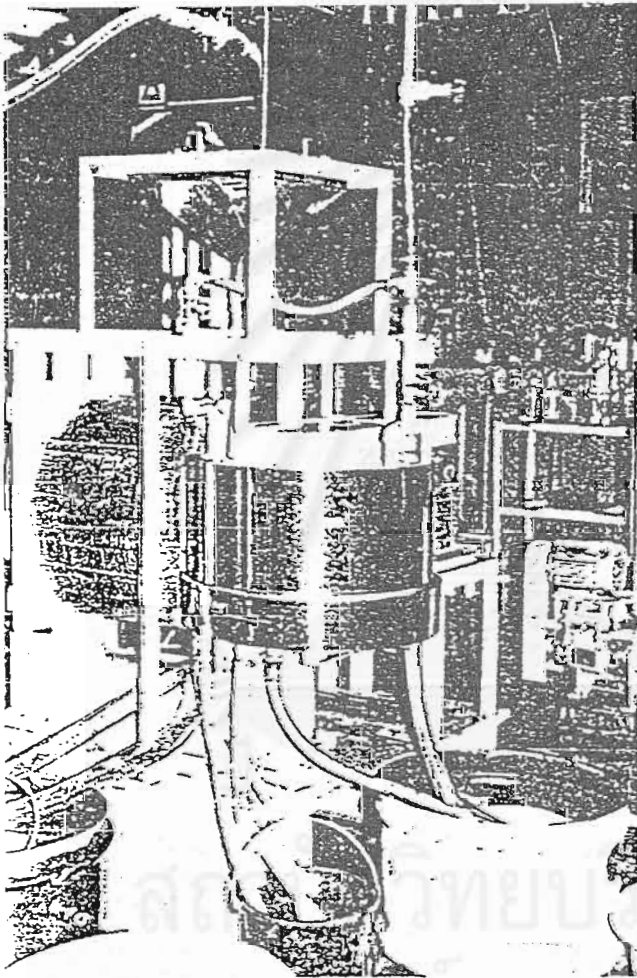
ข) ทรงกระบอกแหวนหรือถึงการูเซด (Annular Ring or Carousel) ซึ่งบรรจุเมทริกซ์แม่เหล็ก โดยหมุนทวนเข็มนาฬิกาในแนวราบ ผ่านขั้วแม่เหล็กความเข้มสูงซึ่งเป็นบริเวณทำการป้อนแร่

ค) ถาดรับแร่ผ่านการแยก (Discharge Tray) ซึ่งรับแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (Non Magnetic Mineral) แร่คละ (maddling) และแร่ติดแม่เหล็ก (Magnetic Mineral) โดยสามารถปรับระยะช่องแบ่ง (Chute) ตามต้องการแร่คละโดยปรับตัวแบ่ง (Splitter)

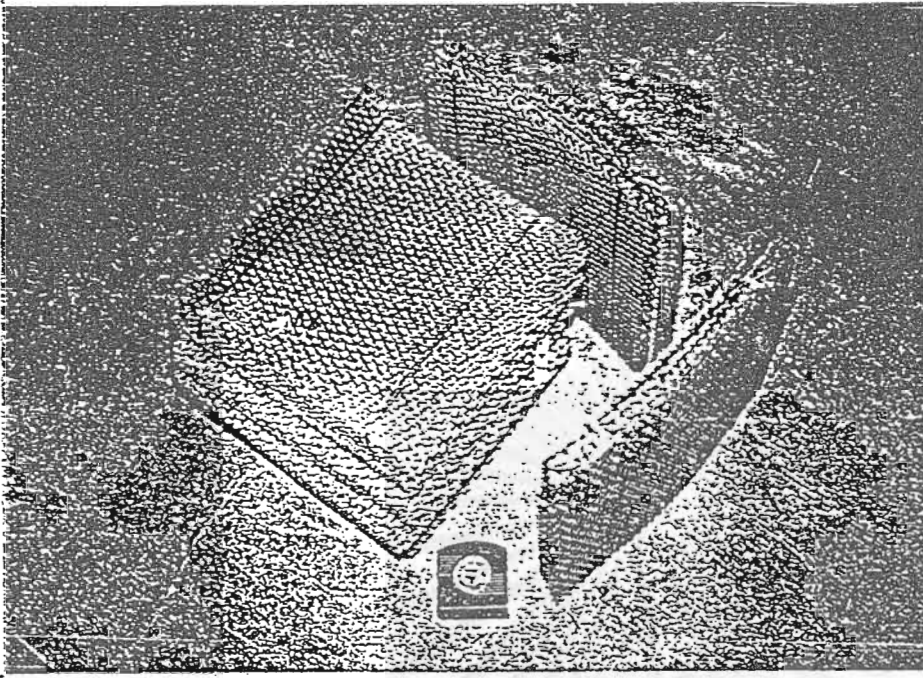
เมทริกซ์ที่ใช้เป็นชนิดตาข่ายสแตนเลส (Stainless Wire Mesh) รุ่น EX-4Z การทำงานมีอุปกรณ์ช่วยเหลือการทำงาน เช่น ถังกวน (Agitator) ของแร่ป้อนผสมน้ำ ระบบสูบของผสม (แร่ป้อนผสมน้ำ) ซึ่งสามารถแปรเปลี่ยนอัตราการป้อนของผสม (Flowrate) ตู้ควบคุม (Control Box) ซึ่งทำการควบคุมสนามแม่เหล็ก และอัตราเร็วถ่วงการหมุน (Carousel Speed) ส่วนประกอบ และอุปกรณ์ในการทำงาน ได้แสดงตาม รูปที่ B.11, B.12 และ B.13 (ก ข และ ค)



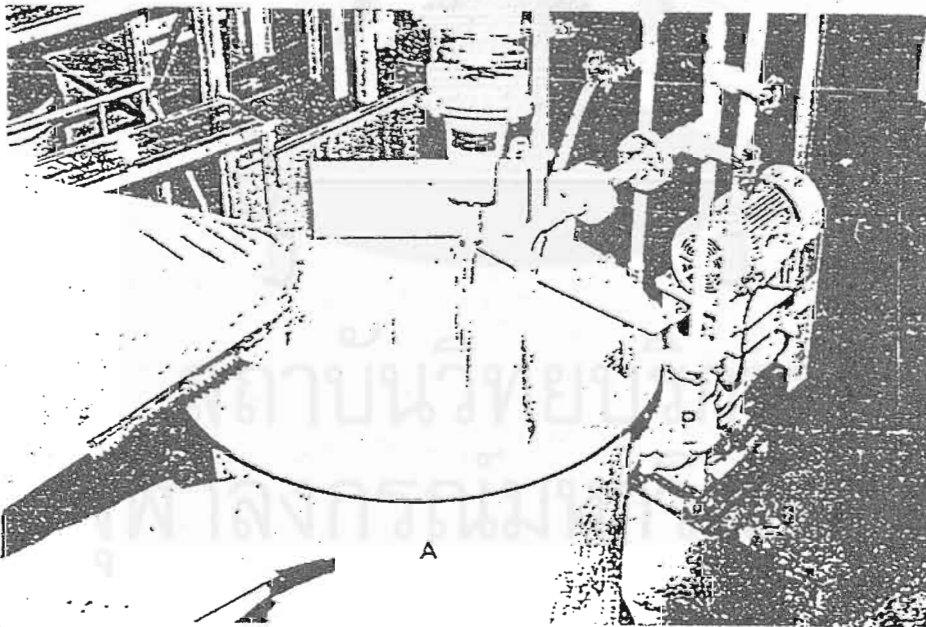
รูปที่ B.11 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องแยกแร่ WHIMS ชนิดถ่วงการหมุน



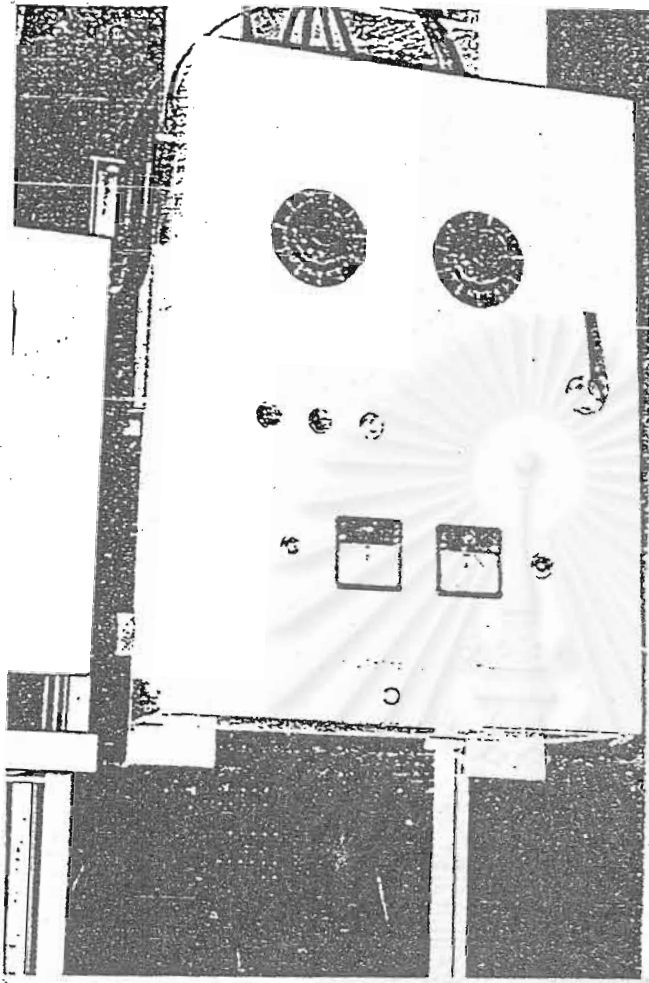
รูปที่ B.12 WHIMS ชนิดถักคาร์เซด ของ Eriez Mangtic Co., Ltd. รุ่น CF-5



ก) เมทริกซ์ชนิดตาข่ายสแตนเลส (Mx) รุ่น EX-4Z



ข) อุปกรณ์ช่วยเหลือในการทำงานถึงกวนแร่ป้อนผสมน้ำ(A)ระบบของสูบลมของผสม (P)



ค) ตู้ควบคุมสนามแม่เหล็ก และอัตราเร็วตั้งการูเซด (C)

รูปที่ B.13 อุปกรณ์ของ WHIMS ชนิดตั้งการูเซด รุ่น CF-5

ก) เมทริกซ์ชนิดตาข่ายสแตนเลส (Mx) รุ่น EX-4Z

ข) อุปกรณ์ช่วยเหลือในการทำงาน ตั้งกวนแร่ป้อนผสมน้ำ (A) ระบบสูบของผสม (P)

ค) ตู้ควบคุมการผลิตสนามแม่เหล็ก และอัตราเร็วตั้งการูเซด (C)

ภาคผนวก C

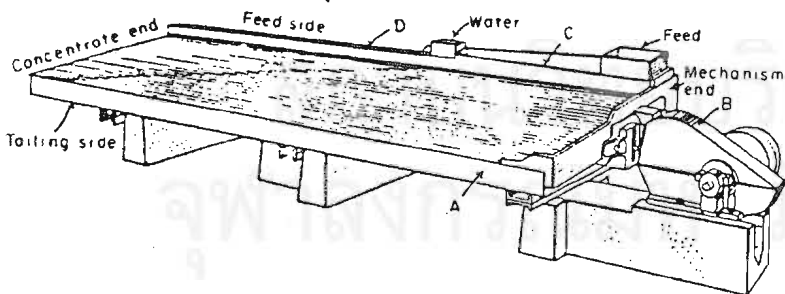
C.1 หลักในการแต่งแร่โดย Shaking Table

โต๊ะแยกแร่ (Shaking Table) เป็นอุปกรณ์แต่งแร่ชนิดหนึ่งซึ่งแยกแร่ได้ดีโดยอาศัยความต่างของความถ่วงจำเพาะ ใช้ได้กับแร่หลายขนาดโดยให้การเก็บแร่ (Recovery) และการปรุแต่ง (Enrichment) สูง

โต๊ะแยกแร่ (ดูรูปที่ C.1) ประกอบด้วยพื้นโต๊ะ (A) ตั้งอยู่บนโครงเหล็ก มีกลไกประกอบทำให้สามารถจัดพื้นโต๊ะให้เอียง มีความสูงทางด้านรางน้ำและลาดต่ำลงทางตรงข้าม แร่จะถูกป้อนลงในช่องป้อนแร่ (feed box) ลงที่ป้อนแร่ (C) น้ำล้าง (wash water) จะถูกปล่อยให้ไหลลงตามราง (D) และไหลผ่านพื้นโต๊ะโต๊ะจะสั่นตัวในแนวนอน เครื่องกลไก (B) จะทำให้โต๊ะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าช้าและกระตุกกลับข้างหลังโดยเร็ว เม็ดแร่หนักจะเคลื่อนไปข้างหน้าได้ไกลกว่าเม็ดแร่เบาและทรายจะถูกพัดออกมาทางด้านหางแร่ส่วนแร่หนักหรือหัวแร่จะออกตอนปลายอีกด้านหนึ่งของโต๊ะ

ในการเรียกส่วนต่าง ๆ ของโต๊ะมักจะเรียกด้านบนของโต๊ะ (ด้านที่สูงกว่า) ว่าด้านป้อนแร่ (feed side) ด้านที่ต่ำกว่าซึ่งแร่เบาหรือทรายไหลออกเรียกด้านหางแร่ (tailing side) ส่วนปลายด้านที่แร่หนักไหลออกเรียกด้านหัวแร่ (concentrate end) และ ปลายด้านที่ติดตั้งเครื่องกลไกเรียกด้านเครื่องกลไก (mechanism end)

โต๊ะแยกแร่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ได้สะดวก สามารถใช้เป็นได้ทั้งอุปกรณ์แต่งแร่ขั้นต้นจนถึงแต่งแร่เพื่อให้ได้หัวแร่สะอาด โดยสามารถแต่งแร่ได้ทั้งแร่ที่มีขนาดทรายจนถึงขนาดตะกอน



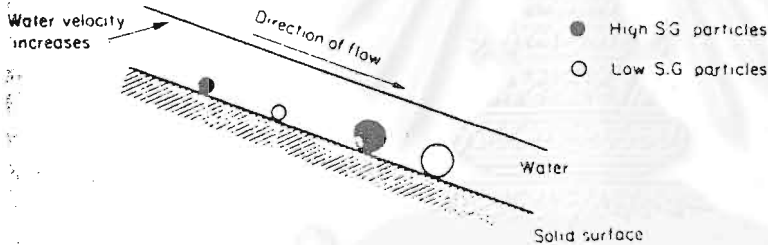
รูปที่ C.1 โต๊ะแยกแร่

ส่วนหลักการพื้นฐานในการแยกแร่ด้วยโต๊ะแยกแร่ มีดังหัวข้อต่อไปนี้

C.1.1 การแยกแร่โดยใช้ฟิล์มน้ำไหลบาง ๆ

น้ำที่ไหลเป็นแผ่นน้ำบาง ๆ (thin film) ลงมาตามพื้นเอียงผิวเรียบซึ่งสมมุติว่าอยู่คงที่ โดยการไหลเป็นแผ่น (laminar flow) จะมีความชันของความเร็ว (velocity gradient) โดยเป็นศูนย์ที่ด้านล่าง และค่ามากที่สุดที่ผิวบนของแผ่นน้ำบางนั้น เมื่อนำอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนกันเข้าไปอยู่ในแผ่นน้ำบางนี้ จะเกิดการจัดตัวของมันเองตามพื้นเอียงโดยมีลำดับดังต่อไปนี้ (ดูรูป C.2 ประกอบ)

- 1) แร่เม็ดละเอียดหนัก (fine heavies)
- 2) แร่เม็ดหยาบหนักและแร่เม็ดละเอียดเบา
- 3) แร่หยาบเบา

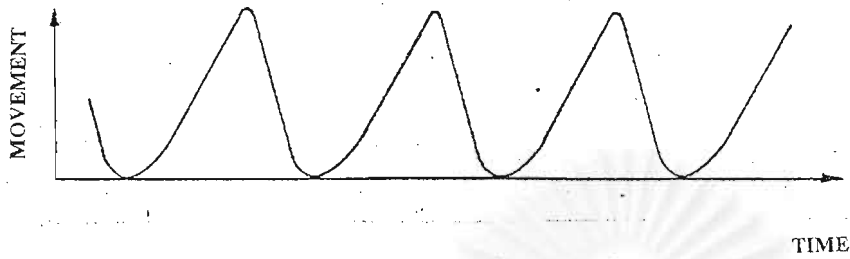


รูปที่ C.2 การจัดตัวของเม็ดแร่ในฟิล์มน้ำไหล (flowing film)

C.1.2 การเคลื่อนที่กลับไปมาของโต๊ะสั่นอย่างไม่สมมาตร

การเคลื่อนที่กลับไปมาอย่างไม่สมมาตรของโต๊ะสั่นสามารถทำได้โดยใช้กลไกขับโต๊ะให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าช้าและกระตุกกลับข้างหลังโดยเร็วตามแนวยาวของโต๊ะ อนุภาคจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในขณะที่โต๊ะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และในขณะที่โต๊ะเคลื่อนกลับหลังอย่างรวดเร็วนั้น อนุภาคจะยังคงเลื่อนไปข้างหน้าด้วยโมเมนตัมของมันเอง ซึ่งอนุภาคที่หนักกว่าจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าอนุภาคที่เบากว่า

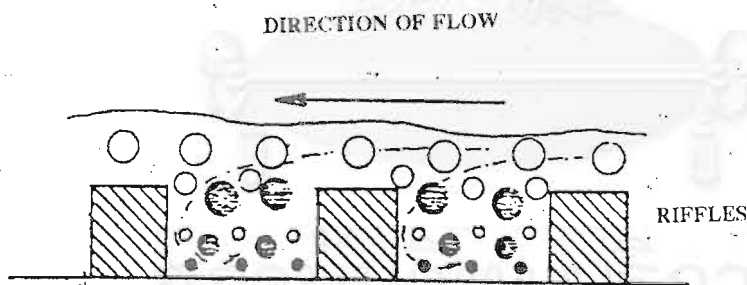
รูปที่ C.3 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่ของโต๊ะในอุดมคติ เขียนระหว่างระยะที่โต๊ะเคลื่อนที่กับเวลา



รูปที่ C.3 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของโต๊ะสั้นในอุดมคติ

C.1.3 การใช้ลูกคั่น (Riffing)

วัตถุประสงค์ที่จะทำการแยกด้วยโต๊ะแยกแร่ เมื่อแร่กระจายลงบนพื้นโต๊ะด้วยการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันและไหลด้วยแรงโน้มถ่วง อนุภาคจะเกิดการแบ่งชั้นตามแนวตั้งเนื่องจากการสั้นของโต๊ะอยู่หลังลูกคั่น (riffle) ลูกคั่นจะถูกออกแบบให้วางตัวขนานกันไปตามแนวยาวของโต๊ะ โดยมีความหนาที่สุดทางด้านป้อนแร่และค่อย ๆ บางลงไปทางด้านตรงข้าม อนุภาคจะเกิดการแบ่งชั้นโดยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะก่อน แล้วต่อมาจึงจัดลำดับตามขนาด ดังแสดงในรูปที่ C.4



รูปที่ C.4 แสดงการจัดแบ่งชั้นของเม็ดแร่ตามแนวตั้งซึ่งอยู่ระหว่างลูกคั่น

น้ำที่ไหลผ่านไปนในลักษณะที่เป็นการไหลขวางโต๊ะ (cross water) ระยะห่างของลูกคั่น และการจัดแบ่งชั้นของอนุภาคที่อยู่ระหว่างลูกคั่น ซึ่งเกิดจากการไหลวนของน้ำแบบ turbulent ในแต่ละส่วนของลูกคั่น ซึ่งจะช่วยให้เกิดการแยกแร่ให้ดีขึ้น

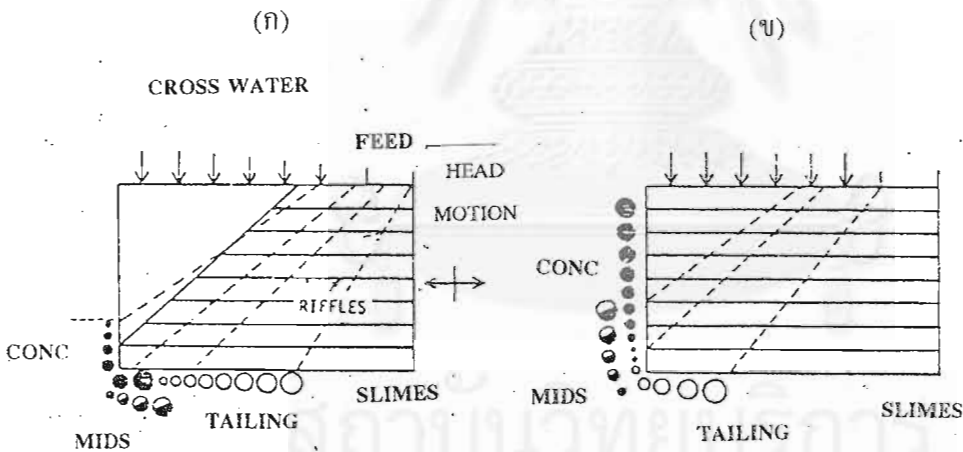
เนื่องจากการแยกแร่และการจัดแบ่งชั้นของเม็ดแร่ไม่อาจทำได้สำเร็จภายในลูกคั่นเพียงอันเดียว ดังนั้นจึงต้องมีลูกคั่นหลาย ๆ อันเป็นชุด ซึ่งวงจรของการเกิดการแบ่งชั้นและการตกตัว (hindered settling) จะเกิดขึ้น ๆ กัน จากลูกคั่นหนึ่งไปยังอีกลูกคั่นหนึ่ง

C.1.4 การเคลื่อนที่ของเม็ดแร่

ผลลัพธ์สุดท้ายของการเคลื่อนที่ของเม็ดแร่เนื่องจากการกระทำทั้ง 3 ประการดังกล่าวข้างต้น แสดงในรูปที่ C.5 (ก) เป็นโต๊ะที่ใช้ลูกคั่นแบบปูบางส่วน (partially riffled)

สำหรับการใช้โต๊ะแยกแร่ชนิดที่ปูลูกคั่นเต็มโต๊ะ (fully riffled) ผลลัพธ์ของการแยกแร่จะได้ดังรูปที่ C.5 (ข) ซึ่งอนุภาคที่เก็บได้จากส่วนที่เป็นหัวแร่และแร่คละ จะจัดเรียงตัวตรงข้ามกับรูป C.5 (ก)

สำหรับอนุภาคที่มีขนาดละเอียดมาก (ultrafines) จะถูกน้ำพัดออกและไปอยู่ในส่วนที่เรียกว่า ตะกอน (slimes) ซึ่งปกติแล้วก่อนป้อนแร่เข้าโต๊ะสันจะมีการแยกเอาตะกอนออกไปจากแร่ป้อนเสียก่อน



รูปที่ C.5 ผลลัพธ์สุดท้ายของการเคลื่อนที่ของเม็ดแร่บนโต๊ะแยกแร่

(ก) แบบลูกคั่นปูบางส่วน (แบบ Wilfley)

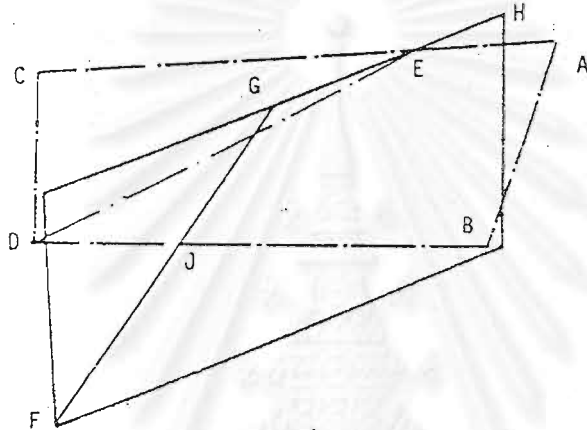
(ข) แบบลูกคั่นปูเต็มโต๊ะ

C.2 รูปร่าง การทำงานและชนิดของโต๊ะชั้นแยกแระ

โต๊ะแยกแระมีส่วนที่แตกต่างกันใหญ่ ๆ คือ รูปร่างของพื้นโต๊ะและกลไกที่ใช้ในการขับเคลื่อนโต๊ะ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่แบบไม่สมมาตร (assymetric reciprocating motion)

C.2.1 รูปร่างของพื้นโต๊ะ

มีรูปร่างที่เป็นพื้นฐานอยู่ 2 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular desk) และแบบสี่เหลี่ยมด้านขนาน (Diagonal desk) เปรียบเทียบได้ดังรูปที่ C.6



รูปที่ C.6 การเปรียบเทียบพื้นที่ซึ่งมีผลต่อการแยกแระ (Effective concentrating area) ของโต๊ะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมด้านขนาน

สำหรับพื้นโต๊ะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่ที่เป็นส่วนของลูกคั่น คือพื้นที่ ABDE หัวแระจะถูกส่งออกระหว่าง C และ D

สำหรับพื้นโต๊ะแบบสี่เหลี่ยมด้านขนาน พื้นที่ของลูกคั่น คือพื้นที่ HGFB ซึ่งมีพื้นที่มากกว่าแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าประมาณ 40 % (พื้นที่ BFJ) หัวแระถูกปล่อยออกระหว่าง D และ F แบบนี้ให้ข้อดีตรงที่การไหลของวัตถุดิบไปตามธรรมชาติ ทำให้ใช้ลูกคั่นบางกว่าได้

โดยทั่วไปพื้นโต๊ะแบบสี่เหลี่ยมด้านขนานจะมีความจุ (capacity) มากกว่า หัวแระที่ได้มีความสมบูรณ์ (grade) สูงกว่า นอกเหนือจากแถบแระที่กว้างกว่า และลดปริมาณของแระคละลงและยังสามารถใช้เก็บอนุภาคขนาดละเอียดกว่าได้ด้วย

C.2.2 กลไกขับเคลื่อนโต๊ะ

มีกลไกที่ใช้อยู่ 2 แบบ แบบแรกกลไกทำเป็นเคสซิ่ง (casing) ติดตั้งบนโครง การเคลื่อนโต๊ะแบบไม่สมมาตรกันสามารถทำได้ โดยใช้ทอกเกิล (toggle) และพิทแมน (pitman) อีกแบบเป็นแบบที่กลไกติดกับพื้นโต๊ะ และการสั่นได้จากการหมุนน้ำหนักลูกเบี้ยว (eccentric weights) ซึ่งแบบนี้จะเหมาะกับโต๊ะแบบหลายชั้น (multi-decking)

C.3 การปฏิบัติการด้วยโต๊ะแยกแร่

การแยกแร่ด้วยโต๊ะแยกแร่สารหรือแร่ 2 ชนิดนั้น ต้องมีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันอย่างพอเพียง ถ้า concentration criterion ไม่มากกว่า 1.25 การแยกซึ่งอาศัยความถ่วงจำเพาะอย่างเดียว จะไม่สมบูรณ์ เช่น ในกรณีของการแยกแร่ตะและหางแร่ ถ้า concentration เท่ากับหรือมากกว่า 2.5 การแยกจะมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

อย่างไรก็ตามถ้ามีความแตกต่างทางด้านรูปร่างของอนุภาคอย่างเด่นชัด การแยกสามารถทำได้ แม้ว่า concentration criterion จะเข้าใกล้ 1.0

ลักษณะพิเศษของโต๊ะแยกแร่ คือว่า เมื่อรักษา operating conditions ให้ถูกต้อง table performance จะดีเลิศอย่างชนิดที่หาเครื่องแยกแร่แบบอื่นเทียบไม่ได้ แต่ถ้า operating conditions เกิดไม่สมดุลย์ table performance ก็จะแยกลงมากเช่นเดียวกัน

Parameters ที่มีผลต่อการทำงานของโต๊ะ แสดงในตารางที่ C.1

ตารางที่ C.1

Parameters Affecting Operation of Shaking Tables

Machine	Feed
Stroke: length and frequency	Solids characteristics
Inclination: side and longitudinal	- Size Range
Riffle Pattern	- Capacity
Deck Surface	- Cut Points
	Pulp Characteristics
	- Flow rate
	- Density
	- Wash water

C.3.1 Machine Parameters

การออกแบบและลักษณะทางฟิสิกส์ของโต๊ะแยกแร่ชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากการแต่งแร่แต่ละชนิดจะให้ performance แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามผลของ machine parameters ต่าง ๆ ที่มีต่อ table performance โดยทั่วไปจะคล้ายคลึงกัน

C.3.1.1 Stroke : stroke and speed โดยทั่วไป ความยาวของ stroke และ speed ขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะและรูปร่างของเม็ดแร่ (shape)

Strokes ที่ยาวโดยให้ speed ต่ำ จะเหมาะกับการแต่งแร่ที่มีขนาดหยาบกว่า ในทางกลับกัน หากให้ strokes สั้น และให้ speed สูง จะแต่งแร่ละเอียดกว่าได้ดีกว่า

ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการแต่งแร่ที่แตกต่างกันด้วยโต๊ะแยกแร่ แสดงในตารางที่ C.2 ใด ๆ ก็ตาม conditions ที่ดีที่สุดจะพิจารณาได้จากการแต่งแร่ ซึ่งให้ผลลัพธ์สุดท้ายตามที่ต้องการ

ตารางที่ C.2

Typical Operating Strokes

	Length mm	Frequency rpm
Coarse Ore	12-25	260-300
Fine Ore	8-20	280-320
Coal	20-35	260-285

การปรับ parameters เหล่านี้ ในขณะที่ทำงานจะแตกต่างกันระหว่างโต๊ะแต่ละแบบ แบบ Concenco table จะปรับความยาวของ stroke ได้ยากมาก โดยปกติจะตั้งมาจากโรงงานเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง แบบ Holman table จะสามารถปรับได้ง่ายในขณะที่ใช้งาน

การแปลความหมายของความสัมพันธ์ของความยาวของ stroke โดยมองอย่างตรง ๆ อาจจะ ทำให้เกิดการเข้าใจผิดขึ้นได้ แต่อาจอธิบายได้ดังนี้ stroke ที่ยาวจะทำให้เกิดแถบของหัวแร่ได้เร็วกว่า stroke สั้น ดังนั้นแถบของหัวแร่จะแคบกว่า เมื่อ capacity เท่ากัน ด้วยเหตุผลนี้ ในการแต่งหัวแร่ชั้นต้นจะตั้ง stroke ให้ยาวที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (ซึ่งจะให้ capacity ต่อโต๊ะมากกว่า) ในขณะที่การแต่งให้ได้หัวแร่สะอาดจะตั้ง stroke ให้สั้นที่สุดที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะให้แถบของหัวแร่กว้างกว่าและมีโอกาสที่จะตัดแยกเป็นแถบของหัวแร่และแร่ละเอียดได้ดีกว่า

C.3.1.2 Side and Longitudinal Tilt Side tilt คือความเอียงของพื้นโต๊ะจากด้าน feed side ไปยังด้าน tailing side ในอุดมคติจะตั้ง side tilt ให้มีค่าน้อยเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้ได้การกระจายตัวที่ดีของวัตถุดิบโต๊ะ การเพิ่มการไหลโดยการเพิ่มความเอียง เป็นการเพิ่ม capacity ของโต๊ะและช่วยในการประหยัดน้ำด้วย แต่จะได้แถบของ products ต่าง ๆ แคบลง ทำให้การแยกแถบต่าง ๆ ให้แน่นอนทำได้ยาก ลักษณะนี้จะใช้ได้ในการแต่งแร่เพื่อเก็บหัวแร่ชั้นต้น ซึ่งให้ความเอียงชันมากและใช้น้ำน้อย แต่ในการแต่งหัวแร่สะอาด จะให้ side tilt น้อยกว่าและใช้น้ำมากกว่า

Longitudinal tilt คือ จำนวนความเอียงสูงขึ้นของพื้นโต๊ะวัดตามแนวของการเคลื่อนที่จาก mechanism end ไปยัง concentrate end

โดยจัดความเอียงให้พอเหมาะ ซึ่งอนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะตกไปได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ การแยกจะเกิดได้ดีขึ้น แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง จะถูกบังคับให้กระจายเป็นแถบกว้างและบาง ซึ่งจะสามารถแยกเป็นหัวแร่ แร่คละ และหางแร่ได้ชัดเจนมากขึ้น ความเอียงที่ถูกต้องจะแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของแร่ป้อน และจะมีค่ามากที่สุดสำหรับแร่ป้อนที่หยาบที่สุด และมีความถ่วงจำเพาะสูงสุด

Longitudinal tilt ไม่ควรจะน้อยกว่าความเร็วของ riffles มิฉะนั้นน้ำมีแนวโน้มจะไหลไปทางปลาย riffles แทนที่จะไหลเข้าไป longitudinal tilt ที่เหมาะสมหาได้จากการทดลอง เมื่อตั้งไว้ครั้งหนึ่งแล้วไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนใหม่เว้นเสียแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมายในลักษณะของแร่ป้อน เมื่อทำการปรับ longitudinal tilt จะต้องระมัดระวังป้องกันการโค้งหรือแอ่นตัวของโต๊ะแยกแร่

ความเอียงของโต๊ะถ้าสูงมาก วัตถุจำนวนมากจะถูกปล่อยออกทางด้าน tailing side หากความเอียงน้อยจะได้ผลตรงกันข้าม ดังนั้น ถ้าหัวแร่ถูกปล่อยออกทางด้าน tailing side ทั้ง side tilt และ longitudinal tilt อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่าง ควรจะต้องปรับให้น้อยลง ถ้าหางแร่ไปออกด้าน concentrate side ก็ต้องปรับในทางตรงกันข้าม

ขอบเขต (range) ของทั้ง longitudinal tilt และ side tilt จะแปรผันตาม size range (ขอบเขตของขนาด) ของแร่ป้อน ตามตารางที่ C.3 แสดงขอบเขตของความเอียงซึ่งได้จากคู่มือการทำงาน ของ Deister

ตารางที่ C.3

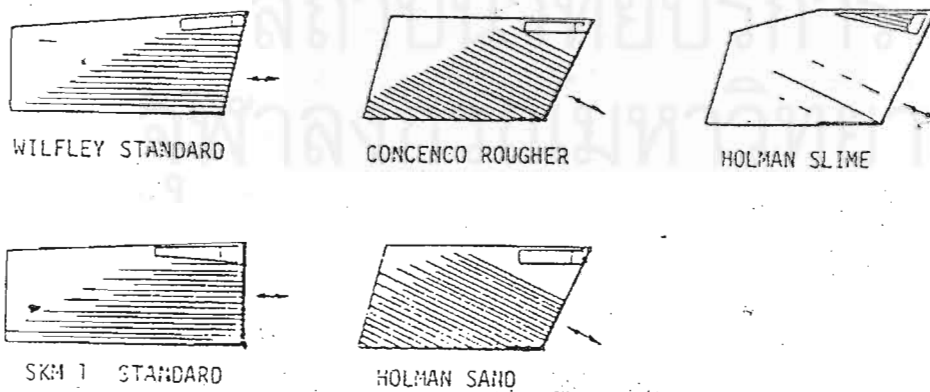
Recommended Slopes for Shaking Tables

Size of Feed	Deck	Deck
	Longitudinal Tilt mm per metre	Side Tilt mm per metre
Coarse Sand	11-25	20-25
Medium Sand	9-15	15-30
Fine Sand	2-9	8-20
Slime	1-7	4-12

C.3.1.3 Riffle Pattern พื้นโต๊ะมีหน้าที่โดยทั่วไป 3 อย่างคือ

- เพื่อเก็บแร่หนักที่อยู่บนโต๊ะ
- เพื่อส่งผ่านอากาศจัดแบ่งชั้นของพื้นโต๊ะไปยัง pulp อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด
- เพื่อให้การไหลของน้ำตามขวางเกิดความปั่นป่วนอย่างพอเพียงแก่การแยกขนาดของแร่ที่อยู่ระหว่างช่อง riffles และชะล้างเอาอนุภาคขนาดเล็กที่มีน้ำหนักเบาแยกออกไป

รูปแบบของ riffle ต่าง ๆ จะจัดไว้เฉพาะให้เหมาะสมที่สุดกับแร่ป้อนที่ต้องการแยกและจะเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้งานและผู้ผลิต รูปแบบที่ใช้กันแพร่หลาย แสดงดังรูปที่ C.7



รูปที่ C.7 Riffle Patterns on Various Tables

Riffles ควรจะมีความลึกทางด้าน mechanism end อย่างพอเพียง เพื่อให้การจัดแบ่งชั้นดำเนินต่อไป และหลังจากนั้นจะป้องกันอนุภาคที่ตกตัวแล้วหลุดออกไป การเพิ่มความลึกของ riffles จากจุดนี้จะมีผลต่อ capacity น้อยมาก และอาจจะไปลดประสิทธิภาพของการแยกลงด้วย ความลึกของ riffles จะน้อยลงไปเรื่อย ๆ ไปทางด้าน concentrate end เพื่อให้ cross water พาเอาแร่เบาที่อยู่ทางผิวบนของชั้นแร่ออกไป

โต๊ะที่มี riffles แบบบางส่วน (Partially riffled decks) จะเหมาะที่สุดกับการแต่งแร่ที่แร่ป้อนเป็นแบบธรรมชาติหรือแร่ป้อนที่แบ่งเป็นพวกแล้ว และสำหรับใช้ในงานแต่งหัวแร่สะอาด

สำหรับโต๊ะที่มี riffles เต็มพื้นโต๊ะ (Fully riffled decks) เหมาะสำหรับแต่งแร่ป้อนที่คัดขนาดแล้ว และใช้ในงานแต่งหัวแร่ชั้นต้น

C.3.1.4 Deck Surface วัสดุที่ใช้ทำผิวของพื้นโต๊ะมีหลายชนิด แต่ไม่ว่าจะเป็นชนิดไหนก็ตามจะต้องเป็นชนิดเดียวที่ให้อากาศต่าง ๆ ของโต๊ะเกิดขึ้นอย่างดีและน้ำต้องซึมผ่านไม่ได้ วัสดุที่ใช้โดยทั่วไป คือ Petroleum เกรด battleship, ยางธรรมชาติ, ยางสังเคราะห์, Urethane , Zircon impregnated urethane และ fibreglass

โต๊ะแยกแร่ขนาดทราย วัสดุที่ใช้ทำผิวพื้นโต๊ะสามารถเลือกโดยใช้คุณลักษณะที่ทนต่อการขัดสี (wear characteristics) เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าใช้ในการแต่งแร่ขนาดละเอียดการเลือกวัสดุที่ใช้จะมีความสำคัญมากขึ้น

C.3.2 Solid Characteristics

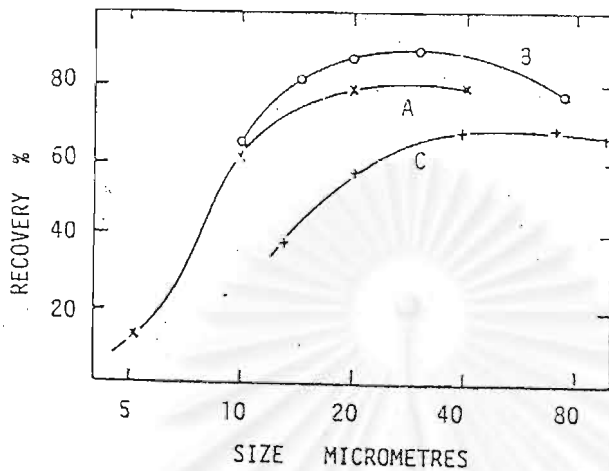
C.3.2.1 Size Range ขอบเขตของขนาดเม็ดแร่ที่จะแต่งด้วยโต๊ะแยกแร่มีความสำคัญมาก การแต่งแร่ที่มีทุกขนาดปนกันอยู่ ไม่นิยมใช้โต๊ะแยก

ขีดจำกัดของขนาดที่สามารถใช้โต๊ะแยกแร่ได้อย่างได้ผลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะแต่งถ้าเป็นสินแร่จะจำกัดไม่เกิน 3 มม. แม้ว่าการใช้โต๊ะที่มี riffles เต็มพื้นโต๊ะจะให้ผลต่อการแยกของอนุภาคที่ใหญ่ถึง 9 มม. ก็ตาม ในปัจจุบันพยายามใช้โต๊ะแยกแร่ที่มีขนาดไม่เกิน 2 มม.

การล้างถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 15 มม. ก็นิยมใช้โต๊ะแยกแร่แม้ว่าการแยกจะมีผลถึงขนาด 30 มม. แต่การใช้อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหมาะกับการแต่งแร่หยาบจะให้ capacity สูงกว่า

ขนาดที่ละเอียดที่สุดที่จะใช้โต๊ะแยกแร่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของ cross water และการเคลื่อนที่ของโต๊ะ และยังขึ้นอยู่กับขอบเขตของขนาดแร่ป้อน และปริมาณของ ultrafines ที่มีอยู่ โดยที่

Terry ได้กล่าวไว้ว่า ขีดจำกัดของขนาดที่เล็กที่สุด คือ 40 ไมครอน-แต่ก็มีโต๊ะหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการแต่งแร่ที่ละเอียดกว่า 20 ไมครอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แต่งแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง เช่น cassiterite , wolframite หรือ iron ore ดังแสดงในรูปที่ C.8



รูปที่ C.8 Recovery by Size of Typical Materials on a Shaking Table

(A) cassiterite (B) wolframite (C) iron ore

C.3.2.2 Feed Preparation แร่ที่ป้อนลงโต๊ะแยกแร่ อาจแบ่งได้ดังนี้

- ก) เป็นแบบธรรมชาติ (natural)
- ข) ผ่านการคัดขนาดแล้ว (sized)
- ค) ผ่านการแยกพวกด้วยน้ำ (hydraulically classified)
- ง) เป็นส่วนที่ได้จากการแต่งอันก่อน (a product from a previous concentration operation)

การเตรียมแร่ป้อนลงโต๊ะแยกแร่ มีความสำคัญต่อ performance ของโต๊ะมาก แร่ป้อนควรจะผ่านการคัดขนาดหรือคัดพวกด้วยน้ำก่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโต๊ะที่ใช้ วิธี Classification จะเป็นวิธีที่ดีที่สุด

เช่นในกรณีที่ขนาดของแร่ป้อนมีขอบเขตกว้างมาก และไม่ได้ทำการแยกขนาด จะมีส่วนที่อยู่บริเวณขอบเขตที่สูญหายไป ในกรณีที่ต้องใช้ความปั่นป่วนของน้ำสูง เพื่อพัดเอาอนุภาคที่หยาบไหลข้าม riffle จะเป็นผลให้อนุภาคที่ละเอียดมากหลุดออกไปอยู่ในส่วนหางแร่ด้วย

ในการแต่งแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะของแร่หนักและแร่เบาแตกต่างกันมาก และแร่ละมุนน้อยหรือไม่มีเลย ในบางครั้งอาจไม่ต้องมีการเตรียมแร่ป้อนก่อน แต่อย่างไรก็ตามการแต่งแร่ที่เป็นสินแร่ธรรมชาติโดยไม่ทำการเตรียมแร่ป้อน เป็นสิ่งที่ไม่ควรทำ

ในการแต่งหัวแร่ชั้นต้น ซึ่งเกรดของหัวแร่มีความสำคัญน้อยกว่า Recovery การแยกเอาตะกอนออก (desliming) ก็พอเพียงในการเตรียมแร่ป้อนแล้ว ซึ่งหัวแร่ชั้นต้นเกรดต่ำสามารถนำไปทำการแยกพวกก่อนนำไปแต่งเป็นหัวแร่สะอาดต่อไป

การคัดขนาดแร่โดยใช้ screens เพื่อใช้ในการแต่งหัวแร่ชั้นต้นมักไม่นิยมทำกันซึ่งเป็นการไม่ประหยัดและเกินความจำเป็น

วิธี Classification จะนิยมใช้มากที่สุด ซึ่งถ้าการ Classification ดี จะทำให้การทำงานของโต๊ะแยกแร่ดีมาก โดยเฉพาะจะได้ Enrichment สูง จากการแต่งสินแร่ที่แต่งยากกับส่วนของแร่ละเอียดดี หากการ Classification ทำไม่ดี จะเกิดผลตรงกันข้าม

ผู้แต่งแร่ดิบจำนวนมากใน Cornwall และที่อื่น ๆ ใช้ hydro-classification ในการเตรียมแร่ป้อน โดยแยกส่วนที่เป็นตะกอนไว้ต่างหาก จำนวนของส่วนต่าง ๆ ที่แยก ขึ้นอยู่กับขอบเขตของขนาด (size range) และลักษณะของแร่ป้อน (nature of the table feed) การทำงานบางอย่างจะแยกขนาดแร่ออกเป็นส่วนต่าง ๆ เพื่อป้อนลงโต๊ะแต่ละตัว ซึ่งเป็นการยุ่งยากมากเกินไป จุดมุ่งหมายของ Classification ควรเป็นการทำ products ที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย พอแก่การแต่งแร่ให้ได้ผลดีที่สุดเท่านั้น การแยกขนาดเป็นช่วงต่าง ๆ เพื่อแยกป้อนลงโต๊ะไม่ควรเกิน 5 หรือ 6 ส่วน ตัวอย่างการเตรียมแร่ป้อนจากสินแร่แทนทาลัมที่แต่งยากมีเกรดต่ำ สินแร่นี้จะบดให้แร่หลุดเป็นอิสระที่ขนาด 0.5 มม. ในวงจรการบดแร่ที่ใช้ screens เพื่อเตรียมแร่ป้อนสำหรับโต๊ะแยกแร่ ดังนี้

ก) ไม่มีการเตรียมแร่ป้อน แรมีขนาด $-500 + 0$ ไมครอน

ข) แยกเอาตะกอนออก (deslimed) ด้วย cyclones จะได้แร่ส่วนที่มีขนาด $-500 + 40$ ไมครอน นำไปแต่งด้วยโต๊ะแยกแร่ และส่วนที่มีขนาด -40 ไมครอน นำไปแต่งด้วยอุปกรณ์อย่างอื่น

ค) แยกเอาตะกอนออกและคัดขนาด (screen) ที่ 150 ไมครอน นำส่วนที่มีขนาด $-500 + 150$ ไมครอน และ $-150 + 40$ ไมครอน ไปแยกแต่งด้วยโต๊ะแยกแร่ ส่วนพวก -40 ไมครอน ไปแต่งแบบเดียวกับข้อ ข).

ง) แยกเอาตะกอนออกแล้วทำการแยกพวกด้วยน้ำออกเป็น 4 ส่วน แล้วนำไปแต่งด้วยโต๊ะแยกกัน พวกตะกอนนำไปแต่งแบบเดียวกับข้อ ข).

ข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับดังแสดงในตารางที่ C.4 ปรากฏว่าวิธีเตรียมแร่ป้อนโดย Classification ให้ผลดีที่สุด

ตารางที่ C.4

Comparative performance of Table Plant Treating low Grade Tantalum
Ore with Feed Prepared by Different Methods

Feed Preparation Method	Conc. Grade	Recovery
Natural Feed	0.522	69.9
Deslimed Only	0.648	76.9
Deslimed and Screened	0.695	77.6
Deslimed and Hydrosized	0.723	79.8

C.3.3.2 Capacity capacity ของโต๊ะแยกแร่ พิจารณาโดย

ก) อัตราเร็วการแยกของแร่มีค่า

ข) อัตราการนำวัสดุที่ถูกแยกแล้วออกจากโต๊ะ

อัตราเร็วของการแยกของอนุภาคขึ้นอยู่กับ concentration criterion ขนาดอนุภาคของแร่มีค่ากับแร่กากที่สัมพันธ์กัน และ degree of locking หาก concentration criterion มีค่าสูงกว่า การแยกจะเร็วกว่าและ capacity จะสูงกว่า การเตรียมแร่ป้อนได้อย่างถูกต้อง โดยที่แร่หนักขนาดละเอียดสามารถแทรกทะลุเข้าไปในแร่กากขนาดหยาบกว่าได้โดย interstitial trickling จะทำให้การแยกของอนุภาคเร็วขึ้น

อนุภาคขนาดหยาบกว่าสามารถแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าอนุภาคขนาดละเอียดเมื่อใช้ stroke ยาวกว่า เป็นเหตุให้การนำส่วนที่แยกแล้วออกจากโต๊ะจะเร็วกว่าและจะเพิ่ม capacity ของโต๊ะด้วย

ตารางที่ C.5 แสดง capacity โดยประมาณของโต๊ะแยกแร่แบบมาตรฐานที่สัมพันธ์กับการแยกของแร่ที่หลุดเป็นอิสระแล้ว 2 ชนิด มี concentration criterion 2.5 หรือมากกว่า

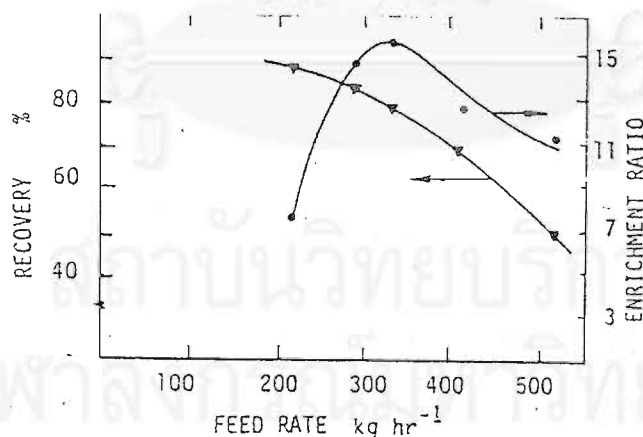
ตารางที่ C.5

Approximate Capacity of a Shaking Table

Particle Size Range Micrometres	Capacity t/h
750-250	1.5-3
400-150	1.0-2
200-75	0.5-1
100-40	0.2-0.5



อัตราการป้อนแร่ที่สูงมากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพของโต๊ะเสียไปอย่างมาก ดังแสดง
ในรูปที่ C.9



รูปที่ C.9 Effect of Feed rate the Separation of Fine Tin on a Holman table
(Bogdanov 1983).

C.3.3 Fluid characteristics

C.3.3.1 Flow rate สิ่งสำคัญอันหนึ่งในการใช้โต๊ะให้มีประสิทธิภาพ คือการไหลอย่างสม่ำเสมอของ pulp และ wash water (น้ำ) ที่ป้อนลงโต๊ะ

ในขณะที่วัตถุกระจายตัวบนโต๊ะ และครอบคลุมส่วนใหญ่ของพื้นโต๊ะ สัดส่วนของวัตถุที่ปล่อยออกทางด้าน concentrate end กับที่ปล่อยออกทางด้าน tailing side จะแปรผันไปตาม flow rate ของ fluid ที่เปลี่ยนแปลงไปถ้าสถานะอื่น ๆ คงที่

แถบของแร่คละมีขนาดชัดเจนพอดีสำหรับ flow rate ที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย การเพิ่มอัตราการป้อนแร่หรือเกรดจะทำให้แถบของแร่คละขยายกว้างออกไปทางด้าน concentrate splitter (cutter) แร่คละจะเข้าไปอยู่ในหัวแร่ ทำให้หัวแร่มีเกรดต่ำลง อย่างไรก็ตามการสูญเสียของแร่คละไปในหางแร่ไม่เหมือนกับในหัวแร่ ถ้าอัตราการป้อนแร่เพิ่มขึ้นมากเกินไป แถบของแร่คละจะขยายกว้างออกไปทางด้าน tailing splitter

C.3.3.2 Feed Density capacity ของโต๊ะภายในสถานะการไหลของ pulp ที่คงที่เป็นฟังก์ชันของ pulp density ของแร่ป้อน ต้องควบคุม pulp ไว้ที่ feed density เพื่อให้มี fluid พอเพียงที่จะให้เกิดการจัดแบ่งชั้นอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้เกิด dilation ระหว่าง riffles

pulp density ที่ดีที่สุดหรือสูงที่สุด ซึ่งยอมรับได้สำหรับการแยกแร่ต่าง ๆ สามารถพิจารณาได้โดยการตรวจสอบ (examination)

โดยทั่วไปการแต่งแร่ซึ่งเม็ดแร่มีขนาดทราย จะใช้ pulp density น้อยกว่า 25 % solids ในขณะที่การแต่งแร่ขนาดตะกอนสามารถให้ pulp density สูงได้ถึง 30% solids

C.3.3.3 Wash Water น้ำจะต้องป้อนให้มีปริมาณมากพอ เพื่อให้เกิด freely moving film บนพื้นโต๊ะลึกเพียงพอที่จะปกคลุมอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด จากจุดนี้อาจจะเพิ่มการไหลของวัตถุ (transport of material) ได้โดยการเพิ่มปริมาณของ wash water ที่ความเอียงเท่าเดิม หรือโดยการเพิ่มความเร็ว โดยการเพิ่ม side tilt หรือทั้งสองวิธี การเพิ่มการไหลโดยการเพิ่ม side tilt จะลดปริมาณน้ำที่ใช้ลงแต่แถบของส่วนต่าง ๆ จะแคบลง ทำให้ยากแก่การแยกออกเป็น products ต่าง ๆ ให้นั่นอนได้ซึ่งวิธีนี้จะใช้กับการแต่งหัวแร่ขั้นต้น ถ้าเป็นการแต่งหัวแร่สะอาดการใช้น้ำมากขึ้นจะดีกว่า

ในการแต่งแร่ขนาดตะกอนปริมาณการใช้น้ำ (Water consumption) จะสูง ด้วยความจริงที่ว่า tonnage ของตะกอนต่อโตะ มีปริมาณต่ำ แต่จริง ๆ แล้ว ปริมาณน้ำจะใช้น้อยที่สุด เพียงเท่านั้นจำเป็นในการรักษาให้ moving film flowing สม่ำเสมอ และอนุภาคขนาดละเอียด ซึ่งติดอยู่กับผิวพื้นโตะที่เรียงต้องการเวลาในการชะล้างมันออกมากขึ้น

Wash water ต้องเป็นน้ำสะอาด ในขณะที่การใช้น้ำหมุนเวียนที่ใช้กันบ่อย ๆ ต้องคอยระวังพวกตะกอนที่สะสมอยู่ ซึ่งจะไปทำลายประสิทธิภาพของการใช้โตะลงอย่างรวดเร็ว

C.3.4 Summary of Table Operation

ไม่มีกฎที่แน่นอนตายตัวในการใช้โตะแยกแร่ โดยเฉพาะเมื่อ performance ของโตะแย่งด้วยข้อพิจารณาข้างต้นนี้ (ข้อ 1 ถึงข้อ 3) สามารถสรุปเป็นแนวทางในการจัดโตะให้ถูกต้องดังนี้

C.3.4.1 สำหรับการแต่งหัวแร่ขั้นต้น ใช้น้ำมากกว่า ป้อนแร่มากกว่า ความเอียงของโตะน้อยกว่า stroke ยาวกว่า ใช้ riffles แบบเต็มพื้นโตะ

C.3.4.2 สำหรับการแต่งหัวแร่สะอาด ใช้น้ำน้อยกว่า ป้อนแร่น้อยกว่า ความเอียงของโตะน้อยกว่า stroke สั้นกว่า ใช้ riffles แบบบางส่วน

C.3.4.3 สำหรับการแต่งแร่ขนาดละเอียด ใช้น้ำน้อยกว่า ป้อนแร่ที่ละน้อย ๆ speed เร็วกว่า stroke สั้นกว่า riffles ต่ำ

C.3.4.4 สำหรับการแต่งแร่ขนาดหยาบ ใช้น้ำมากกว่า ป้อนแร่มากกว่า speed ช้ากว่า stroke ยาวกว่า riffles สูง

ภาคผนวก D

การแต่งแร่ทรายแก้วโดยใช้ Magnetic Cross Belt

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง (Dry High Intensity Magnetic Separator เขียนย่อว่า DHIMS) ซึ่งใช้ในเชิงพาณิชย์มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1908 โดยใช้แยกแร่ดีบุกแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) เช่น แร่อิลเมไนต์ (Ilmenite) แร่ซิดอไรต์ (Siderite) แร่วูลแฟรมไต์ (Wolframite) ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงนี้ได้มาจากอำนาจการเหนี่ยวนำทางกระแสไฟฟ้า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่จะมีอิทธิพลในการแยกแร่ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดนี้หากนำมาแยกแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (200 เมช) แล้ว ประสิทธิภาพจะลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากกระแสอากาศ การยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแร่ และการยึดเกาะกันระหว่างลูกกลิ้งกับเม็ดแร่

รูปที่ D.4 แสดงการออกแบบขั้วแม่เหล็กและขดลวด (Coil) ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ค่าของ L ควรให้น้อยที่สุด และ A ควรให้มากที่สุด เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบนี้มีหลายชนิดคือ

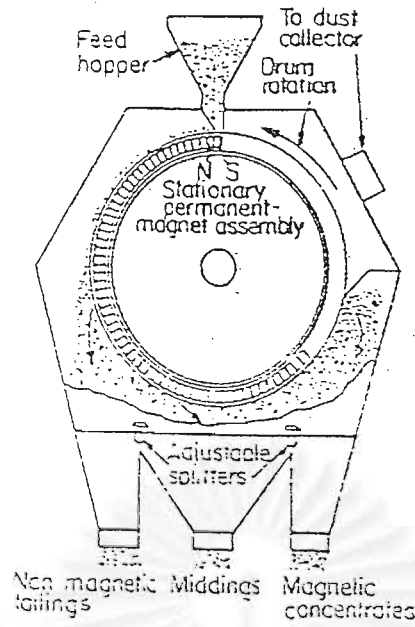
1) ชนิดสายพานขวาง (Cross Belt Magnetic Separator) ซึ่งจัดเป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กประเภทดูดติด (Pick Up or Lift Type) โดยการจัดวางให้แม่เหล็กสามารถอุ้มเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ป้อน เครื่องแยกประกอบด้วยสายพานลำเลียงแร่ป้อนซึ่งเดินอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็กรูปเกือกม้าโดยที่จำนวนแม่เหล็กรูปเกือกม้าอาจมีมากกว่าหนึ่งชุด ซึ่งแม่เหล็กแต่ละชุดจะมีสายพานเดินอยู่ในแนวขวางกับทิศทางของสายพานลำเลียงแร่ป้อน ขั้วบนของแม่เหล็กจะมีรูปร่างเป็นลิ้มหรือเป็นของแหลม (Wedge or Sharp Edge) ในขณะที่ขั้วด้านล่างมีหน้าตัดเรียบ (Flat) เพื่อให้มีค่าความชันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Gradient) สูงในระหว่างช่องว่าง (Air Gap) หรือเพื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงขึ้นไปอีกด้วย แร่จะดูดติดขั้วแม่เหล็กด้านบนซึ่งสายพานขวางจะนำเอาแร่ดีบุกแม่เหล็กออกไปจากขั้วไปปล่อยยังด้านท้ายของสายพานขวางนั้น ๆ หากเครื่องแยกมีจำนวนแม่เหล็กรูปเกือกม้าหรือสายพานขวางมากกว่า 1 ชุดแล้ว จะจัดให้สายพานขวางเส้นแรกมีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่าชุดถัด ๆ มา และมักออกแบบให้ขั้วแม่เหล็กชุดบนสามารถเลื่อนขึ้นลงเพื่อจัดระยะช่องว่างได้ โดยทั่วไปขั้วแม่เหล็กชุดสุดท้ายจะมีช่องว่างแคบที่สุดเพื่อดึงเอาแร่ดีบุกแม่เหล็กอย่างอ่อนที่สุดไว้ ส่วนความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถปรับได้โดย รูปที่ D.1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มต่ำชนิดกระบอกกลมความเร็วสูง รูปที่ D.2 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลางชนิดกระบอกกลมสลับบั้ว รูปที่ D.3 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลางชนิดกระบอกกลมช่องว่างเดียว

การปรับกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่พันขั้วแม่เหล็กอยู่ แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกถ่วงไปตามสายพานลำเลียงแร่ป้อนจนสุดสายพานแล้วจึงหล่นออกไปโดยมีภาชนะรองรับตั้งนั้นจึงสามารถแยกเอาแร่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กได้ เครื่องแยกชนิดนี้สามารถปรับความเร็วสายพานป้อนแร่และสายพานขวางได้ ในการแยกนั้น ความเร็วของสายพาน ระยะช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กบนและล่าง และความเข้มของสนามแม่เหล็ก จะต้องจัดให้เหมาะสม จึงจะทำให้การแยกได้ผลดีที่สุด ส่วนแร่ที่จะป้อนเพื่อทำการแยกนั้นควรผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงมาแล้วเป็นอย่างดี และแร่จะต้องแห้ง แร่ที่เปียกชื้นนั้นจะแยกไม่ได้ผลดี

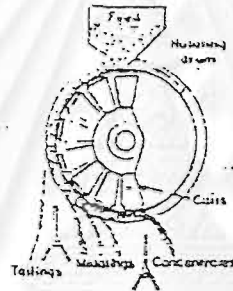
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดสายพานขวางมีลักษณะดังรูปที่ D.5 เป็นเครื่องแยกแร่ที่รู้จักกันมานานแล้วสามารถเลือกแยกแร่ได้ (Selective Concentrator) ใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เช่น แร่อิลเมนไนต์ (Ilmenite) ดีบุก (Cassiterite) โมนาไซต์ (Monazite) การ์เน็ต (Garnet) โครไมต์ (Chromite) โคลัมไบต์-แทนทาลิต (Columbite-Tantalite) วุลแฟรมไมต์ (Wolframite) เฮิบนอไรต์ (Huebnerite) และแร่มีค่าอื่น ๆ อีกหลายชนิด โดยการป้อนแร่ลงบนสายพานลำเลียงแร่ป้อนให้ป็นชั้นบาง (Thin Layer) ผ่านสนามแม่เหล็กความเข้มสูงที่ถูกเหนี่ยวนำโดยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า แร่จะดูดติดขั้วแม่เหล็กตามสายพานขวาง แร่แต่ละชนิดจะสามารถดูดติดขั้วแม่เหล็กสายพานขวางและแยกออกเป็นหัวแร่ชนิดต่าง ๆ ได้ ตามความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility)

ความจุ (Capacity) ของเครื่องแยกแร่ชนิดนี้จะต่ำ มีราคาแพงเมื่อเทียบกับความจุของเครื่องแยกแร่ที่มีความกว้างของสายพานลำเลียงแร่ป้อน 18 นิ้ว และมีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว สามารถป้อนแร่ได้ประมาณ 2 ตันต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามได้มีการออกแบบเครื่องแยกแร่แบบนี้ให้ใหญ่ขึ้นซึ่งสามารถป้อนแร่ได้ถึงประมาณ 30 ตันต่อชั่วโมงเลยทีเดียว

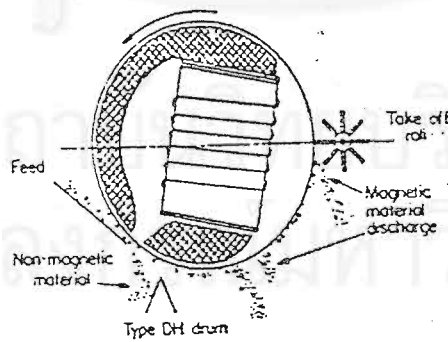
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ D.1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มต่ำ ชนิดระบอความเข้มสูง

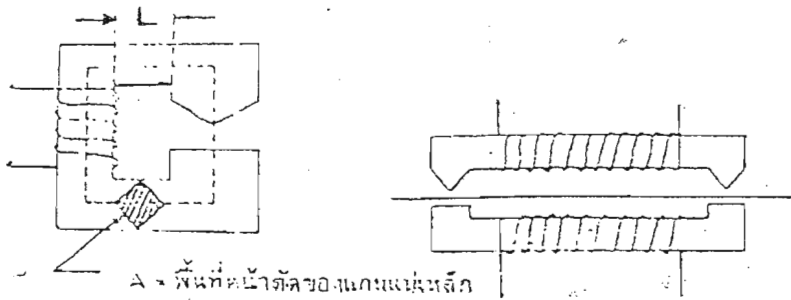


รูปที่ D.2 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลาง ชนิดระบอกลมสลับขั้ว

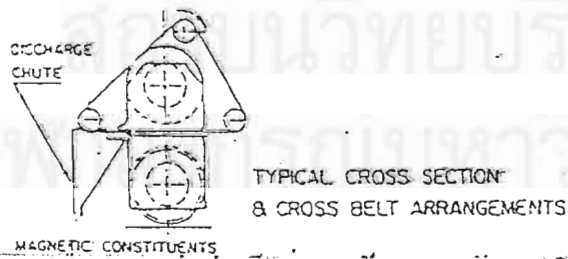
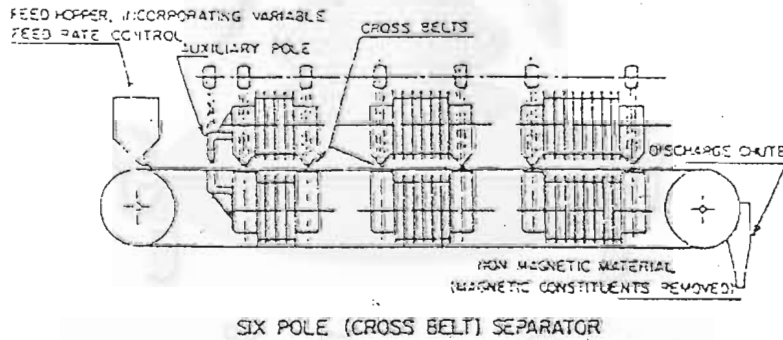
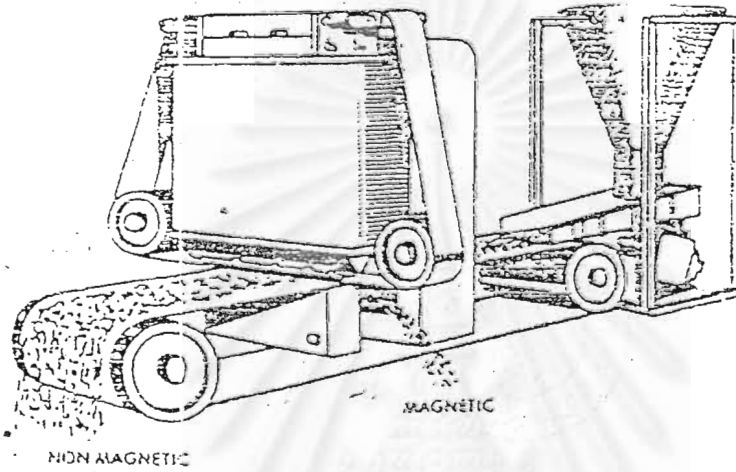


รูปที่ D.3 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลาง ชนิดระบอกลมช่องว่าง

เดียว



รูปที่ D.4 แสดงขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแรงดันสูง



รูปที่ D.5 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแรงดันสูงชนิดสายพานขวาง