เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง

HIGH - INTENSITY MAGNETIC SEPARATOR FOR MINERAL SEPARATION



นายทิวา เพ็ญสุข

MR. TIWA PENSOOK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2538

ISBN 974-621-466-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....24788
วัน, เดือน, ปี.....18 มิ.ย. 2539

เอกสารนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

HIGH - INTENSITY MAGNETIC SEPARATOR FOR MINERAL SEPARATION

TIWA PENSOOK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

GRADUATE SCHOOL

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1995

ISBN 974-621-466-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง
นักศึกษา	นายทิวา เพ็ญสุข
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. ปรีชา เทียนสมประสงค์
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2538

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคารูเซล และแบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ซึ่งทำการสร้างโดยใช้วัสดุภายในประเทศ เพื่อที่จะได้เครื่องแยกแร่ที่เหมาะสมกับการใช้งาน และมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับของต่างประเทศ โดยทำการสร้าง และศึกษาเครื่องแยกแร่ชนิดความเข้มสนามแม่เหล็กสูงทั้งสองแบบจากเครื่องต้นแบบของ ERIEZ ซึ่งเครื่องแยกแร่แบบเปียกชนิดถังคารูเซลนั้น แม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างจะเป็นชนิด 2 ขดลวด มีระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กเท่ากับ 4.2 ซม.ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด 9,600 เกาส์ อัตราสูงสุดของการป้อน 1.7 ตัน /ชม.(ของเหลวผสม) และทดสอบหาประสิทธิภาพในการดึงเหล็กออกไซด์(Fe_2O_3) ออกจากดินขาว มีค่าประมาณ 51 % ในส่วนของเครื่องแยกแร่แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ แม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างใช้ขดลวดชนิด 1 ขดลวด ที่ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2 มม. มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด 19,000 เกาส์ อัตราการทำงานสูงสุด 20 Kg /hr และทดสอบหาประสิทธิภาพในการดึงแร่อิลเมไนต์ออกจากทรายแก้ว มีค่าประมาณ 93 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	High - Intensity Magnetic Separator for Mineral Separation
Student	Mr. Tiwa Pensook
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Aree Wichianchai
Thesis Coadvisor	Assist. Prof. Dr. Preecha Teansomprasong
Level of study	Master of Science in Applied Physics
Department	Applied Physics, Faculty of Science
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1995

ABSTRACT

This research studies ,designs and constructs Carousel magnetic separator ,wet type and induced magnetic roll separator ,dry type. The local materials were used to construct these two seperators. The construction of these separators were based on the design of Eriez magnetic separators in order to meet practical use and having indentical efficeincy to a commercial one. For the wet magnetic separator , double coils were use to produce magnetic field of 9,600 gauss for the gap pole of 4.2 cm. The maximum feed rate of minerial in slurry form was 1.7 ton / hour. The efficiency of the constructed separator for separating Fe_2O_3 from Kaolin was found to be 51 %. For the dry magnetic separator using single coil for producing magnetic field of 19,000 gauss between the gap pole of 2 mm. The maximum feed rate for the dry separator was 20 kg / hr and the efficiency for separating Ilmenite from sand stone was found to be 93 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เป็นเพราะ ได้รับการสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจสม่ำเสมอ อย่างดีเยี่ยม จากคุณพ่อและคุณแม่ของข้าพเจ้า ที่ท่านทั้งสอง มองเห็นความสำคัญในด้านการศึกษาอย่างแท้จริง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย ซึ่งเป็นบุคคลที่สำคัญอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งกรุณาแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ แก่ข้าพเจ้าอย่างดีเยี่ยม เสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปรีชา เทียนสมประสงค์ ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อแนะนำ แก้ไข และปรับปรุงวิทยานิพนธ์ ให้ดียิ่งๆ ขึ้นไป

ขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย สร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่-เหล็กกำลังสูง ทั้งสองชนิดนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้โอกาส ศึกษาเครื่องต้นแบบ และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ภิญโญ มีชำนะ ที่สนับสนุนทางด้านวิชาการเหมืองแร่

ขอขอบพระคุณ ดร.วารุณี ถิรมงคล ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ และ คุณนวลอนงค์ ศรีพงษ์ ผู้อำนวยการการกองวิจัยและพัฒนา กรมวิทยาศาสตร์ ที่ให้ดินขาวระนอง มาเป็นสารทดสอบ และขอขอบพระคุณ คุณสมศักดิ์ ฉันท์อุดมพร เจ้าของ บริษัท ลักกี้ กลาส จำกัด ที่ให้ทรายแก้ว มาเป็นสารทดสอบ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ยืมใช้เตาอบ และอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ท้ายสุดข้าพเจ้าขอขอบคุณ เพื่อนๆ และบุคคลรอบข้างทุกคน ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

นายทิวา เพ็ญสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญภาพ..... IX

บทที่ 1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 การดำเนินงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 3

บทที่ 2. เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก

2.1 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก แบบแห้ง 4

2.1.1 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ แบบแห้ง 4

2.1.2 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง 6

2.2 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบเปียก 14

2.2.1 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ แบบเปียก 14

2.2.2 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 3. ทฤษฎี

3.1 กลุ่มของแร่ตามคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก 30

3.2 หลักการเบื้องต้นของการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก 32

3.3 หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก 33

3.3.1 การเป็นแม่เหล็กของวัสดุ 33

3.3.2 แรงดึงดูดแม่เหล็ก และแรงต้านที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุ 38

3.4 สนามแม่เหล็ก และเกรเดียนท์ของสนามแม่เหล็ก

ในเครื่องแยกด้วยสนามแม่เหล็ก 49

3.4.1 การออกแบบปลายขั้วแม่เหล็ก..... 49

3.4.2 ตะแกรงเมทริกซ์ 54

3.4.3 ลูกกลิ้ง 65

บทที่ 4. การสร้างเครื่องแยกแร่

4.1 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก

ชนิดถังคารูเซล 67

4.2 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง

ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ 90

บทที่ 5. การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ในการสร้างเครื่องแยกแร่

5.1 วัดคุณสมบัติทางแม่เหล็กด้วยวิธี ดี.ซี. ฮิสเทอริซิส 107

5.2 การวัดค่าของสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบเปียก

โดยเทียบกับค่าของกระแสต่างๆ 113

5.3 การวัดค่าของสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง ที่ระยะห่าง

ระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2 มม. และ 3.5 มม. โดยเทียบกับค่าของกระแส

ต่างๆ 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 6. ผลการทดลอง

6.1 การทดสอบเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล 118

6.2 การทดสอบเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ 125

สรุปผล และวิจารณ์ 133

เอกสารอ้างอิง 135

ภาคผนวก ก. แสดงรูปของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ 137

ภาคผนวก ข. ค่า Magnetic Susceptibility ของสารไดอา และพารา 141

ภาคผนวก ค. การอบแร่ และการชั่งน้ำหนักของแร่ 143

ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ $\%Fe_2O_3$ 147

ภาคผนวก จ. ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่ทั้งสองแบบ ที่ได้พัฒนาขึ้น 154

ภาคผนวก ฉ. คุณสมบัติของแร่ 163

ภาคผนวก ช. แสดงผลงาน การสร้างเครื่องแยกแร่ทั้งสอง ในงานประชุมทางวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 20 (พ.ศ. 2537) 168

ภาคผนวก ซ. แสดงคู่มือการใช้ Inverter 171

ภาคผนวก ฌ. แสดงคู่มือการใช้ตัวตรวจวัดความเร็วรอบ 181

ประวัติผู้เขียน 184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าความจุของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก ชนิดกระบอกกลม แบบต่างๆ 18

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของมุม θ และมุม β ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า $Bg / 4\pi M_0$ 53

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ ในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ และเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น 122

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ เทียบกับเปอร์เซ็นต์ของผสมที่ค่าต่างๆ ด้วยอัตราการป้อนแร่ที่ค่าต่างๆ กัน 123

ตารางที่ 6.3 ตารางสรุปการทำงานของ เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ที่ได้พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ 125

ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ และเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น (ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ) 129

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเมื่อ ความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน 130

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเมื่อ เปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กัน 130

ตารางที่ 6.7 ตารางสรุปการทำงานของ เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ที่สร้างขึ้น 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ง.1 ความหมายของ หมายเลขปฏิบัติการในใบรายงานผล การวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาฯ 150

ตารางที่ ง.2 ความหมายของ หมายเลขปฏิบัติการในใบรายงานผล การวิเคราะห์ของสำนักงานพลังงาน และปรมณูเพื่อสันติ 150

ตารางที่ ง.3 ความหมายของ หมายเลขปฏิบัติการในใบรายงานผล การวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ 151

ตารางที่ จ.1 น้ำหนักของแร่หลังการทดลอง 153

ตารางที่ จ.2 จำนวนเม็ดแร่ของ หลังการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ 153

ตารางที่ จ.3 จำนวนเม็ดแร่ของ หลังการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น 154

ตารางที่ จ.4 น้ำหนักของแร่หลังการทดลอง 154

ตารางที่ จ.5 จำนวนเม็ดแร่ของ การทดลองหลังแยกแร่ 155

ตารางที่ จ.6 น้ำหนักของแร่หลังการทดลอง 156

ตารางที่ จ.7 จำนวนเม็ดแร่ของ การทดลองหลังแยกแร่ 157

ตารางที่ จ.8 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเมื่อ ความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน 158

ตารางที่ จ.9 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเมื่อ เปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กัน 158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลมความเร็วสูง 5

รูปที่ 2.2 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิด กระบอกกลมสลับขั้ว..... 6

รูปที่ 2.3 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดสายพานขวาง 8

รูปที่ 2.4 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดจานหมุนแรปิด 9

รูปที่ 2.5 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดจานหมุนแมคลีน 10

รูปที่ 2.6 ลักษณะส่วนประกอบต่างๆ ของลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ..... 12

รูปที่ 2.7 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ 3 ลูก 12

รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะในการติดแปรงใต้ลูกกลิ้ง 13

รูปที่ 2.9 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดครอกเก็ต 14

รูปที่ 2.10 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม แบบ Concurrent 15

รูปที่ 2.11 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม แบบ Counter-rotation 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 2.12 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม แบบ Counter-current 17

รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ของเครื่องแยกแร่กระบอกกลม ชนิดต่าง ๆ กับ ความจุ 18

รูปที่ 2.14 เครื่องแยกแร่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแบบเปียก ชนิดกิลล์ 19

รูปที่ 2.15 เมทริกซ์ซึ่งมีรูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่อง ในเครื่องแยกแร่ของโจนส์ 20

รูปที่ 2.16 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กสูงของโจนส์ 20

รูปที่ 2.17 เครื่องแยกแร่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล Carpco Separator 21

รูปที่ 2.18 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดถังคารูเซล Krupp Sol Separator 22

รูปที่ 2.19 (a) รูปร่าง และการทำงานของ เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดถังคารูเซล Jones Separator (b) เมทริกซ์รูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องใน Jones Separator 23

รูปที่ 2.20 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดถังคารูเซล Boxmag-Rapid รุ่น HIW8 24

รูปที่ 2.21 แมทริกซ์รูป Wedge-Bar ที่รูปทรงแข็งแรง ซึ่งใช้ใน Boxmag-Rapid Separator 25

รูปที่ 2.22 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดถังคารูเซล แบบ Eriez 25

รูปที่ 2.23 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดคานิสเตอร์ 26

รูปที่ 3.1 แผนผัง แสดงการแบ่งชนิดของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก 29

รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบ การดัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก ทั้งสามชนิด..... 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.3 แผนผัง แสดงการแยกวัสดุด้วยสนามแม่เหล็ก 32

รูปที่ 3.4 เส้นโค้งแสดงการเป็นแม่เหล็กของวัสดุไม่ติดแม่เหล็ก (แร่ควอรตซ์) วัสดุติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (แร่ยีมาไทต์) และ วัสดุที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (แร่แมกนีไทต์) จะสังเกตเห็น ความแตกต่างของมาตราส่วน แกน Y (ค่า M) ระหว่าง a กับ b 36

รูปที่ 3.5 แสดง Magnetic Histeresis ของวัสดุที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง 37

รูปที่ 3.6 แสดงกราฟ B - H Curve ของ Cast Steel และ Cast Iron ในระบบ SI 38

รูปที่ 3.7 แสดงค่า r และ θ ในสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ 40

รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของอนุภาค b ที่ $\theta = 0$ 42

รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็ก(สัมพัทธ์) กับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของเส้นลวด กับ เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค 43

รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก field gradient และแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเม็ดแร่ทรงกลม ซึ่งมีขนาดหนึ่งในสาม ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดกับระยะห่างจากลวด 44

รูปที่ 3.11 แสดงเม็ดแร่เมื่อผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่ แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ 47

รูปที่ 3.12 เป็นรูปแสดงตำแหน่ง ของขั้วแม่เหล็ก 1 = Air gap 2 = pole cap 3 = core 4 = yoke 5 = magnetizing coils 50

รูปที่ 3.13 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อยังไม่ได้ตัดมุมของเหล็ก 50

รูปที่ 3.14 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อได้ตัดมุมของเหล็กนั้นแล้ว 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.15 เป็นรูปแสดง ของขั้วแม่เหล็กเมื่อได้ตัดมุมแม่เหล็กแล้ว 51

รูปที่ 3.16 เป็นรูปแสดงขนาดของขั้วแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่
ที่ได้สร้างขึ้น เมื่อยังไม่ได้ตัดมุม 52

รูปที่ 3.17 แสดงขนาดต่างๆ ของปลายขั้วแม่เหล็กที่ได้สร้างขึ้น 53

รูปที่ 3.18 ลักษณะของ ตะแกรงเมทริกซ์ (จากซ้ายไปขวา)
แบบ groove plate ,expand metal 2 ,knitmesh 55

รูปที่ 3.19 ลักษณะของ ตะแกรงเมทริกซ์ (จากซ้ายไปขวา)
แบบ Screen 12 ,Wire mesh 9 และ Wire mesh 10 55

รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง grade ของส่วนผสม
ของสารแม่เหล็กของ uranium-gold ที่แยกออกได้กับ
ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องตะแกรง 57

รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกาะจับเชิงกล
ของอนุภาค ของ uranium-gold ที่มีขนาดต่างๆ กัน
เมื่อผ่านตะแกรงชนิดต่างๆ 58

รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกาะจับเชิงกลของอนุภาค
ของ uranium-gold ขนาดต่างๆ กับขนาดของช่องตะแกรง 59

รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกาะจับเชิงกลกับ
อัตราการไหลของแร่เหลวของตะแกรงชนิดต่างๆ 59

รูปที่ 3.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการแยกออกไซด์ของเหล็ก กับ
ความสูงของตะแกรงแบบ ฝอยเหล็ก(steel wool) ขนาดต่างๆ 61

รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง recovery และ grade กับ ความสูง
ของตะแกรงชนิดหลอด(rods type) ที่ขนาดต่างๆ มีค่าความเข้ม
ของสนามแม่เหล็ก 0.9 T ,อัตราการป้อนแร่ 0.15 m /s 62

รูปที่ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง recovery ของ วุลแฟม
กับความสูง ของตะแกรง 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง recovery ของยูเรเนียม กับความสูงของตะแกรงชนิดต่างๆ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1.1 T อัตราการป้อนแร่ 0.06 m /s 63

รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง grade ของส่วนผสมของสารแม่เหล็กกับความสูงของตะแกรง 63

รูปที่ 3.29 ตัวลูกกลิ้ง(Roller) เป็นตัวสร้างเกรเดียน์สนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง 65

รูปที่ 3.30 แสดงขนาดของตัวลูกกลิ้ง 66

รูปที่ 4.1 ฐานรองรับเครื่องแยกแร่ (มองทางด้านบน) และเส้นไข่ปลาเป็นบริเวณที่ จะติดตั้ง CORE ,YOKE ของชุดแม่เหล็กไฟฟ้า 68

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะ ฐานรองรับเครื่องแยกแร่(มองทางด้านข้าง) 68

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะ ฐานรองรับเครื่องแยกแร่(มองทางด้านหน้า) 69

รูปที่ 4.4 ลักษณะการออกแบบ CORE ,YOKE และขั้วแม่เหล็ก 70

รูปที่ 4.5 แสดงชุดที่ได้สร้างขึ้นของ CORE ,YOKE และขั้วแม่เหล็กตั้งบนฐานรองรับ 71

รูปที่ 4.6 การพันขดลวดบนโครงเหล็กที่สร้างขึ้น 72

รูปที่ 4.7 การหุ้มฉนวนด้วยกระดาษระหว่างชั้นของขดลวด 72

รูปที่ 4.8 ขดลวดที่หนึ่ง 5,600 รอบเมื่อพันเสร็จแล้ว 73

รูปที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนย้ายขดลวดเพื่อที่จะมาประกอบกับแกนแม่เหล็ก 73

รูปที่ 4.10 ขดลวดซึ่งประกอบเข้ากับแกน CORE ของแม่เหล็ก 74

รูปที่ 4.11 ประกอบขดลวดทั้งสองเข้ากับ YOKE และ CORE 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส และค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก **ขดที่ 1** (17.6 Ω) และ**ขดที่ 2** (2.7 Ω) และ**ทั้งสองขดต่ออนุกรมกัน** (20.3 Ω) 76

รูปที่ 4.13 วงจรชุดจ่ายกระแสตรงเฟสเดียว 380 V ,20 A แบบปรับค่าได้ 77

รูปที่ 4.14 ชุดจ่ายกระแสตรงเฟสเดียว 380 V แบบปรับค่าได้ และชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ ของถังหมุนและถังกวนแร่ 78

รูปที่ 4.15 ถังหมุนสำหรับเครื่องแยกแร่ 79

รูปที่ 4.16 ฐานรองรับถังหมุน เป็นส่วนที่รองรับแร่หลังจากผ่านการแยกแล้ว 79

รูปที่ 4.17 ประกอบเป็นชุดถังหมุนสำหรับเครื่องแยกแร่ 80

รูปที่ 4.18 ถังหมุนที่ประกอบเข้ากับชุดขับเคลื่อน 80

รูปที่ 4.19 ลวดตาข่ายที่ใช้ทำเมทริกซ์ 81

รูปที่ 4.20 ชุดเมทริกซ์ที่ได้ประกอบขึ้นหลังทำการชุบนิเกิลแล้ว 82

รูปที่ 4.21 บรรจุเมทริกซ์ลงในช่องของถังหมุนทั้ง 8 ช่อง 82

รูปที่ 4.22 แผนผังการเดินสายภายในตู้ควบคุม 83

รูปที่ 4.23 แสดงการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ของตู้ควบคุม 84

รูปที่ 4.24 แสดงการเดินสายต่างๆ ภายในตู้ควบคุม 84

รูปที่ 4.25 แสดงด้านหน้าของตู้ควบคุมมีมิเตอร์แสดงค่ากระแสและค่าแรงดันไฟฟ้า 85

รูปที่4.26 แบบแปลนด้านบนของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง..... 86

รูปที่ 4.27 แบบแปลนด้านหน้าของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง.... 87

รูปที่ 4.28 แบบแปลนด้านข้างของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง..... 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.29 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์ 89

รูปที่ 4.30 แสดงแผ่นวงแหวนเหล็กอ่อน และทองเหลือง ที่ใช้ประกอบเป็น ลูกกลิ้ง 91

รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะ ลูกกลิ้ง ทั้งสองลูก เมื่อเสร็จสมบูรณ์ 91

รูปที่ 4.32 ภาพแสดงขนาดของ ลูกกลิ้ง 92

รูปที่ 4.33 แสดงฐานของเครื่องแยกแร่ ซึ่งได้ติดตั้ง ตัว ลูกกลิ้ง ทั้งสอง แล้ว 92

รูปที่ 4.34 แสดงการประกอบ YOKE บนตัวเครื่อง 93

รูปที่ 4.35 ภาพแสดงขนาดของ วงจรแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่ 93

รูปที่ 4.36 แสดงการประกอบส่วนขับเคลื่อน ลูกกลิ้ง 94

รูปที่ 4.37 แสดงการพันขดลวด 95

รูปที่ 4.38 ขดลวดที่พันเสร็จแล้ว แต่ยังไม่ได้หุ้มฉนวน 95

รูปที่ 4.39 ขดลวดที่สามารถนำไปใช้งานได้ 96

รูปที่ 4.40 แสดงการจัดวางขดลวดในตัวเครื่องแยกแร่ 96

รูปที่ 4.41 แสดงตำแหน่งของรางป้อนแร่ ซึ่งมีมอเตอร์ เป็นตัวทำให้สั่น(Vibrator) 97

รูปที่ 4.42 แสดงชุด Inverter ที่ใช้ปรับความเร็วรอบของ ลูกกลิ้ง 98

รูปที่ 4.43 แสดงตัวตรวจจับ เพื่อบอกจำนวนรอบของ ลูกกลิ้ง 99

รูปที่ 4.44 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจจับ(Sensor) เพื่อนับจำนวนรอบ Roller 99

รูปที่ 4.45 วงจรชุดจ่ายกระแสตรง 220 V ,10 A แบบปรับค่าได้ 100

รูปที่ 4.46 แสดงชุดควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.47 แผนผังการเดินสายไฟในตู้ควบคุม 101

รูปที่ 4.48 แสดงตำแหน่งการวางตู้ควบคุมบนเครื่องแยกแร่ 102

รูปที่ 4.49 แสดงตู้ควบคุมเมื่อติดตั้งวงจรควบคุม และเดินสายไฟเสร็จ พร้อมที่จะใช้งานได้ 102

รูปที่ 4.50 แสดงด้านหน้าของตู้ควบคุม ซึ่งมีมิเตอร์แสดงค่าของกระแส และ แรงดันไฟฟ้า 103

รูปที่ 4.51 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์ (แสดงมองด้านหลัง) 104

รูปที่ 4.52 แสดงตัวเครื่องแยกแร่ มองด้านข้าง 105

รูปที่ 4.53 แสดงตัวเครื่องแยกแร่ มองด้านหน้า 106

รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังชุดทดสอบมาตราฐาน ดี .ซี . ฮีสเทอรีซิส 107

รูปที่ 5.2 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยวิธี ดี .ซี . ฮีสเทอรีซิส แบบ Ring test ตามมาตราฐาน ASTM - A773 108

รูปที่ 5.3 ตะแกรงเมทริกซ์ นำมาตัดเป็นวงแหวนเพื่อวัดคุณสมบัติ แม่เหล็ก 109

รูปที่ 5.4 กราฟ ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กที่นำมาทำ YOKE และ CORE ของ เครื่องแยกแร่แบบเปียก 110

รูปที่ 5.5 กราฟ ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กอ่อน ที่นำมาทำตะแกรง(Matrix) ของ เครื่องแยกแร่แบบเปียก 111

รูปที่ 5.6 กราฟ ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กที่นำมาทำ YOKE ,CORE และ ROLLER ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง 112

รูปที่ 5.7 ภาพแสดงตำแหน่ง หัววัด ของ Gauss's meter ในการวัดค่า สนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก..... 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 5.8 แสดงการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง Gauss's meter 114

รูปที่ 5.9 หัววัด Hall's probe วัดระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยถอดเอา Matrix ออก 114

รูปที่ 5.10 ลักษณะของ B - I กราฟ ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก 115

รูปที่ 5.11 แสดงตำแหน่ง หัววัด ของ Gauss's meter ในการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง 116

รูปที่ 5.12 รูปแสดงการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยใช้เครื่อง Gauss's meter 116

รูปที่ 5.13 ลักษณะ B - I กราฟ ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ(CU) และ เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น(KMITL) แบบแห้ง 117

รูปที่ 6.1 แสดงการทำงานของเครื่อง ขณะทำการแยกแร่ 119

รูปที่ 6.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่อง เทียบกับเปอร์เซนต์ของผสมที่ค่าต่างๆ 123

รูปที่ 6.3 แสดงการทำงานของเครื่อง ขณะทำการแยกแร่ 126

รูปที่ 6.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่อง เทียบกับ **ความเร็วของลูกกลิ้ง** 131

รูปที่ 6.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่อง เทียบกับ **เปอร์เซ็นต์ผสมของแร่อิลเมไนต์** 131

รูปที่ ก.1 รูปของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ของERIEZ 138

รูปที่ ก.2 รูปของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (ด้านหน้า) 139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ ก.3 รูปของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนาม แม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (ด้านบน) 139

รูปที่ ก.4 รูปของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนาม แม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (ด้านข้าง) 140

รูปที่ ค.1 แสดงการนำแร่ที่แยกได้ ใส่ในภาชนะทนความร้อน 144

รูปที่ ค.2 แสดงรูปของ เตาอบ 145

รูปที่ ค.3 แสดงการนำแร่ที่แยกได้ ใส่ในเตาอบ 145

รูปที่ ค.4 แสดง แร่ที่ได้หลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 วัน 146

รูปที่ ค.5 แสดงการนำแร่ที่ผ่านการอบ ชั่งน้ำหนัก 146

รูปที่ ช.1 แสดงผลงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ในงาน วทท.20 169

รูปที่ ช.2 แสดงผลงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ในงาน วทท.20 170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบัน วงการอุตสาหกรรมภายในประเทศพยายามที่จะคิดค้น หาแนวทางการผลิตเครื่องจักร เครื่องมือ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศ เป็นการลดการสูญเสียงบประมาณ และเป็นการเรียนรู้เทคโนโลยีในการพัฒนา เครื่องจักร เครื่องมือ สำหรับอุตสาหกรรมการแต่งแร่ ก็เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ต้องใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการแต่งแร่ ทั้งนี้เพราะส่วนสำคัญของแร่ก็คือ คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของแร่นั้นๆ แร่ที่ขุดได้ในประเทศส่วนใหญ่จะส่งออกขายแก่ต่างประเทศในลักษณะที่เป็นแร่ดิบ ซึ่งมีความบริสุทธิ์น้อย แต่ในทางอุตสาหกรรมที่ต้องการแร่ชนิดเดียวกันนี้ ซึ่งต้องการความบริสุทธิ์สูงกว่า กลับต้องสั่งนำเข้าแร่นี้จากต่างประเทศในราคาที่สูงกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากบ้านเรายังขาดแคลนเทคโนโลยีในการแยกแร่ให้มีคุณภาพดี เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง หรือเกรเดียนท์สูง (High Intensity or High Gradient Separators) เป็นเครื่องแยกที่มีประสิทธิภาพ และนิยมใช้กันมากในต่างประเทศ เช่น ประเทศมาเลเซีย และ ประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น. โดยนำไปใช้ในการแยกแร่ที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กทั้ง ชนิดเฟอร์โร(Ferromagnetic material) และ ชนิดพารา(Paramagnetic material) ทำให้ได้แร่ที่บริสุทธิ์หรือเป็นการปรับปรุงคุณภาพแร่ให้สูงขึ้น ดั้งนั้นการแต่งแร่หรือการแยกแร่จึงเป็นเทคโนโลยีสำคัญในการเพิ่มมูลค่าแร่ และทำให้การนำแร่แต่ละชนิดมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด

การวิจัยนี้ ศึกษาถึงการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง ทั้งแบบเปียก และ แบบแห้ง เพื่อที่จะได้มาซึ่งแร่ที่บริสุทธิ์ และมีคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องแยกด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงสำหรับใช้ในการแต่งแร่ และแยกแร่ ขนาดใช้กับกิ่งอุตสาหกรรม
2. เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมการแต่งแร่ภายในประเทศไทย
3. เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องแยกแร่ชนิดนี้ภายในประเทศ และเป็นแนวทางใช้กับประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น .

1.3 ขอบเขตและเนื้อหาของงานวิจัย

การที่จะศึกษาถึงการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง จำเป็นต้องมีการออกแบบเครื่องแยกแร่ชนิดเปียก และชนิดแห้งเป็นอันดับแรก แต่โครงการสร้างเครื่องแยกแร่นี้ อาศัยข้อมูลของเครื่องแยกแร่ต้นแบบที่มีอยู่(ดู ภาคผนวก ก.) ซึ่งเป็นเครื่องจากบริษัทสร้างเครื่องแยกแร่ในต่างประเทศ เป็นแนวทางในการศึกษา คือ เครื่อง ERIEZ Magnetics ติดตั้งอยู่ที่ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นแนวทางในการออกแบบ และเลือกวัสดุในการสร้างเครื่องแยกแร่นี้

องค์ประกอบหลักที่สำคัญของเครื่องแยกแร่ชนิดสนามแม่เหล็กกำลังสูง

ส่วนประกอบที่สำคัญ	แบบเปียก	แบบแห้ง
ชุดกำเนิดสนามแม่เหล็ก	double coil	single coil
วัสดุที่ใช้ทำ Yoke,Core และ roller	เหล็กอ่อน	เหล็กอ่อน
วัสดุที่ใช้ทำให้เกิดเกรเดียน	แผ่น Matrix	Roller
ขนาดของชุดจ่ายกระแสตรง	20 A / 380 V	10 A / 220 V
ความเข้มของสนามแม่เหล็ก(Gauss)	>> 10,000	>> 10,000
ความสามารถในการแยก (Kg /hr)	600 - 1500	10 - 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการสร้างส่วนต่างๆ เหล่านี้เสร็จ ขั้นตอนสุดท้ายจะประกอบส่วนต่างๆ ของเครื่องแยกแร่เข้าด้วยกัน แล้วทำการทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น

สรุปขอบเขตของการวิจัยได้ดังนี้

1. ออกแบบเครื่องแยกแร่
2. เลือกวัสดุในการทำ Yoke , Core และ roller
3. เลือกวัสดุที่ใช้ทำ Matrix , Chamber(สำหรับเครื่องแยกแร่แบบเปียก)
4. สร้างตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กกำลังสูง
5. ทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นต้นแบบ เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง ซึ่งจะใช้ในอุตสาหกรรมแยกแร่ แต่งแร่
2. ส่งเสริมการสร้างเครื่องมือภายในประเทศ ในราคาที่ถูกกว่าของต่างประเทศ
3. เป็นการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัย และมีประสิทธิภาพ มาช่วยเพิ่มมูลค่าของแร่ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก

เครื่องแยกแร่ดว้ยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกหัวแร่ และแยกแร่ให้สะอาดนี้นิยมแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. แบบแห้ง (Dry Type)
2. แบบเปียก (Wet Type)

2.1 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก แบบแห้ง(Dry Magnetic Separator)[1]

โดยทั่วไปการแยกแร่แบบแห้ง ใช้แยกแร่ที่มีขนาดตั้งแต่ 75 ไมครอน ไปจนถึง 3 ม.ม แบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามความเข้มสนามแม่เหล็ก คือ **พวกความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ และพวกความเข้มสนามแม่เหล็กสูง**

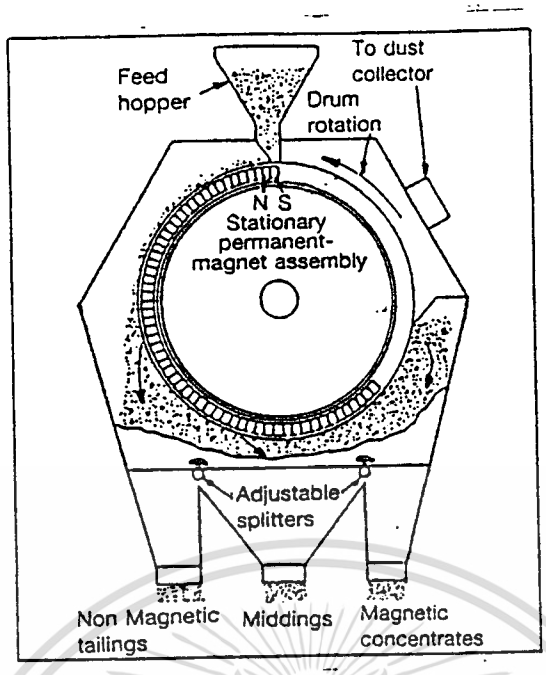
2.1.1 **เครื่องแยกแร่ดว้ยสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ แบบแห้ง** (Dry Low Intensity Magnetic Separator , DLIMS)

เครื่องแยกแร่นี้ใช้สำหรับแยกเศษเหล็ก และแยกแร่ที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กสูงที่มีขนาดใหญ่ๆ เช่น แร่แมกนีไทต์(Magnetite) ซึ่งเรียกขบวนการแยกแร่แมกนีไทต์ นี้ว่า " Magnetic cobbing " ที่ใช้กันอยู่ มี 2 ชนิด

2.1.1.1) เครื่องแยกแร่ชนิดกระบอกกลมความเร็วสูง(High - Speed Drum Magnetic Separator)

เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้แยกแร่ที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กสูง เช่น แมกนีไทต์ และแร่นิเกิล ซึ่งมีใช้ทั้งแม่เหล็กไฟฟ้า และแม่เหล็กถาวร โดยมีขั้วแม่เหล็กวางสลับกันอาจมีจำนวนนถึง 44 ชิ้น ซึ่งประกอบเป็นส่วนโค้งของกระบอกกลม ประมาณ 270 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



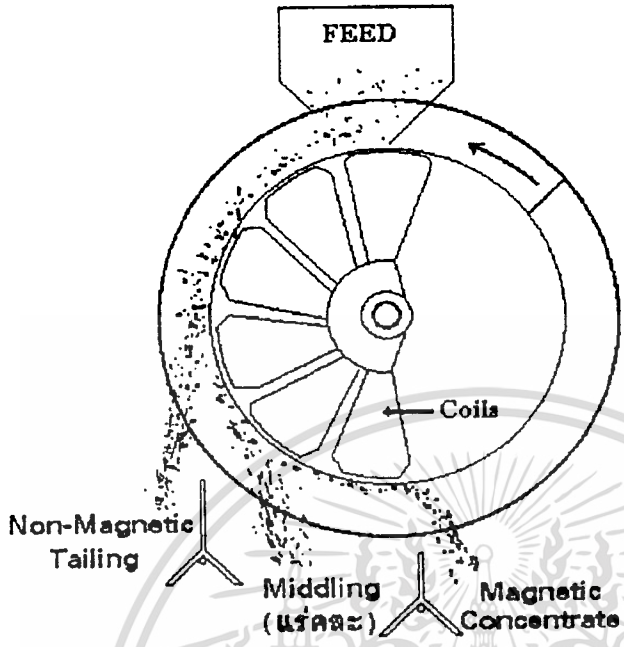
รูปที่ 2.1 เครื่องแยกแร่แบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม ความเร็วสูง

ส่วนใหญ่จะใช้แยกแร่เม็ดละเอียดขนาดเล็กกว่า 100 เมช หรือ 37 ไมครอน แร่ที่ป้อนอาจมีขนาดโตถึง 1 นิ้ว ก็ยังสามารถแยกได้ แร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะถูกเหวี่ยงออกไป ส่วนแร่เป็นสารแม่เหล็กจะเกาะติดกับกระบอกกลมจนพ้นสนามแม่เหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกกลมมีค่า 18 ถึง 48 นิ้ว โดยกระบอกกลมมีค่าความเร็วปกติโดยทั่วไป 20 ถึง 45 รอบต่อนาที และอาจมีความเร็วสูงถึง 200 รอบต่อนาที ขนาดของเม็ดแร่ที่ป้อนมีอิทธิพลต่อความเร็วสูงของกระบอกกลม กล่าวคือ เมื่อแร่มีขนาดโตความเร็วจะต้องลดลง ที่ความเร็วสูงจะแยกแร่เม็ดละเอียดได้ปริมาณมากแต่อาจมีแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กหลงปะปนไปกับแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก และการที่ขั้วแม่เหล็กสลับกันหลายขั้วทำให้แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กเคลื่อนพลิกตัวได้ดี ทำให้ได้หัวแร่ที่สะอาดขึ้น ส่วนแร่คละ(Middling) สามารถนำมาแยกใหม่ได้อีก

2.1.1.2) เครื่องแยกแร่ชนิดกระบอกกลมสลับขั้ว(Alternating polarity Drum Separator) หรือเรียกว่าแบบ Ball - Norton

ภายในกระบอกกลมมีขั้วแม่เหล็กสลับขั้วเหนือ-ใต้ ติดต่อเป็นระยะ 1/2 ถึง 2/3 ของความยาวเส้นรอบวงของกระบอกกลม แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กจะถูกขั้วแม่เหล็กดูดให้ติดอยู่ที่ผิวของกระบอกกลม ซึ่งหมุนไปตามลูกศรโดยที่ขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่ ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องแยกแร่แบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลมสลับขั้ว

เม็ดแร่จะพลิกกลับไปกลับมาเมื่อเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่ต่างขั้วกัน การสลับขั้วของแม่เหล็ก ทำให้พวกแร่มลทินที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กไม่สามารถเกาะปนมากับแร่ติดแม่เหล็กได้ จนพ้นสนามแม่เหล็ก เม็ดแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กจึงผละออกจากผิว-กระบอกกลม และตกลงในช่องแร่สำหรับแร่ติดแม่เหล็ก ส่วนแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก เช่น หิน กรวด ทราย จะเลื่อนหล่นมาตามผิวของลูกกลิ้งกระบอกกลม และตกลงไปในช่องเก็บแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก ความเร็วของกระบอกกลมประมาณ 50 รอบต่อนาที เครื่องแยกแร่ออกแบบมาสำหรับแร่ป้อนที่เป็นสารแม่เหล็กปริมาณมากที่มีคุณภาพสูง สามารถแยกแร่แมกนีไทต์ที่มีขนาด 1 นิ้ว ลงไปจนถึง 100 เมช(37 ไมครอน) โดยสนามแม่เหล็กจะสามารถดูดแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก ซึ่งความจุ(capacity)ของเครื่องเป็นส่วนกลับกันกับ ขนาดแร่ป้อน

2.1.2 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ที่ใช้สนามแม่เหล็กความเข้มสูง (Dry High Intensity Magnetic Separator , DHIMS)

ใช้แยกแร่ ที่เป็นสารแม่เหล็กพารา เช่น แร่อิลเมไนต์(Ilmenite) แร่ซิเดอร์ไรต์ (Siderite) แร่วุลแฟรไมต์ (Wolframite) แร่แมงกานีส (Manganese Ore) เป็นต้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ซึ่งได้มาจากแม่เหล็กไฟฟ้า

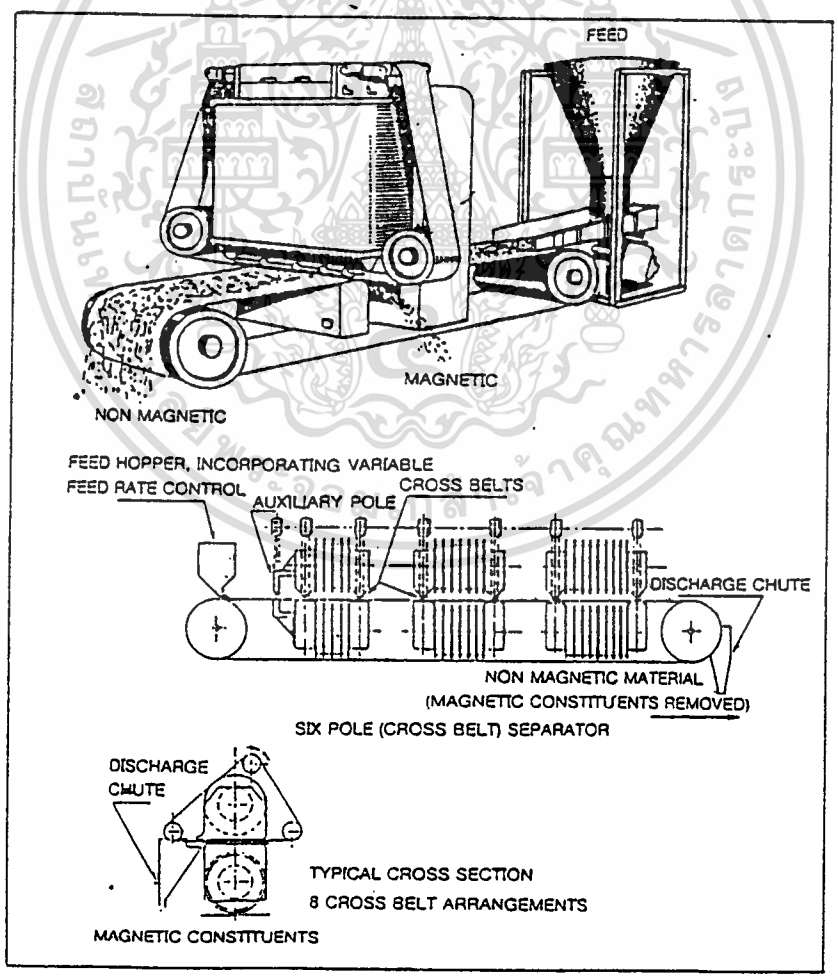
เครื่องแยกแร่ชนิดนี้หากนำมาแยกแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอนหรือ 200 เมช แล้วประสิทธิภาพจะลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากกระแสอากาศ การยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแร่และการยึดเกาะกันระหว่างลูกกลิ้งกับเม็ดแร่ ซึ่งแก้ไขโดยการก่อนการแยกแร่ต้อง นำแร่มากำจัดฝุ่นก่อนป้อนเข้าเครื่องก็จะกำจัดปัญหาเหล่านี้ลงได้ แต่มีปัญหาตรงที่ฝุ่นมี อันตรายต่อสุขภาพ และการกำจัดฝุ่นต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายสูงเพิ่มขึ้น เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ที่ใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง มีหลายชนิด คือ

2.1.2.1) เครื่องแยกแร่ชนิดสายพานขวาง

เครื่องแยกแร่ชนิดสายพานขวาง(Cross Belt Magnetic Separator) จัดเป็นเครื่องแยกแร่ประเภทดูดติด(Pick up or Lift Type) โดยการ จัดวางให้แม่เหล็กสามารถอุ้มเม็ดแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กออกจากแร่ป้อน ดังรูปที่ 2.3 เครื่องแยกประกอบด้วยสายพานลำเลียงแร่ป้อน ซึ่งเดินอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็กรูปเกือกม้า โดยจำนวนแม่เหล็กรูปเกือกม้าอาจมีมากกว่าหนึ่งชุดซึ่งแม่เหล็กแต่ละชุดจะมีสายพานเดินอยู่ในแนวขวางกับทิศทางของสายพานลำเลียงแร่ป้อน ขั้วบนของแม่เหล็กจะมีรูปร่างเป็นลิ่ม หรือเป็นขอบแหลม ในขณะที่ขั้วด้านล่างมีหน้าตัดเรียบ เพื่อให้มีค่า สนามแม่เหล็กที่มีแกรเดียนท์สูง ในช่องว่าง หรือเพื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงขึ้นไปอีก แร่จะดูดติดขั้วแม่เหล็กด้านบนซึ่งสายพานขวางจะนำแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กออกจากขั้วไปปล่อยยังด้านท้ายของสายพานขวางนั้นๆ หากเครื่องแยกมีจำนวนแม่เหล็กรูปเกือกม้า หรือ สายพานขวางมากกว่า 1 ชุดแล้ว จะต้องจัดให้สายพานขวางเส้นแรก มีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่าชุดถัดๆ มา และ ออกแบบให้ขั้วแม่เหล็กชุดบนสามารถเลื่อนขึ้นลง เพื่อจัดระยะของช่องว่างได้ โดยทั่วไปขั้วแม่เหล็กชุดสุดท้ายจะมีช่องว่างแคบที่สุด เพื่อดึงดูดเอาแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างอ่อนที่สุดไว้ ส่วนความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถปรับได้โดยการปรับกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่พันขั้วแม่เหล็กอยู่ แร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก จะถูกลำเลียงไปตามสายพานลำเลียงแร่ป้อนจนสุดสายพาน แล้วจึงหล่นออกไปโดยมีภาชนะรองรับ ดังนั้น จึงสามารถแยกเอาแร่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารแม่เหล็กออกจากแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กได้ เครื่องแยกแร่ชนิดนี้ สามารถปรับความเร็วของสายพานป้อนแร่ และ สายพานขวางได้ ในการแยกนั้นความเร็วของสายพาน, ระยะช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กบนและล่าง และความเข้มของสนามแม่เหล็ก จะต้องจัดให้เหมาะสมจึงจะทำให้การแยกได้ผลดีที่สุด ส่วนแร่ที่จะป้อนเพื่อทำการแยกนั้นควรผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงมาแล้วเป็นอย่างดีและแร่จะต้องแห้ง ส่วนแร่ที่เปียกชื้นนั้นจะแยกไม่ได้ผลดี เครื่องแยกแร่เหล็กชนิดสายพานขวางมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมักจะนำมาใช้แยกแร่จำพวก แร่อิลเมไนท์ ดีบุก โมนาไซด์ การ์เนต์ วุลแฟม เป็นต้น.



รูปที่ 2.3 เครื่องแยกแร่แบบแห้ง ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดสายพานขวาง

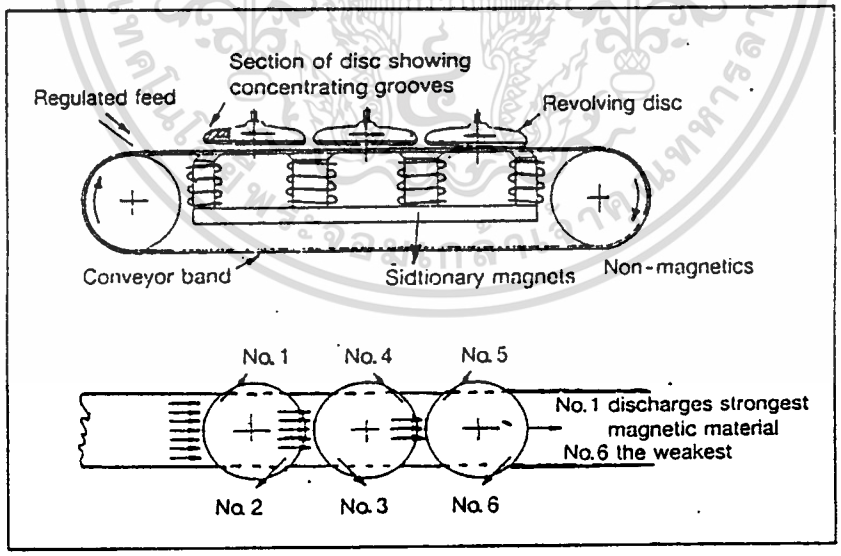
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2) เครื่องแยกแร่ชนิดจานหมุน

เครื่องแยกแร่ชนิดจานหมุน (Disc Magnetic Separator) เป็นเครื่องแยกแร่ที่ได้รับการพัฒนามาจากชนิดสายพานขวาง แต่ต่างจากชนิดสายพานขวางตรงที่ใช้จานซึ่งมีขอบรูปลิ่มร่องยาว(Grooved Disc) แทนสายพานขวาง ซึ่งขอบรูปลิ่มยาวจะทำให้เกิดค่าแกรเดียนท์ ของสนามแม่เหล็ก มีค่าสูง ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กสามารถปรับได้โดยการยกจานหมุนให้สูงหรือต่ำลง และสามารถปรับความเอียงของจานหมุนได้ ซึ่งจะทำให้ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กที่ขอบหน้ามากกว่าขอบหลัง ทำให้แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กสองชนิดที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กต่างกันแยกออกจากกันได้ ส่วนใหญ่เครื่องแยกแร่ชนิดจานหมุนใช้กันอยู่มี 2 แบบคือ

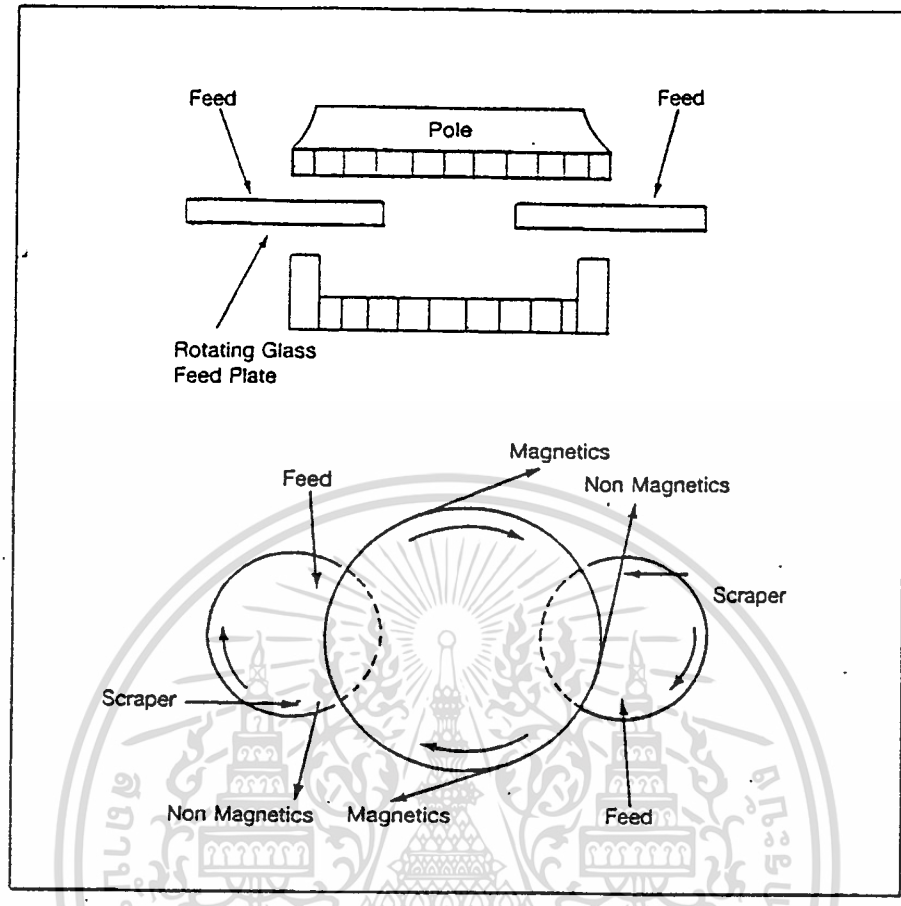
1.) แบบแรปิด(Rapid) แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

2.) แบบแมคลีน (Mclean) ซึ่งมีจานหมุนเพียงจานเดียว แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 เครื่องแยกแร่แบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดจานหมุนแรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เครื่องแยกแร่แบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดจานหมุนแมคลีน

เครื่องแยกแร่ชนิดแรปิด ผลิตโดย Boxmag Rapid Ltd. ประเทศอังกฤษ สามารถลดช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก และสายพานลำเลียงแร่ป้อนได้แคบกว่าเครื่องแยกแร่ชนิดสายพานขวาง และ สามารถเลือกแยกแร่ได้ดีกว่าด้วย

ลักษณะของเครื่องจะมีการจัดเรียงจานหมุนเป็นแบบอนุกรม ซึ่งมีขอบรูปลิ่มร่องยาว ตามแนวเส้นรอบวงของจานหมุนอยู่ข้างบนสายพานลำเลียงแร่ป้อน โดยมีสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวดไฟฟ้าติดตั้งอยู่กับที่ใต้สายพาน ดังรูปที่ 2.4 จานหมุนชุดแรกๆ จะมีช่องว่างห่างจากจานหมุนชุดท้ายๆ ซึ่งจะทำให้แต่ละจานหมุนทำการแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก ซึ่งมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กต่างๆกันได้ ความเข้มสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นจากจานหมุนแรกไปยังจานหมุนสุดท้ายซึ่งปรับได้โดยการจัดระยะห่างระหว่างจานหมุนกับสายพาน หรือ ปรับความเอียงของจานหมุน หรือ โดยการปรับกระแสไฟฟ้าของแต่ละขดลวดแม่เหล็ก เมื่อป้อนแร่ที่คัดขนาดมาแล้ว เม็ดแร่จะผ่านเข้าไปยังสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงขึ้นเรื่อยๆ แร่ที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกดูดติดขึ้นมาตามช่องว่างของจานหมุน ส่วนแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะลำเลียงไปตามสายพาน เครื่องแยกแร่แบบนี้มักมีจำนวนจานหมุน 2 จานหรือ 3 จาน ซึ่งมันสามารถทำการเลือกแยกแร่ชนิดต่าง ๆ ออกมาในแต่ละช่องว่างเป็นพวกๆ ได้ดี แม้ว่าแร่ต่างๆ เหล่านั้นจะมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็ตาม การทำงานตามปกติของเครื่องแยกแร่แบบนี้ความเข้มสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่ใช้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 8,000 เกาส์ ถึง 15,000 เกาส์ ซึ่งเพียงพอที่จะดูดเอาแร่ที่เป็น สารแม่เหล็กอย่างอ่อนขึ้นมาได้

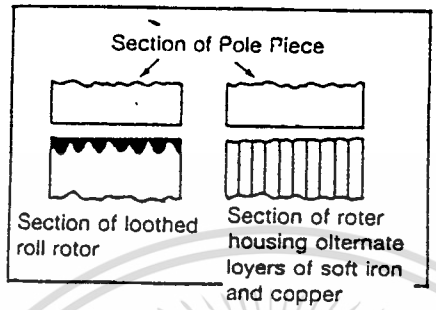
ส่วนเครื่องแยกแร่ชนิดจานหมุนแบบแมคลีน จะใช้หลักการแยกแร่คล้ายกับแบบแรปิดแต่มีจานหมุนอยู่เพียงจานเดียว โดยใช้แผ่นแก้วหมุนป้อนแร่เข้าไปแทนสายพาน ซึ่งแสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.5

เครื่องแยกแร่แบบแรปิด และ แบบแมคลีน มักนิยมใช้แยกแร่ที่ฝังตัวอยู่ตามชายหาดซึ่งเกิดจากชายหาด(Beach Sand Deposit) และแหล่งลานแร่ (Alluvial Deposit) เช่น แยกแร่ การ์เนต(Garnet)ออกจากแร่โมนาไซด์ (Monazite) และ แยกแร่โมนาไซด์ออกจากแร่ซีโนไทม์(Xenotime) ซึ่งขบวนการแยกแร่จากแหล่งลานแร่ มักจะใช้ เครื่องแยกแร่แบบลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ(Induced Roll Magnetic Separator) แยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กทั้งหมดออกมาก่อน เพราะมีความจุได้มากแล้วจึงใช้เครื่องแยกแร่แบบจานหมุนทำการเลือกแยก(Selectivity) อีกทีหนึ่ง ซึ่งการเลือกแยกของเครื่องแยกแร่แบบจานหมุนจะดี แต่ความจุจะต่ำ

2.1.2.3) เครื่องแยกแร่ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

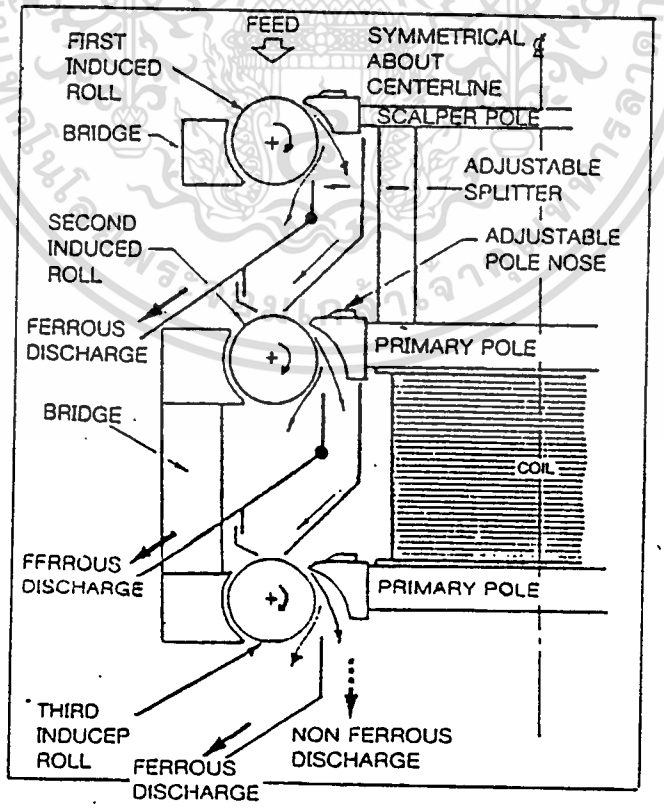
เครื่องแยกแร่ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (Induced Magnetic Roll Sepatator) ถูกนำมาใช้ในเชิงพานิชณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2451 เพื่อแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กพารา และได้มีการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วมี 2 ชุดประกอบกัน ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กจะมี ลูกกลิ้ง(Roll) ภายในลูกกลิ้งกลวง บนลูกกลิ้งจะมีแถบเหล็กอ่อน ที่มีคาร์บอนน้อย(Low Carbon) สลับกับวัตถุที่ไม่ติดแม่เหล็ก เช่น ทองแดง หรือ อลูมิเนียม และอาจทำให้มีรูปร่างเป็น รูฟันเลื่อย(Tooth) ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะส่วนประกอบต่างๆ ของลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

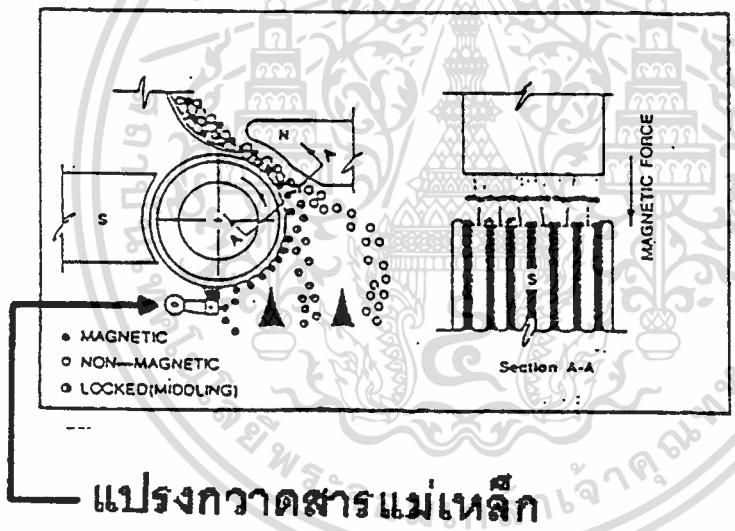
ลูกกลิ้งทำหน้าที่เป็นขั้วแม่เหล็ก เพราะได้รับความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยการเหนี่ยวนำให้แร่ติดแม่เหล็กเกาะติด อีกทั้งยังทำหน้าที่ป้อนแร่อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องแยกแร่แบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ 3 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติได้มีการออกแบบให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กของลูกกลิ้งแต่ละลูกไม่เท่ากัน คือลูกบนสุดจะมีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าลูกล่าง เรียงตามลำดับนั้น เพื่อแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก ตามลำดับความไวต่ออำนาจแม่เหล็กของแร่ชนิดต่างๆ ที่ทำการแยก เมื่อลูกกลิ้งหมุนตามทิศลูกศรชี้ เม็ดแร่จะผ่านลูกกลิ้งลูกแรกไปซึ่งจะแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างแรงก่อน ส่วนแร่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะถูกเหวี่ยงออกไปจากลูกกลิ้งแรกตกไปยังลูกกลิ้งตัวถัดไป ซึ่งอยู่ด้านล่าง จะทำหน้าที่แยกแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะได้แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างอ่อน ตามลำดับ ปกติเราจะติดแปรงไว้ใต้ลูกกลิ้งดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะในการติดแปรงใต้ลูกกลิ้ง

การติดแปรงใต้ลูกกลิ้ง เพื่อป้องกันแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างแรง ซึ่งไม่ยอมหลุดจากลูกกลิ้งทำให้เป็นอุปสรรคต่อการแยกแร่ ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กที่ป้อนของลูกกลิ้ง สามารถปรับค่าได้ โดยลูกกลิ้งบนเครื่องเคลื่อนหาสู่ลูกกลิ้งล่าง เพื่อแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กตามลำดับความไวต่ออำนาจแม่เหล็กของแร่ชนิดต่างๆ ที่ทำการแยก

เครื่องแยกแร่โดยใช้แม่เหล็กชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำนี้ สามารแยกแร่ที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอน ถึง 2 mm แต่แร่ที่จะนำมาแยกนั้นควรผ่านการคัดขนาดมาเป็นอย่างดี มิฉะนั้นแล้วการแยก จะไม่ค่อยได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

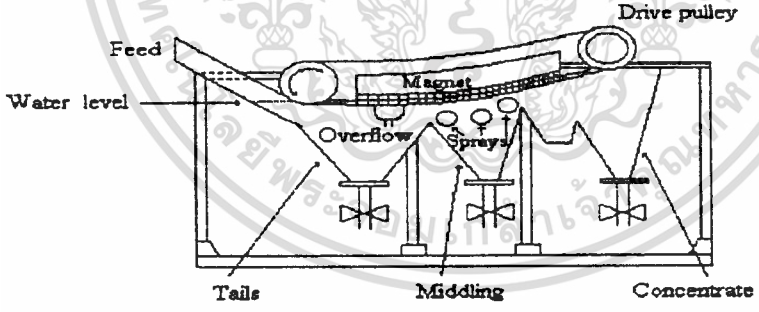
2.2 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบเปียก(Wet magnetic Separator)[2]

แบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามความเข้มสนามแม่เหล็ก คือ พวกความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ และ พวกความเข้มสนามแม่เหล็กสูง

2.2.1 เครื่องแยกแร่แบบเปียกด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ(Wet Low intensity Magnetic Separator , WLIMS)

นิยมใช้กันมากในการแยกเอาแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างแรง เช่น เฟอโรซิลิกอน (Ferrosilicon) โดยที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ

2.2.1.1) เครื่องแยกแร่ชนิดครอกเก็ต (Crokett Separator) ซึ่งชนิดนี้ออกแบบมาในยุคต้นๆ (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดครอกเก็ต

เครื่องแยกแร่แบบนี้มีขั้วแม่เหล็กถาวร วางสลับขั้วกัน มีสายพานหมุนอยู่ใต้ขั้วแม่เหล็กและ สายพานส่วนล่างจมอยู่ใต้ระดับน้ำ เมื่อสายพานเคลื่อนที่ แร่ที่ป้อนซึ่งเปียกจะถูกพาไปใต้ขั้วแม่เหล็ก แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กจะถูกดูดติดสายพานไปจนพ้นสนามแม่เหล็กแล้วจึงปล่อยลงในช่องรองรับแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก (ซึ่งอาจจะใช้น้ำฉีดล้างเข้าช่วย) ส่วนแร่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะแยกตัวออกมาในตอนแรก และ ตกลงไปในช่องรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

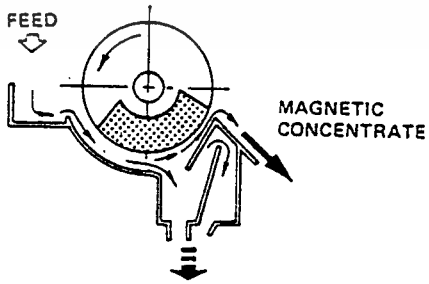
รับแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กอีกต่างหากการที่มีแม่เหล็กถาวรวางสลับขั้วกัน นั้นทำให้แร่มลทินที่เป็นสารแม่เหล็กที่ติดมามีโอกาสแยกหลุดออกมาในขณะที่มันเคลื่อนที่ไปตามสายพานเครื่องแยกแร่แบบนี้นิยมใช้แยกแร่ละเอียด และแร่ที่ติดแม่เหล็กได้ดีในน้ำ เช่น แร่แมกนีไทต์ แร่อิลมไนต์ และ ใช้สำหรับทำความสะอาดเฟอโรซิลิคอน

ปกติแร่ที่นำมาแยกไม่ควรให้เกาะติดกันเป็นก้อน การแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กในน้ำนั้น แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กจะต้องแรงพอที่จะชนะแรงด้านของน้ำด้วย

2.2.1.2) **เครื่องแยกแร่ชนิดกระบอกกลม**

เครื่องแยกแร่ชนิดกระบอกกลม (Drum Magnetic Separator) มีการออกแบบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแร่ที่ป้อน เช่น ปริมาณแร่ในของผสมที่ป้อน ขนาดแร่ที่ป้อน ปริมาณของแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก อัตราป้อนแร่ ซึ่งมีการออกแบบรูปร่างของถัง ขนาดกระบอกกลม โครงร่างของขั้วแม่เหล็กลักษณะต่างๆ กันไป แล้วแต่การนำไปใช้งาน เครื่องแยกแบบนี้จะมีอุปกรณ์ติดตั้งมาก แต่ค่าใช้จ่ายในการทำงาน และมีค่าบำรุงรักษาต่ำ แบ่งออกได้เป็น 3 แบบย่อย ดังนี้

2.2.1.2.1) แบบ Concurrent

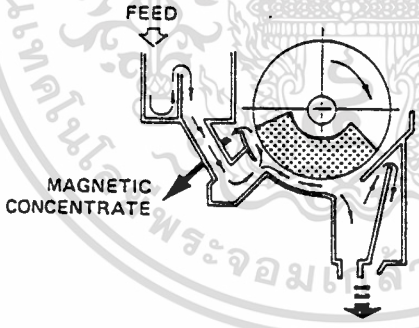


รูปที่ 2.10 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม แบบ Concurrent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแยกแร่แบบนี้มีกระบอกกลม ซึ่งทำหน้าที่แยกแร่หมุนไปตามทิศการไหลของแร่ที่ป้อน (ดูรูปที่ 2.10) แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กถูกนำไปโดยกระบอกกลมผ่านช่องด้านล่างซึ่ง จะถูกอัด และล้างด้วยน้ำก่อนออกไปจากเครื่อง ส่วนแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะจมอยู่ส่วนล่าง โดยทั่วไปในระบบการแยกหนึ่งหน่วยมีการใช้กระบอกกลม 2 หรือ 3 กระบอกติดกัน อัตราการป้อนประมาณ 75 ถึง 125 แกลลอนต่อนาทีต่อความกว้างแม่เหล็ก เหมาะสำหรับแยกแร่ขั้นต้น เช่น แร่ติดแม่เหล็กขนาดเล็ก โดยแร่ป้อนมีขนาดเล็กกว่า 1/4 นิ้ว ใช้ในการแยกหินแทคโคไนต์ (Taconite) ที่ถูกบดด้วยเครื่องบดลอดมิล (Rod Mill) และ ใช้ในการแยกเฟอโรซิลิคอน ส่วนหางแร่จะนำไปแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก แบบ Counrter - Rotating

2.2.1.2.2) แบบ Counter-Rotation (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม แบบ Counter-rotation

เครื่องแยกแร่แบบนี้จะป้อนของผสมที่มีปริมาณของแข็งสูง ไปในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนของกระบอกกลมปล่อยออกไปทางช่องหัวแร่ โดยทั่วไปเครื่องแยกหนึ่งหน่วยใช้กระบอกกลม 2 กระบอก อัตราการป้อนประมาณ 75 ถึง 100 แกลลอนต่อนาทีต่อฟุตความกว้างแม่เหล็ก ขนาดของแร่ที่ป้อนที่เหมาะสมในการแยกคือ เล็กกว่า 37 ไมครอน เหมาะสำหรับแยกแร่ในขั้นหยาบซึ่งจะสูญเสียแร่น้อย แต่หัวแร่ไม่ค่อยสะอาด เครื่องจะทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนได้ดี ใช้แยกหางแร่ที่มาจากเครื่อง-

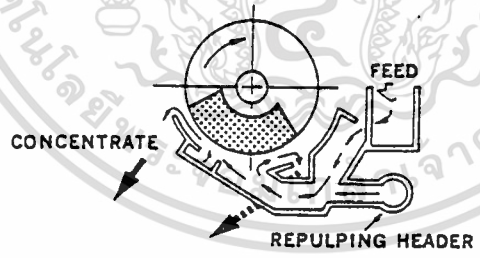
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แยกแบบ Concurrent สามารถแยกมัชฌิมหนัก เพื่อต้องการเก็บแร่แมกนีไทต์ หรือ เฟอโรซิลิคอน ให้มาก และนิยมใช้แยกหินแทคโคไนต์ ที่ถูกบดด้วยเครื่องบดลอดมิล (Rod Mill)

2.2.1.2.3) **แบบ Counter Current** (รูปที่ 2.12)

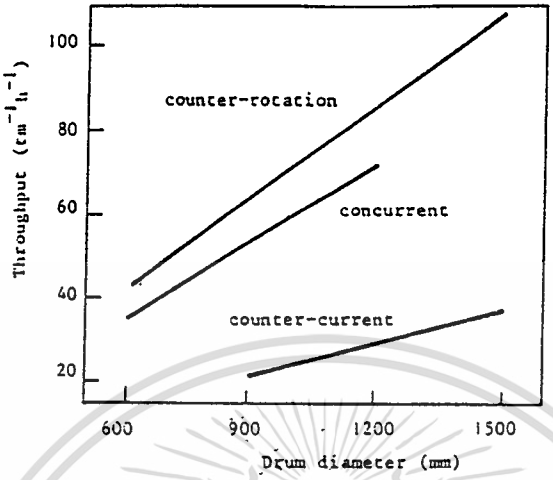
เครื่องแยกแร่แบบนี้จะมีการป้อนแร่ไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของกระบอกกลม แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กจะดูดติดกับกระบอกกลม และ ถูกฉีดล้างด้วยน้ำก่อนที่จะออกไปจากเครื่อง เพื่อให้ได้หัวแร่ที่สะอาด หางแร่จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของกระบอกกลมแล้วตกลงไปในช่องหางแร่ อัตราการป้อนแร่ประมาณ 40 ถึง 60 แกลลอน ต่อฟุตความกว้างแม่เหล็ก ในเครื่องแยกหนึ่งหน่วยอาจมีกระบอกกลม 2 หรือ 3 กระบอก เหมาะสำหรับการแยกแร่ในขั้นสุดท้าย โดยใช้แยกแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 24 ไมครอน เพื่อให้ เก็บแร่ได้ดี และได้หัวแร่ที่สะอาด



รูปที่ 2.12 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ ชนิดกระบอกกลม แบบ Counter-current

ซึ่งความจุของเครื่องแยกแร่แบบกระบอกกลมทั้ง 3 ชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.13 และ ตารางที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
24788



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ของเครื่องแยกแร่กระบอกกลม ชนิดต่าง ๆ กับ ความจุ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าความจุของครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก ชนิดกระบอกกลม แบบต่างๆ

Drum diameter (mm)	Concurrent drum Capacity (t /m h)	Counter rotation drum Capacity (t /m h)	Counter current drum capacity (t /m h)
600	35	40	-
900	50	60	20
1200	-	85	30
1500	-	100	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

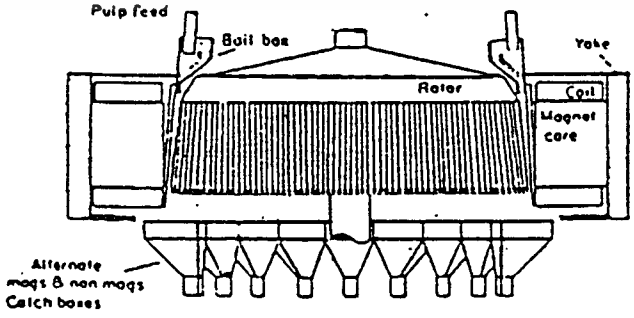
2.2.2 เครื่องแยกแร่แบบเปียกด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง(Wet High Intensity Megnetic Separator , WHIMS)

เครื่องแยกแร่แบบเปียกด้วยความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ส่วนใหญ่ใช้ในการแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กพารา ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ในรูปของเหลว หรือ สารแขวนลอย

เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ที่ได้มีการพัฒนา และประยุกต์ใช้จาก อดีตจนถึงปัจจุบัน มีดังนี้

2.2.2.1) เครื่องแยกแร่ชนิดกิลล์

เครื่องแยกแร่ชนิดกิลล์ (Gill Separator) นี้ สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1964 เป็นแบบที่ได้พัฒนามาจากเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูงแบบลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ประกอบด้วย ถังหมุน ที่มีร่องเรียงกันโดยรอบ และหมุนรอบแกนดิ่ง แร่ป้อนผสมน้ำ (Slurry) จะถูกป้อนไปตามร่องซึ่งอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า แร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะผ่านออกไปยังถังเก็บแร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก ส่วนแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก จะค้างอยู่บนร่องเหล่านั้น และ จะถูกพาออกไปจากสนามแม่เหล็ก และหล่นเข้าไปอยู่ในถังเก็บแร่ที่เป็นสารแม่เหล็ก ใช้แยกแร่ที่ติดแม่เหล็กได้ง่าย เช่น ใช้แยกแร่อิลเมไนต์ จากเหมืองชายหาด เช่นใน ประเทศออสเตรเลีย และมาเลเซีย แต่ไม่เหมาะที่จะแยกเอาแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอ่อน ๆ เช่น แร่ฮีมาไทต์ (Haematite)

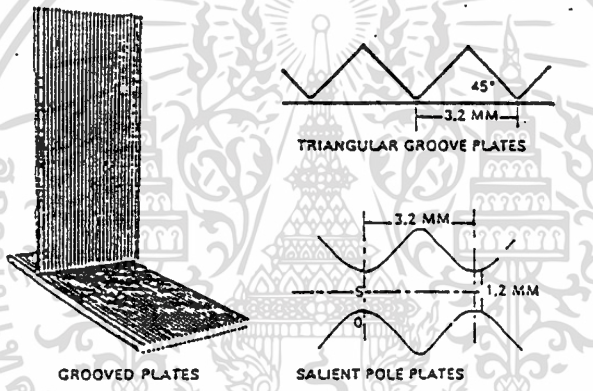


รูปที่ 2.14 เครื่องแยกแร่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแบบเปียก ชนิดกิลล์

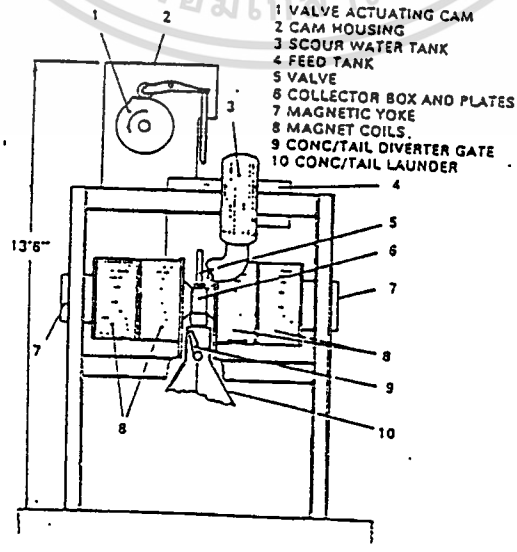
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2) เครื่องแยกแร่ชนิดถังคารูเซล

เครื่องแยกแร่ชนิดถังคารูเซล (Carousel Serparator) เป็นเครื่องแยกแร่ ที่มาจากความคิดของ G.H.Jones ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาจาก ชนิดกิลล์ ซึ่งในชนิดกิลล์นั้น แร่ที่เป็นสารแม่เหล็กจะถูกดูดให้ติดกับผิวของตัวหมุน ซึ่งทำให้พื้นที่ในการเก็บแร่มีน้อย เครื่องแยกแร่ของโจนส์จึงออกแบบแผ่นที่เป็นร่อง มาทำเป็นเมทริกซ์โดยนำมาซ้อนกันเองเป็นชุดๆ แทน ทำให้มีพื้นที่ในการเก็บแร่เพิ่มขึ้นหลายเท่า และความเข้มสนามแม่เหล็กก็สูงกว่าแบบกิลล์



รูปที่ 2.15 เมทริกซ์ซึ่งมีรูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่อง ในเครื่องแยกแร่ของโจนส์



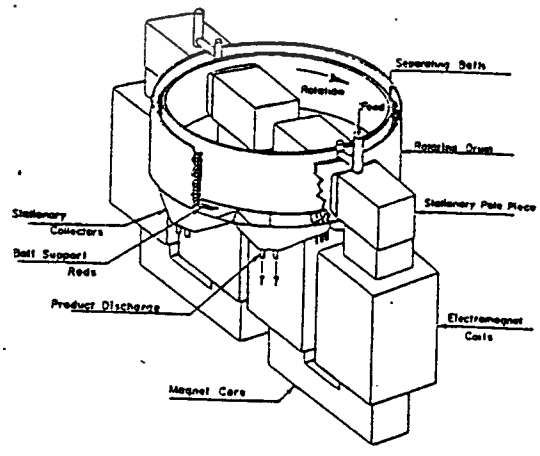
รูปที่ 2.16 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กสูงของโจนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีความพยายามที่จะสร้างเครื่องมือชนิดโจนส์ให้ทำงานแบบต่อเนื่อง ซึ่งได้พัฒนามาโดย การใส่เมทริกซ์ เข้าไปไว้ในช่องวงแหวน ที่อยู่บนขอบนอกของตัวหมุน เรียกว่า ถังคารูเซล ซึ่งจะติดอยู่กับแกนหมุน เมทริกซ์อาจทำมาจาก ลูกเหล็กกลม ,แผ่นที่เป็นร่อง ,แผ่นเหล็กรูปตาราง และฝอยเหล็ก เป็นต้น. แร่ที่ป้อนเข้ามาผสมน้ำจะป้อนเข้ามาในช่องวงแหวน ซึ่งหมุนไปตามถังคารูเซลภายใต้สนามแม่เหล็กความเข้มสูง ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดแกรเดียนท์สนามแม่เหล็กขึ้นบนเมทริกซ์ แร่ที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะไหลผ่านออกไปช่องหนึ่ง ส่วนแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กก็จะดึงดูดติดกับเมทริกซ์ และจะหมุนตามถังคารูเซลออกไปนอกสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะถูกล้างด้วยน้ำให้ไหลไปยังอีกช่องหนึ่ง เครื่องแยกแร่ในลักษณะนี้อาจเรียกว่า เครื่องแยกแร่ชนิดถังคารูเซล ซึ่งมีการออกแบบ ออกไปหลายๆ ลักษณะดังนี้

2.2.2.2.1) ชนิด Garpco Separator

Carpco - Amax Separator หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Carpco Separator เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง (WHIMS) เครื่องแรกที่สร้างขึ้นมาใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยมีลักษณะของถังคารูเซลที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยมีเมทริกซ์ที่บรรจุในช่องวงแหวนเป็นแบบลูกเหล็กกลม ทำจากเหล็กอ่อน ซึ่งสามารถทำให้มีความชันแม่เหล็กสูง ความจุต่อขั้วแม่เหล็กของเครื่อง ขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็ก



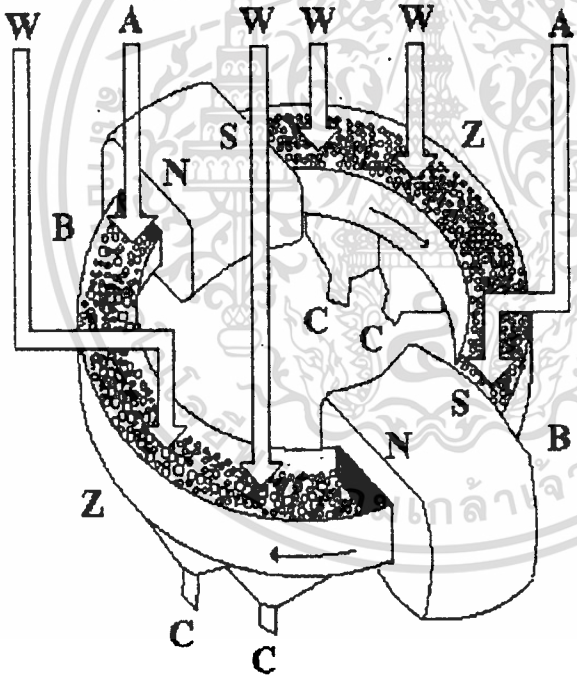
รูปที่ 2.17 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล Carpco Separator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็น 22000 เกาส์ จะมีความจุ 1 ตันต่อชั่วโมงต่อขั้วแม่เหล็ก และ ถ้าลดความเข้มลงเป็น 12000 เกาส์ ความจุจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 ตันต่อชั่วโมงต่อขั้วแม่เหล็ก ซึ่งในอาฟริกาใต้ใช้ในการลดปริมาณเหล็กจากแร่ฟอสเฟต

2.2.2.2.2) ชนิด Krupp Sol Separator

บริษัท Sala Magnetics, Inc. ได้ออกแบบเครื่องแยกแร่ชนิดถังคารูเซล โดยการใช้ลวดโซลีนอยด์ แทนวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่วๆ ไป ทำให้มันมีน้ำหนักน้อยกว่า Carpco Separator และใช้ลูกเหล็กกลม เป็นเมทริกซ์ คล้าย Carpco Separator



รูปที่ 2.18 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสูง ชนิดถังคารูเซล Krupp Sol Separator

A คือ แร่ป้อนผสมน้ำ B คือ ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก

C คือ ส่วนที่ติดแม่เหล็ก W คือ น้ำ

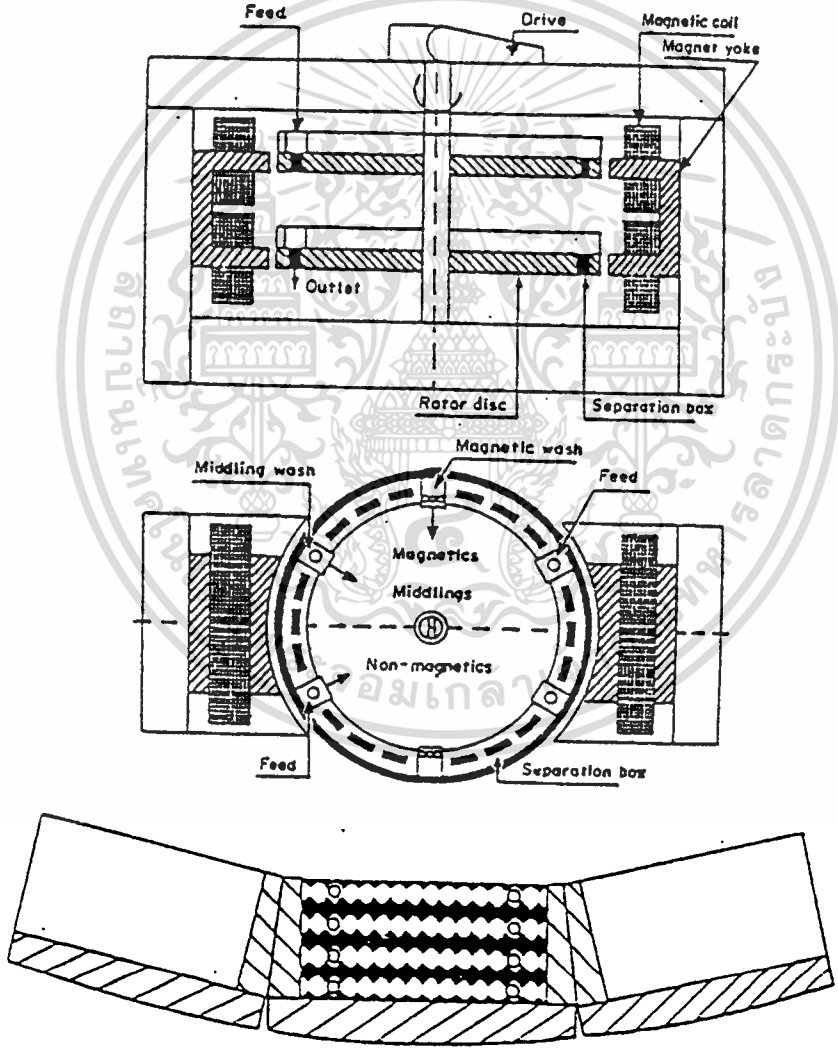
Z คือ บริเวณกึ่งสาร(Middling)

N,S คือ ขั้วเหนือ - ใต้ ของแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2.3) ชนิด Jones Separator

Himbolt Division of Klockaer Humbolt-Deutz A.C. แห่งโคโลญน์ ประเทศสาธารณรัฐเยอรมันตะวันตก ได้พัฒนาเครื่องแยกแร่ของโจนส์โดยใช้ถังคารูเซล นำไปใช้แยกแร่ ฮีมาไทต์ ขนาดละเอียด ในเชิงพาณิชย์ได้ดี



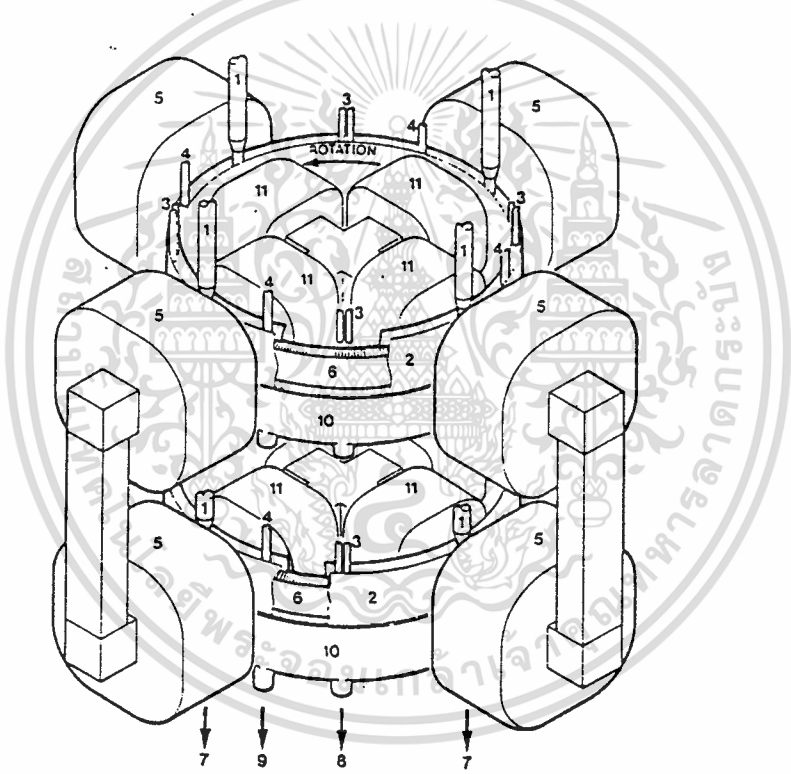
รูปที่ 2.19 (ก) รูปร่างและการทำงานของเครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสูง ชนิดถังคารูเซล Jones Separator

(ข) เมทริกซ์รูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องใน Jones Separator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2.4) ชนิด Boxmag-Rapid Separtor

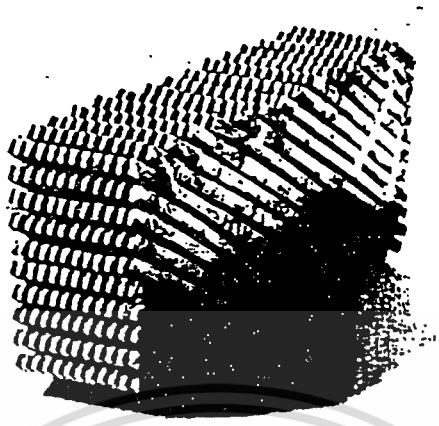
ออกแบบโดย บริษัท Boxmag - Rapid Ltd. แห่งเมืองเบอมิงแฮม ประเทศอังกฤษ ประกอบด้วยขั้วแม่เหล็ก 4 ชุด โดยที่ ภายในช่องที่แยกแร่มีเมทริกซ์ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม(Stainless Steel) ซึ่งมีรูปร่างเป็น Wedge - Bar คล้ายกับที่ใช้ในตะแกรงสั่นสำหรับการคัดขนาดเม็ดเล็ก ๆ



รูปที่ 2.20 เครื่องแยกแร่แบบเปียกความเข้มสูง ชนิดถังคารูเซล Boxmag - Rapid รุ่น HIW8

1. ท่อส่งป้อนแร่
2. ถังหมุน
3. น้ำฉีดแร่แรงดันสูง
4. น้ำฉีดแร่แรงดันต่ำ
5. ขดลวดด้านนอก
6. ตะแกรงเมทริกซ์
7. แร่ไม่ติดแม่เหล็ก
8. แร่ติดแม่เหล็ก
9. แร่คละ
10. ถังแบ่งแร่
11. ขดลวดด้านใน

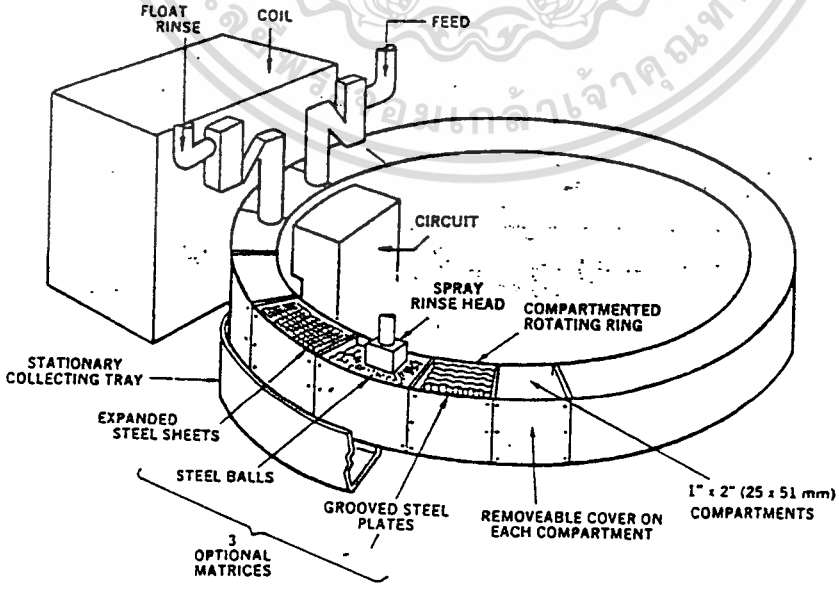
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แมทริกซ์รูป Wedge-Bar ซึ่งใช้ใน Boxmag-Rapid Separator

2.2.2.2.5) ชนิด Eriez Separator

เครื่องแยกแร่ Eriez Separator ก็เช่นเดียวกันกับ Carpco Separator มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง โดยใช้ถังคารูเซล โดยแม่เหล็กให้ความเข้มเหนี่ยวนำถึง 1.2 เทสลาร์ ส่วนเมทริกซ์จะใช้ชนิดทั่วๆ ไป อาจจะเป็น ลูกเหล็กกลม หรือ ใช้แผ่นที่เป็นร่อง(Grooved Plate) และมีความจุตั้งแต่ 1 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป เป็นไปตามแบบต่าง ๆ

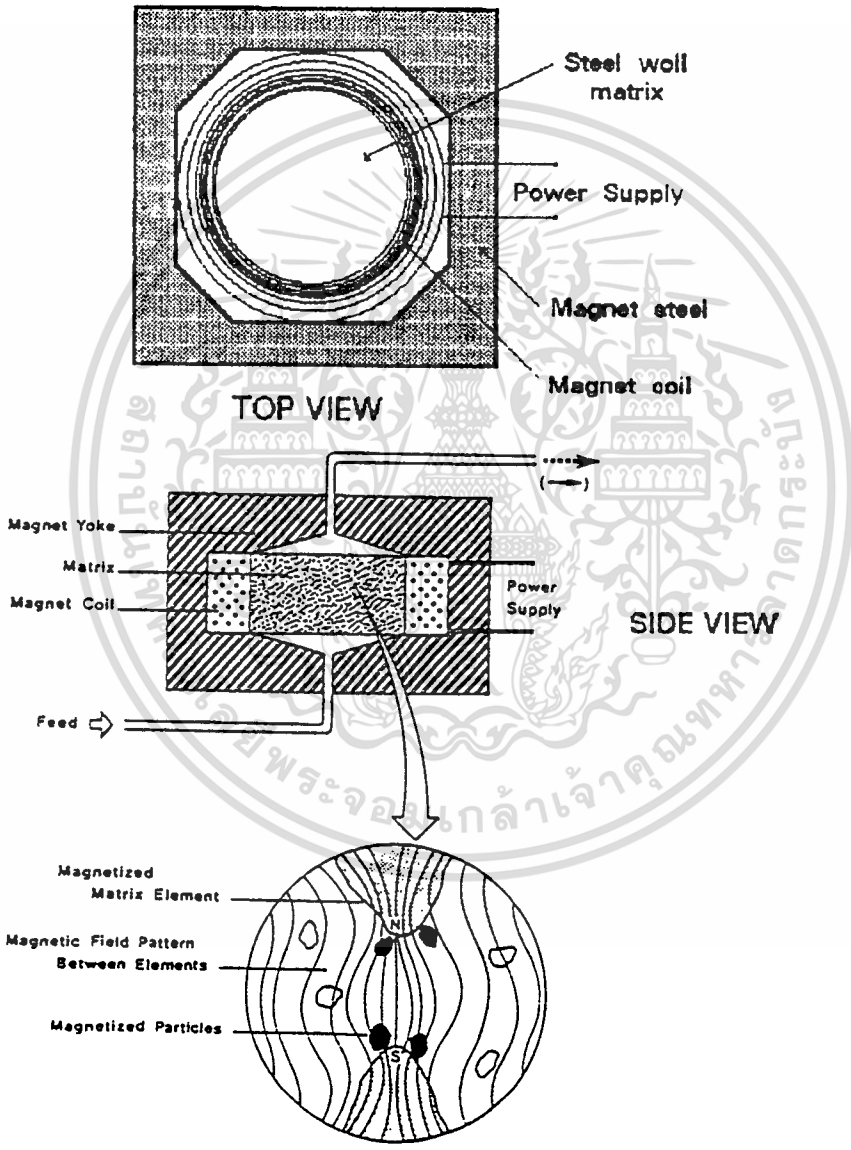


รูปที่ 2.22 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดถังคารูเซล แบบ Eriez

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3) เครื่องแยกแร่ชนิดคานิสเตอร์ (Canister-type Separator)

ได้มีการพัฒนาเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ซึ่งออกแบบโดยใช้ระบบ Iron-Clad Soleroid ซึ่งใช้หลักการของ ขดลวด Solenoid ซึ่งสามารถแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน ๆ ออกจากของไหลเมื่อผ่าน เครื่องแยกนี้ได้



รูปที่ 2.23 เครื่องแยกแร่แบบเปียก ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดคานิสเตอร์

เครื่องประกอบด้วยเมทริกซ์ ซึ่งเป็นฝอยเหล็กกล้าไร้สนิม(Stainless Steel Wool) บรรจุอยู่ในทรงกระบอกซึ่งมีปริมาตรประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 ของช่องว่างทรงกระบอกทั้งหมด ช่องว่างนี้มีสนามแม่เหล็กความเข้มสูง และสม่ำเสมอ ป้อนอยู่ซึ่งทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความข้นของสนามแม่เหล็กมีค่าสูงถึง 1 กิโลเกาส์ต่อไมโครเมตร แร่ป้อนผสมน้ำจะถูกป้อนทางด้านล่าง และแร่เป็นสารแม่เหล็กอย่างอ่อนๆ จะถูกดูดติดกับเมทริกซ์ ส่วนแร่ไม่เป็นสารแม่เหล็กจะผ่านออกไป ซึ่งการทำงานของเครื่องแยกแร่จะทำงานเป็นจังหวะ กล่าวคือ เมื่อมีแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กเกาะอยู่บนฝอยเหล็กกล้าไร้สนิม ปริมาณพอควรก็จะหยุดป้อนสนามแม่เหล็กให้แก่เครื่องแยกแล้วจึงนำน้ำมาฉีดทำความสะอาดเพื่อล้างเอาแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กออกไปจากฝอยเหล็กกล้านั้น (ถ้าไม่ทำการล้างด้วยน้ำแล้วความสามารถในการรับแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างอ่อนๆ ของฝอยเหล็กกล้าจะลดลง เนื่องจากมีแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กมาเกาะอยู่มากเกินไป) ซึ่งจะเห็นได้ว่า เครื่องแยกแร่ระบบนี้ จะมีอัตราส่วนของโลหะเหล็กที่ใช้ทำเมทริกซ์ ต่อช่องว่างที่ใช้ในการแยกน้อยกว่าระบบที่ใช้ในวงจรโลหะเหล็ก(Iron Circuit) จึงทำให้เครื่องแยกแร่ชนิดนี้มีน้ำหนักน้อยเมื่อเทียบกับความจุ แต่มีข้อเสีย คือ เครื่องแยกต้องใช้ขดลวดทองแดงหรือ อลูมิเนียมมาก และใช้พลังงานมาก

เครื่องแยกแร่ชนิดนี้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมดินขาว ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา และ ที่ Cornwall ประเทศอังกฤษ โดยใช้แยกแร่ที่มีส่วนประกอบของธาตุเหล็ก และธาตุไทเทเนียม ซึ่งมีขนาดเล็ก ซึ่งเจือปนอยู่ออกไป

2.2.2.4) เครื่องแยกแร่ชนิดตัวนำยิ่งยวด (Superconducting Separator)

มีผู้นำเอาเทคนิคของการเป็นตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิต่ำ(Cryogenic Superconductor) ของโลหะผสมบางชนิดมาประยุกต์ใช้กับเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก ตัวอย่างเช่น โลหะผสมไนโอเบียมแทนทาลัม (Niobium - Tantalum) ที่อุณหภูมิ 4.2 เคลวิน ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายใต้ ฮีเลียมเหลว(Liquid Helium) และเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำพิเศษดังกล่าวแล้วจะมีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ต่อเนื่อง โดยไม่ต้องต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และจะทำให้ขดลวดกลายเป็นขั้วแม่เหล็กถาวรที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ และมีความเข้มสูงมากมาย มหาศาล ซึ่งสูงถึง 150,000 เกาส์ อย่างสม่ำเสมอ ความข้นสนามแม่เหล็กมากกว่า 7,000 เกาส์ต่อเซนติเมตร ได้มีการทดลองเครื่องแยกต้นแบบ และเชื่อว่าหากสามารถพัฒนาเครื่องแยกให้มีความจุของแร่ป้อนให้ถึง 100 ตันต่อชั่วโมงแล้วก็จะคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ได้คำนึงถึงต้นทุนของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ใช้

ค่าใช้จ่ายในการนำเอาฮีเลียมเหลว, ไฮโดรเจนเหลว หรือ ไนโตรเจนเหลวนกลับมาใช้เพื่อทำเป็นตัวหล่อเย็น(Coolant) ทำให้อุณหภูมิต่ำลง

อย่างไรก็ตามจากการที่ได้พบสารตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูงขึ้น(High Temperature Superconductor) เมื่อเร็วๆ นี้นั้น คาดว่าจะพัฒนาเทคนิคนี้ในการแยกแร่ในอนาคตได้ในราคาที่ถูกลง

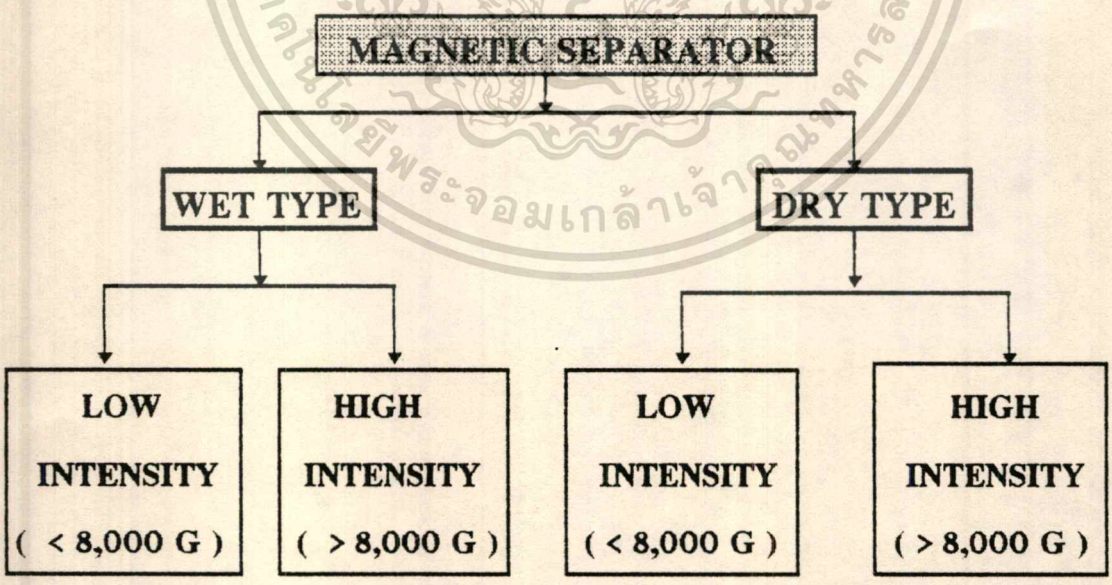
ในการเลือกชนิดของเครื่องแยกแร่สำหรับนำไปใช้งาน จากการที่เราทราบมาแล้วว่าเครื่องแยกแร่แบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ แบบแห้ง และแบบเปียก ซึ่งเครื่องแยกแร่ดวัยสนามแม่เหล็กแบบแห้ง ที่กล่าวมาตอนต้นนั้น นิยมใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กมากกว่า 80 ปีที่แล้วมา อย่างไรก็ตามการแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กแบบแห้งจะได้ผลดีก็ต่อเมื่อขนาดของเม็ดแร่ที่ทำการแยกมีขนาดโตกว่า 200 เมช(หรือ 74 ไมครอน) เนื่องจากประสิทธิภาพของการแยกแร่แบบแห้งจะลดลง ซึ่งเป็นผลการจากแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่ เช่น แรงต้านทานอากาศต่อเม็ดแร่เล็กๆ นั้น แรงดึงดูดระหว่างเม็ดแร่ด้วยกันเอง และแรงอื่นๆ ดังนั้น ถ้าหากต้องการแยกแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กซึ่งมีขนาดเล็กแล้ว ก็สมควรแยกแบบเปียก ในแง่ของเศรษฐศาสตร์แล้ว การแยกแร่แบบเปียกจะดีกว่า ที่ว่าแร่ต่างๆ ที่เกิดตามธรรมชาติ หรือแร่ที่ผ่านขบวนการแยกแร่ด้วยวิธีอื่นมาก่อนแล้วมักจะเปียก ดังนั้นหากสามารถแยกแร่ในสภาพเปียกได้ ก็จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะไม่ต้องทำการย่างแร่ให้แห้งก่อนการแยก นอกจากนั้นวิธีเปียกไม่มีอันตรายต่อสุขภาพในเรื่องฝุ่น

เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกจะดีกว่าแบบแห้ง เพราะสามารถแยกแร่ที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าคือ แบบวิธีแห้งใช้กับวัตถุขนาด 3 มม. ถึง 75 ไมครอน ส่วนแบบวิธีเปียกสามารถแยกได้กับวัตถุที่มีขนาด 1.5 มม. ถึง 10 ไมครอน นอกจากนั้นแล้วการแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ในบางครั้งต้องบดแร่ให้ละเอียด เพื่อให้เม็ดแร่หลุดออกจากกัน ซึ่งในการบดแบบแห้ง อาจมีการสูญเสียแร่ที่เป็นฝุ่น จึงควรเปลี่ยนมาบดแบบเปียก และวิธีการทำให้แร่แห้งอาจเสียค่าใช้จ่ายมาก จึงมีการพัฒนาเครื่องแยกแร่แบบแห้งมาเป็นแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎี

การแยกแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่สนามแม่เหล็ก จะใช้คุณสมบัติที่แตกต่าง ทางด้านการติดแม่เหล็กของแร่ชนิดต่างๆ ทำการแยกแร่ที่ติดแม่เหล็กออกจาก แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ถือได้ว่าเป็นการแต่งแร่ทำให้แร่มีคุณค่าสูงขึ้น เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบเปียก และเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบแห้ง ซึ่งแต่ละชนิดสามารถแบ่งได้อีกตามความเข้มสนามแม่เหล็กคือ เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากกว่า 8000 เกาส์ และเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่า 8000 เกาส์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผัง แสดงการแบ่งชนิดของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 กลุ่มของแร่ตามคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก[4]

แร่ชนิดต่างๆ นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็ก คือ

1.) แร่ไม่ติดแม่เหล็ก (Diamagnetic Mineral)

2.) แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral)

3.) แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral)

3.1.1 <u>แร่ไม่ติดแม่เหล็ก</u>

แร่ไม่ติดแม่เหล็ก เมื่ออยู่ภายในสนามแม่เหล็กจะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายในมีค่าน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากสารแม่เหล็กไดอา มีค่าความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility : K) น้อยกว่าหนึ่ง และมีค่าเป็นลบ เสมอ (ดู ภาคผนวก ข.) จึงถูกผลักออกไปจากบริเวณเส้นแรงแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.2 (ก)

ตัวอย่างแร่ไม่ติดแม่เหล็ก[5] ได้แก่ แร่ควอรตซ์(Quartz) และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

3.1.2 <u>แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน</u>

แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กจะถูกดึงดูดเข้าสู่สนามแม่เหล็ก ไปตามเส้นแรงแม่เหล็กเข้าสู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสูงกว่า ด้วยแรงอย่างอ่อน แสดงดังรูปที่ 3.2 (ข) ดังนั้นจึงสามารถแยกแร่เหล่านี้ออกมาได้ ด้วยเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง สารแม่เหล็กพารามีค่าความไวต่ออำนาจแม่เหล็กน้อยกว่าหนึ่ง แต่มีค่าเป็นบวกเสมอ

ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน[5] ได้แก่ แร่อิลเมไนต์(Ilmenite) ,ฮีมาไทต์ (Haematite) ,โมนาไซต์(Monaszite) ,โครไมต์(Chromite) ฯลฯ

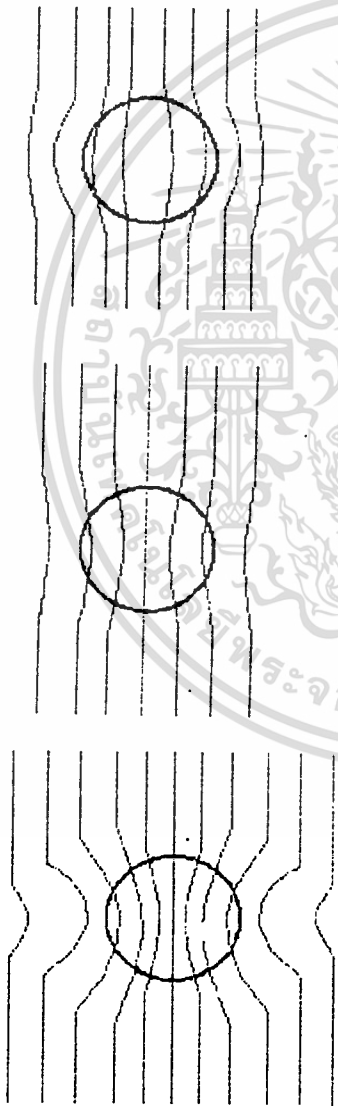
3.1.3 <u>แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง</u>

แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนั้น จัดได้ว่าเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนชนิดพิเศษ คือ สามารถติดแม่เหล็กได้แรงกว่า เพราะมีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านเข้าไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า แสดงดังรูปที่ 3.2 (ค) เนื่องจากมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กสูงกว่า คือ มีค่ามากกว่าหนึ่ง ดังนั้น จึงสามารถแยกแร่เหล่านี้ออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแร่สนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ

ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง [5] ได้แก่ แร่แมกนีไทต์ ,โลหะเหล็ก(iron metal) ฯลฯ



(ก) สารแม่เหล็กไดอา

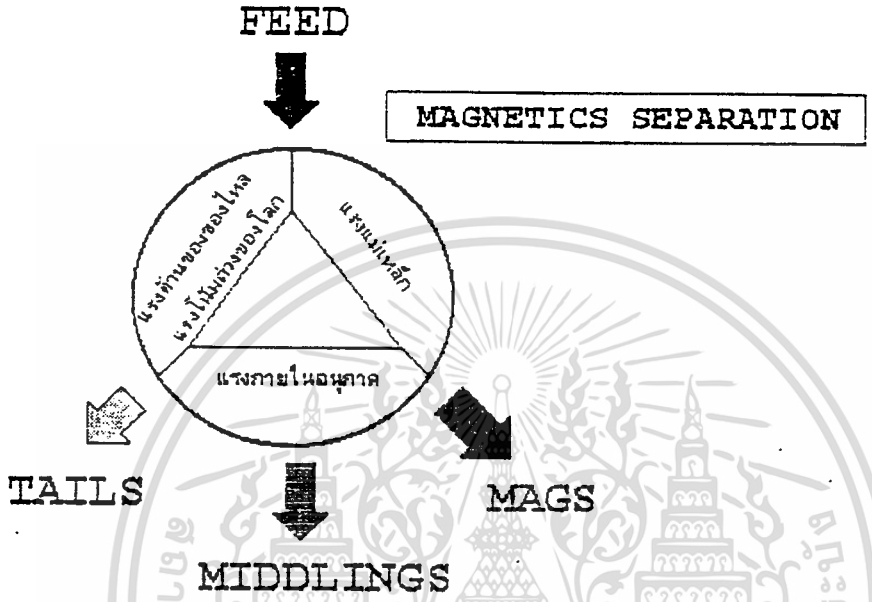
(ข) สารแม่เหล็กพารา

(ค) สารแม่เหล็กเฟอร์โร

รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบ การตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กของสารแม่เหล็กทั้งสามชนิด

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการเบื้องต้นของการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก[6]



รูปที่ 3.3 แผนผัง แสดงการแยกวัสดุด้วยสนามแม่เหล็ก

การแยกด้วยสนามแม่เหล็กเป็นการแยกอนุภาคออกจากกลุ่มของวัสดุที่ต้องการแยกด้วยแรงดึงดูดทางแม่เหล็ก ซึ่งจะต้องเอาชนะ แรงดึงดูดอื่นๆ ที่มาต่อต้าน ได้แก่ แรงต้านเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ,แรงต้านของของไหล และแรงหนีศูนย์กลาง แรงต่างๆ เหล่านี้ก็จะกระทำต่ออนุภาคในวัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องแยก ในลักษณะต่างๆ กัน วัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องแยกจะถูกแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กก็จะเรียกว่า Tails ส่วนที่ประกอบด้วยสารแม่เหล็กเป็นจำนวนมากเรียกว่า Mags และส่วนที่มีสารแม่เหล็กน้อยลงเรียกว่า Middling

แรงดึงดูดแม่เหล็ก ,แรงโน้มถ่วงของโลก ,แรงต้านของของไหล และแรงหนีศูนย์กลาง เป็นแรงที่แยกอนุภาคให้ออกจากกัน ส่วนแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคจะเป็นแรงที่ทำให้อำนาจการแยกลดลง ในการแยกจริงๆ แล้วทั้งสารแม่เหล็ก และสารที่ไม่ติดแม่เหล็ก อาจพบได้ทั้งใน tails และ middling มีน้อยกรณีมากที่ถือได้ว่าการแยกนั้นสมบูรณ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการแยกสามารถบอกได้ด้วยค่า 2 ค่า คือ

1. recovery
2. grade

recovery คือ อัตราส่วนระหว่างสารแม่เหล็กที่พบใน Mags กับสารแม่เหล็กพบในวัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องแยก

grade คือ อัตราส่วนระหว่างสารแม่เหล็กใน Mags กับปริมาณ Mags ทั้งหมด

3.3 หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก

หลักการทางฟิสิกส์ของการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถของเครื่องแยกด้วยสนามแม่เหล็ก ทั้งด้านคุณภาพ และปริมาณ สิ่งสำคัญที่บ่งชี้ถึงความสามารถของเครื่องแยกก็คือ แรงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ แรงดึงดูดแม่เหล็กและ แรงต่อต้านทั้งหลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับ ขนาด ,คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารที่ต้องการแยก และประสิทธิภาพของเครื่องแยก

ประสิทธิภาพของเครื่องแยกขึ้นกับ การออกแบบ และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สนามแม่เหล็ก และอัตราการดำเนินการ(Feed Rate)

3.3.1 การเป็นแม่เหล็กของวัสดุ(Magnetisation of Material) [7]

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field intensity : $\vec{H}$) ที่เกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางของขดลวดที่พันเป็นวงมีจำนวน N รอบ ซึ่งมีความยาว L ทางด้านแกนที่พันของขดลวด และมีการจ่ายกระแส I แอมแปร์ เข้าไปในขดลวด จะมีค่า

$$\vec{H} = \frac{NI}{L} \qquad (A/m) \qquad \text{.... (3.1)}$$

ซึ่ง ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก(Flux Density) หรือความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก(Magnetic Induction) ของวัสดุ จะแทนด้วย $\vec{B}$ มีค่า

เอกสารนี้ ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \qquad \text{Tesla (} Wb / m^2 \text{)} \qquad \text{... (3.2)}$$

โดยที่ μ_0 คือ permeability ของสูญญากาศ มีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ henry / m

เมื่อนำวัสดุ หรือสารแม่เหล็ก มาบรรจุภายในวงขดลวด แล้วทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้น จะทำให้อิออนของ วัสดุ หรือสารแม่เหล็ก ถูกกระตุ้นทำให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็กขึ้น ในทิศทางเดียวกันกับความเข้มของสนามแม่เหล็กตลอดทั่วทั้งก้อนสสาร ในกรณีที่กลับทิศของความเข้มของสนามแม่เหล็ก โมเมนต์ของ วัสดุหรือสารแม่เหล็ก ก็จะกลับทิศเช่นกัน ทำการหักล้างในเชิงเวคเตอร์ ของโมเมนต์แม่เหล็กเดิมของสสาร จนกระทั่งหมดการเป็นสภาพแม่เหล็ก(ไม่กำเนิดสนามแม่เหล็กภายในสสาร) ภายใต้ความแปรปรวนของความเข้มสนามแม่เหล็ก อิออนของ วัสดุหรือสารแม่เหล็ก จะเรียงตัวกันใหม่จนกระทั่งเหลือผลลัพธ์ทางเวคเตอร์ของอิออนแม่เหล็กจำนวนหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้ความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจะได้ค่าของความเข้มของสนามแม่เหล็กภายในวงขดลวดที่มี วัสดุ หรือสารแม่เหล็ก อยู่ คือ $\vec{H}_i$ จะมีค่า

$$\vec{H}_i = (NI / L) + \vec{M} \qquad (A / m) \qquad \text{..... (3.3)}$$

เมื่อ $\vec{M}$ คือ ความเป็นแม่เหล็ก(Magnetization) ของวัสดุ หรือสารแม่เหล็ก นั้นมีความหมายว่า เป็นผลรวมของโมเมนต์แม่เหล็ก($\sum \mathbf{m}$)ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร(V) มีค่าดังสมการ

$$\vec{M} = \frac{\sum \mathbf{m}}{V} \qquad \text{..... (3.4)}$$

ค่าของสมการ 3.4 นี้ จะใช้ได้เฉพาะ สารแม่เหล็กพารา และสารแม่เหล็กเฟอร์โรเท่านั้น ส่วนสารแม่เหล็กไดอา นั้นมีค่า $\vec{M} = 0$ นั่นหมายความว่า ไม่สามารถที่จะทำให้โมเมนต์แม่เหล็กเกิดขึ้นในสารชนิดนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 3.3 ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กของวัสดุนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}_i$$

จะได้

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad \text{Tesla} \quad \text{..... (3.5)}$$

$$\vec{B} = \mu_0\vec{H} + \vec{B}_i \quad \text{Tesla} \quad \text{..... (3.6)}$$

เมื่อ $\vec{B}_i$ คือ โพลาไรเซชั่นทางแม่เหล็ก หรืออาจเรียกว่า ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ในเนื้อสาร ซึ่งมีความสัมพันธ์ คือ

$$\vec{B}_i = \mu_0\vec{M} \quad \text{Tesla} \quad \text{.... (3.7)}$$

จะเห็นได้ว่า $\vec{M}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากสารทางแม่เหล็ก ซึ่งอัตราส่วนระหว่างค่า แมกนีไทเซชั่น($\vec{M}$) และค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก($\vec{H}$) ที่กระตุ้นเข้าไป เรียกว่า ความไวต่ออำนาจแม่เหล็กของวัสดุ จากสมการ 3.5 หารด้วย $\vec{H}$ จะได้

$$\vec{B} / \vec{H} = \mu_0(1 + \vec{M} / \vec{H}) = \mu_0 (1 + K) \quad \text{.... (3.8)}$$

ซึ่ง (1 + K) คือค่า relative permeability : μ_r

ดังนั้นจะได้

$$\vec{B} = \mu_0\mu_r \vec{H}$$

ผลคูณของ $\mu_0\mu_r$ เรียกว่า permeability : μ ของวัสดุ นั่นคือ

$$\mu = \mu_0\mu_r \quad \text{.... (3.9)}$$

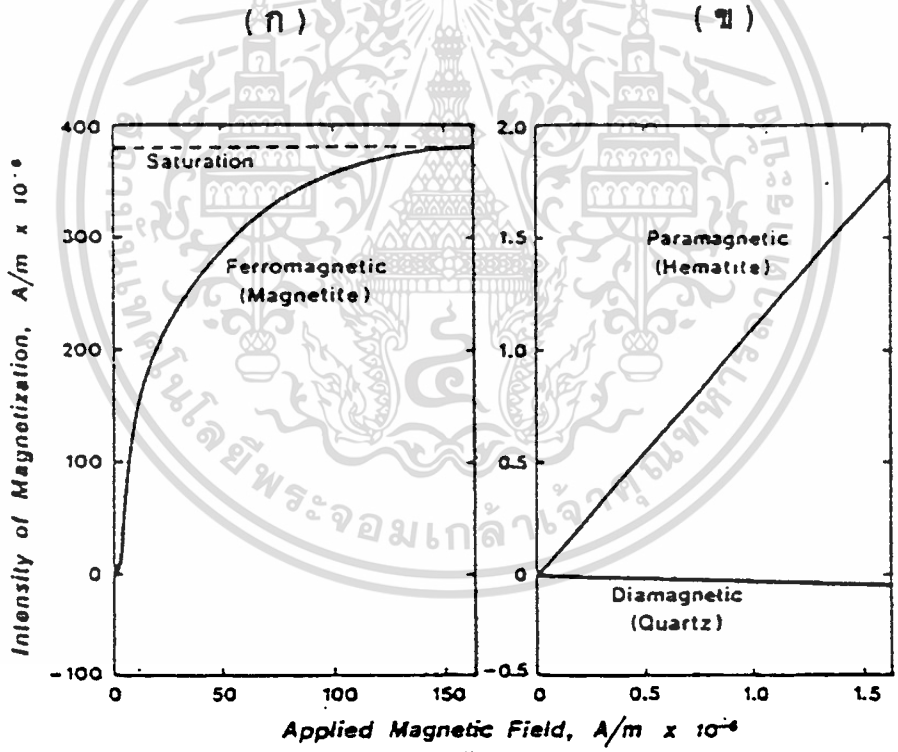
ดังนั้น จากสมการ 3.8 จะได้

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{..... (3.10)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.10 นี้ ใช้ได้กับสารแม่เหล็กไดอา เท่านั้น เพราะต่างก็มีค่า $\mu_r \approx 1$

สำหรับสารแม่เหล็กเฟอร์โร และสารแม่เหล็กพารา นั้นค่า $\vec{B}$ กับ $\vec{H}$ จะมีความสัมพันธ์ไม่เป็นแบบเชิงเส้น นั่นคือ ค่า μ และ μ_r ของสารชนิดนี้จะมีค่าไม่คงตัว แต่จะเปลี่ยนไปตามขนาดของ $\vec{B}$ กับ $\vec{H}$ แสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การเป็นแม่เหล็ก($\vec{M}$) และความเข้มของสนามแม่เหล็ก($\vec{H}$) ของแร่ชนิดไดอา ,แร่ชนิดพารา และแร่ชนิดเฟอร์โร

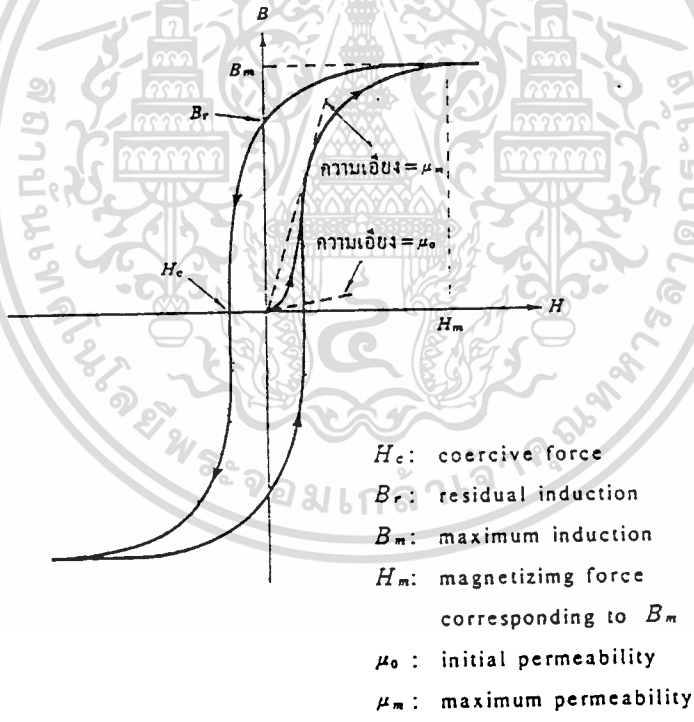


รูปที่ 3.4 เส้นโค้งแสดงการเป็นแม่เหล็กของวัสดุไม่ติดแม่เหล็ก (แร่ควอรตซ์) วัสดุติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (แร่ฮีมาไทต์) และวัสดุที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง(แร่แมกนีไทต์)[8] จะสังเกตเห็นความแตกต่างของมาตราส่วน แกน Y (ค่า $\vec{M}$) ระหว่างรูป ก กับ ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (แร่ควอรตซ์) และแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (แร่ซีมาไทต์) แสดงดังรูปที่ 3.4(ก) ค่า $\vec{M}$ และ $\vec{H}$ จะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ในขณะที่แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (แร่แมกนีไทต์) จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง $\vec{M}$ และ $\vec{H}$ ค่อนข้างจะซับซ้อน ตามรูปที่ 3.4 (ข)

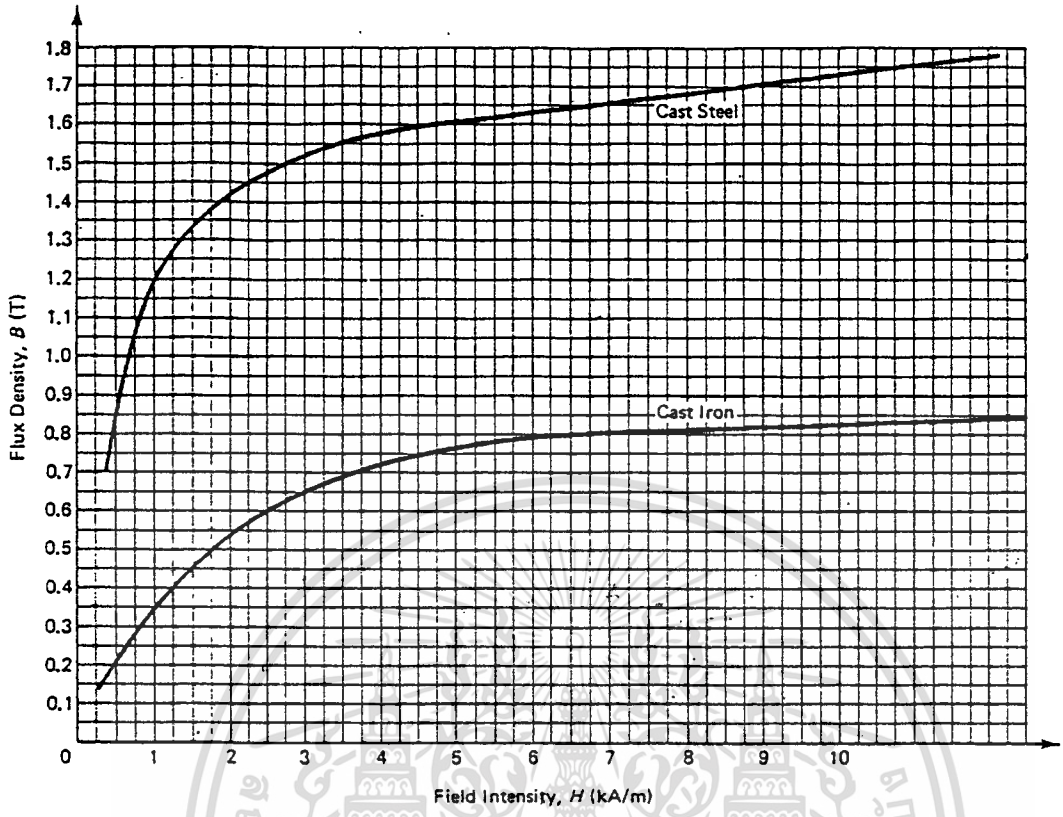
ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\vec{H}$ กับ $\vec{B}$ อีกแบบหนึ่งที่รู้จักกันดี ก็คือ Hysteresis loop เป็นการแสดงการเป็นแม่เหล็ก($\vec{M}$) ของแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง ซึ่งจะมีค่ามาก เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก และจะรักษาการเป็นแม่เหล็กคงค้าง(Remanence) ภายหลังจากที่สนามแม่เหล็กถูกนำออกไปแล้ว แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดง Magnetic Hysteresis ของวัสดุที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง

จากรูปที่ 3.5 นอกจากจะบอกค่า สนามแม่เหล็กสูงสุด($\vec{B}_m$) แล้วยังสามารถบอกสนามแม่เหล็กตกค้าง($\vec{B}_r$) ,แรงที่ทำให้สนามแม่เหล็กตกค้างเป็นศูนย์($-\vec{H}_c$) และสภาพซึมซาบได้ของสาร(μ) ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงกราฟ $\vec{B}$ - $\vec{H}$ Curve ของ Cast Steel และ Cast Iron ในระบบ SI [10]

รูปที่ 3.6 นี้ เป็นส่วนหนึ่งของกราฟฮิสเทอร์รีซีสลูป ซึ่งในหลักการของ Hysteresis loop นี้จะนำไปใช้ในการเลือกวัสดุที่ใช้ทำแกนขั้วแม่เหล็ก(CORE) เพราะว่าสารแม่เหล็กที่ใช้ทำแกนแม่เหล็กมีผลต่อความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็นอย่างมาก ได้ใช้หลักการนี้ นำไปใช้เลือกเหล็กอ่อน(สามารถหาได้ง่ายในประเทศ) เพราะ จะให้ค่า $\vec{B}_m$,μ มาก และค่า $\vec{B}_r$, - $\vec{H}_c$ น้อย

3.3.2 แรงดึงดูดแม่เหล็ก และแรงต้านที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุ

จะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก แบบเปียก และแบบแห้ง

3.3.2.1 แรงบนเม็ดวัสดุในเครื่องแยกแร่แบบเปียก [8]

มันเป็นการยากที่จะคำนวณแรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุได้ อย่างไรก็ตาม การตั้งสมมติฐานอย่างง่าย ๆ สามารถทำการคำนวณหาค่าแรงดึงดูดแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาได้มีความแม่นยำพอสมควร ถ้าหากอนุภาคที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอกมีขนาดเล็กเพียงพอ จนประมาณได้ว่าสนามแม่เหล็กภายในอนุภาคมีค่าสม่ำเสมอ ก็ถือได้ว่า magnetic dipole ที่เกิดขึ้น อยู่ที่ศูนย์กลางมวลของอนุภาค แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับอนุภาค สามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$\vec{F}_m = (V\vec{M} \cdot \nabla) \vec{B} \qquad ...(3.11)$$

เมื่อ $V\vec{M}$ = โมเมนต์แม่เหล็กของอนุภาคในปริมาตร V (ในสมการ 3.4)

$\vec{B}$ = สนามแม่เหล็กภายนอก หรือความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่จุดศูนย์กลางมวลของอนุภาค

$\vec{M}$ = $(K_s - K_m)\vec{H}$ คือ โมเมนต์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรโดยที่ K_s และ K_m เป็น magnetic susceptibility ของอนุภาค และของตัวกลาง ตามลำดับ

ดังนั้น สมการ (3.11) ใน Cartesian coordinates สำหรับแนวแกน X สามารถเขียนได้เป็น

$$\vec{F}_{m,x} = V(K_s-K_m)(\vec{H}_x \partial\vec{B}_x /\partial x + \vec{H}_y \partial\vec{B}_y /\partial y + \vec{H}_z \partial\vec{B}_z /\partial z) \quad ..(3.12)$$

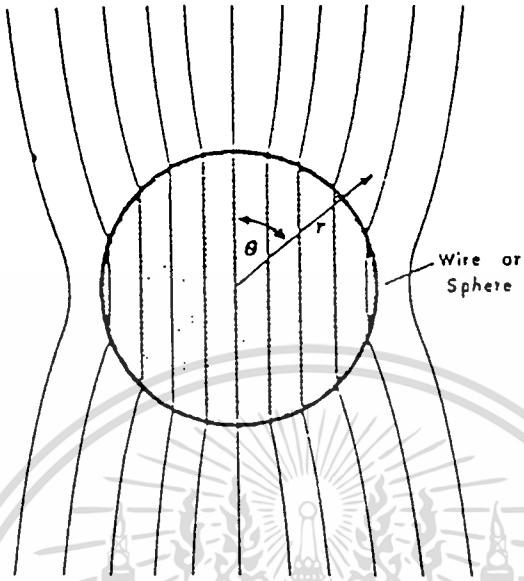
ส่วนแรงในแนวแกน Y และ Z จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเขียนสมการ (3.11) ในระบบ radial coordinates ดังนี้

$$\vec{F}_{m,r} = V (K_s-K_m)(\vec{H}_r \partial\vec{B}_r / \partial r + \vec{H}_\theta \partial\vec{B}_\theta / \partial r) \qquad ...(3.13)$$

$$\vec{F}_{m,\theta} = \frac{V}{r} (K_s-K_m)(\vec{H}_r \partial\vec{B}_r / \partial\theta + \vec{H}_\theta \partial\vec{B}_\theta / \partial\theta) \qquad ...(3.14)$$

r และ θ มีค่าดังแสดงในรูป 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงค่า r และ θ ในสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ

ในกรณีของสารพาราแมกเนติก และไดอาแมกเนติก นั้นโมเมนต์แม่เหล็กต่อหน่วยปริมาตรมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กภายนอก ดังนั้นจะประมาณได้ว่า $\vec{B} = \vec{H}$ (ซึ่ง ไม่รวมไปถึงกรณีสารเฟอโรแมกเนติก) และมักพบสมการเหล่านี้เขียนอยู่ในรูปสมการง่ายๆ ดังนี้

$$\vec{F}_m = V(K_s - K_m) \vec{H}_r \frac{d\vec{H}_r}{dr} \qquad \text{... (3.15)}$$

จะเห็นได้ว่าแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคนั้น ขึ้นกับ สนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป และแกรเดียนท์ของสนามแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำ ซึ่งสนามแม่เหล็ก และแกรเดียนท์ของสนามนั้น สามารถสร้างได้โดยการออกแบบที่แตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ในเครื่องแยกแร่แบบเปียกที่ใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กสูง มักนิยมใช้เมทริกซ์(Matrix)(ดูที่หัวข้อ 3.4.2) ทำจาก สารเฟอโรแมกเนติกส์ เมทริกซ์ที่ใช้ก็มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไป ส่วนที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นเพียง 2 ลักษณะเท่านั้น คือเมทริกซ์รูปทรงกลม และทรงกระบอก(พวกเส้นใยเหล็กจัดอยู่ในพวกรูปทรงกระบอก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1.1 แรงในเมทริกซ์รูปทรงกลม

เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้น จะทำการพิจารณาวัสดุทรงกลมอิสระรูปหนึ่งซึ่งเป็น สารเฟอโรแมกเนติกส์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_0 วางอยู่ในสนามแม่เหล็กความเข้มสม่ำเสมอ $\vec{H}$ มี Magnetization ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นภายในทรงกลมมีค่าสม่ำเสมอแต่อนุภาคที่ถูกดูดให้ติดกับทรงกลมนี้เป็นสารพาราแมกเนติกส์ดังนั้น Magnetization ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย ทำให้ค่าเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามแม่เหล็ก มีค่าใกล้เคียงกับสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป จากทฤษฎีแม่เหล็กเบื้องต้นสามารถแสดงได้ว่าความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอกทรงกลมมีค่าเป็น

$$\vec{H}_r = \left(\vec{H} + \frac{\pi}{3}\vec{M}\frac{d_0^3}{r^3} \right) \cos\theta \qquad \text{...(3.16)}$$

$$\vec{H}_\theta = \left(-\vec{H} + \frac{\pi}{6}\vec{M}\frac{d_0^3}{r^3} \right) \sin\theta \qquad \text{...(3.17)}$$

ค่า magnetic field gradient ในระบบ radial coordinates มีค่าเป็น

$$\partial\vec{H}_r / \partial r = -\pi\vec{M}\frac{d_0^3}{r^4}\cos\theta \qquad \text{...(3.18)}$$

$$\partial_\theta / \partial r = -\frac{\pi}{2}\vec{M}\frac{d_0^3}{r^4}\sin\theta \qquad \text{...(3.19)}$$

เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าแรง $\vec{F}_{m,\theta}$ (สมการ3.14) เป็นแรงที่พยายามทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่ง $\theta = 0$ หรือ $\theta = \pi$ บนทรงกลมแล้วแต่ว่าวัสดุจะอยู่ใกล้ด้านไหนมากกว่ากัน แสดงดังรูปที่ 3.8 ส่วน $\vec{F}_{m,r}$ เป็นแรงที่ยึดอนุภาคให้ติดกับทรงกลม และสามารถหาค่าได้โดยใช้สมการ (3.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

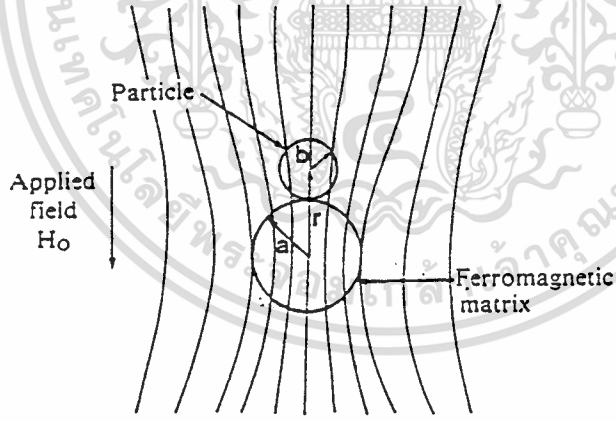
เนื่องจาก $\vec{F}_{m,\theta}$ เป็นแรงที่พยายามทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่ง $\theta = 0$ หรือ $\theta = \pi$ ดังนั้นค่าแรงดึงดูดแม่เหล็กสูงสุดจึงต้องคำนวณหาจาก $\vec{F}_{m,r}$ ขนาดของ $\vec{F}_{m,r}$ ณ. ตำแหน่งนี้ ซึ่งมีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของทรงกลมมีค่าเป็น

$$\vec{F}_{m,r} = 16\pi V(K_s - K_m)\frac{\vec{M}}{d_0}\left(\vec{H} + \frac{8\pi}{3}\vec{M}\right) \qquad \text{... (3.20)}$$

ซึ่งสมการ(3.20) สามารถเขียนใหม่ในรูป ขนาดของอนุภาคได้เป็น

$$\vec{F}_{m,r} = \frac{8\pi^2}{3}d_v^3(K_s - K_m)\frac{\vec{M}}{d_0}\left(\vec{H} + \frac{8\pi}{3}\vec{M}\right) \qquad \text{... (3.21)}$$

เมื่อ d_v คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค



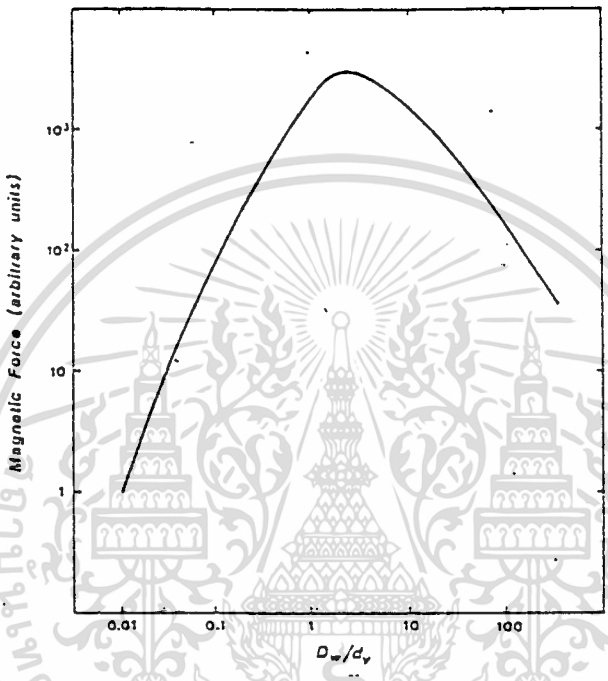
รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของอนุภาค b ที่ $\theta = 0$

3.3.2.1.2 แรงในเมทริกซ์รูปทรงกระบอก

สำหรับกรณีของเมทริกซ์ที่เป็นรูปทรงกระบอกวางอยู่ในสนามแม่เหล็กความเข้มสม่ำเสมอ ก็สามารถวิเคราะห์ได้ในลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีของเมทริกซ์รูปทรงกลม สำหรับเส้นลวดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคงที่ แรงบนอนุภาคจะเป็นสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตรงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสอง(ดังสมการที่ 3.22)ส่วนเมทริกซ์รูปทรงกลมนั้นแรงบนอนุภาคเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสาม (ตามสมการ 3.21) .

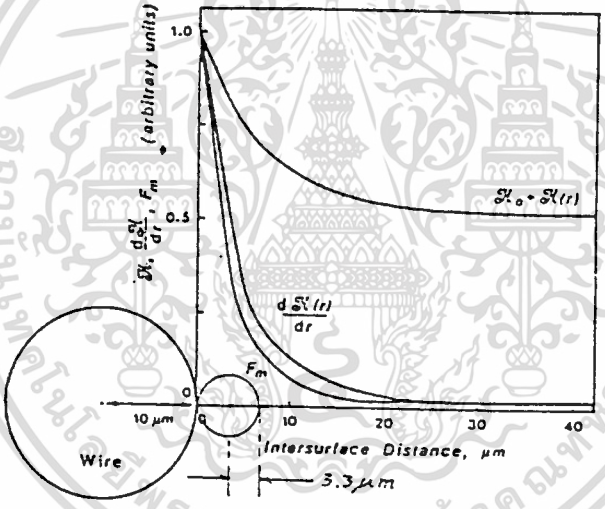


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็ก(สัมพัทธ์)กับอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด กับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค

รูปที่ 3.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึงดูดแม่เหล็กที่คำนวณได้เมื่ออนุภาคอยู่ที่ผิวของเส้นลวดรูปทรงกระบอกกับอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด D_W กับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค $\mathbf{d_v}$ จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีอยู่จุดๆหนึ่งที่แรงดึงดูดแม่เหล็กมีค่าสูงสุด Oberteuffer ได้แสดงให้เห็นว่าค่าสูงสุดนี้เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมีค่า $0.37D_W$ ในกรณีที่อนุภาคอยู่ห่างออกไปจากผิวของเส้นลวด ขนาดของอนุภาคที่จะทำให้แรงดึงดูดแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคมีค่าสูงสุดนั้นเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างของอนุภาคจากศูนย์กลางของเส้นลวด (ไม่ขึ้นกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดนั้นๆ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 เป็นกราฟแสดงค่าของสนามแม่เหล็ก magnetic field gradient และแรงดึงดูดแม่เหล็กที่มีต่ออนุภาค(ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น หนึ่งในสามของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด) เมื่ออนุภาคอยู่ห่างจากผิวของเส้นลวดที่ระยะทางต่างๆ กันจะเห็นได้ว่า field gradient มีค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่บริเวณใกล้ๆ กับผิวของเส้นลวด และตรงบริเวณที่ห่างจากผิวเส้นลวดประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค เมื่อพ้นบริเวณนี้ไปแล้วแรงดึงดูดแม่เหล็กจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 10 ของแรงที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคอยู่ที่ผิวของเส้นลวด



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก field gradient และแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเม็ดแร่ทรงกลม ซึ่งมีขนาดหนึ่งในสาม ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด กับระยะห่างจากลวด

สำหรับกรณีที่เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมีค่าประมาณหนึ่งในสามของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด แรงดึงดูดแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุด ดังนี้

$$\vec{F}_{m,max} = 0.46(k_s - k_m)\vec{H}^2 d_v^2 \qquad ...(3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแรงต่อต้านที่เกิดขึ้น

แรงต้านที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบเปียก ที่สำคัญ ได้แก่

1. แรงต้านเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Force : $\vec{F}_g$)

2. แรงต้านของของไหล (Hydrodynamic drag Force : $\vec{F}_d$)

แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงต้านของของไหล เป็นแรงต้านที่เกิดขึ้นกับอนุภาค ในขบวนการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก ความสำคัญของแรง แต่ละชนิดขึ้นกับลักษณะการออกแบบของเครื่องแยกแร่นั้นๆ แรงโน้มถ่วง และแรงต้านของของไหลเป็นแรงที่มีความสำคัญมาก และจะพิจารณาเป็นพิเศษในที่นี้

สำหรับอนุภาคทรงกลมซึ่งมีความหนาแน่น ρ_s แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่ออนุภาค มีค่าดังนี้

$$\vec{F}_g = \frac{\pi}{6} d_v^3 (\rho_s - \rho_f) g \qquad \text{...(3.23)}$$

เมื่อ d_v = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (m)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาค (Kg/m^3)

ρ_f = ความหนาแน่นของของเหลวตัวกลาง

ในการไหลที่สม่ำเสมอ(Laminar flow)** จากกฎของสโตค(Stokes' Law) กล่าวว่า เมื่อวัตถุทรงกลมตันเคลื่อนที่ในของไหลที่มีความหนืด(η) แรงต้านเนื่องจากความหนืด($\vec{F}_d$)กระทำต่อวัตถุทรงกลมนั้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอัตราเร็ว(V) ของทรงกลมเทียบกับของไหล กล่าวคือ

** การไหลที่สม่ำเสมอ(Laminar flow) หมายถึง การไหลที่อนุภาคของของไหลไม่ว่าจะเป็นอนุภาคเล็กหรือใหญ่ เคลื่อนที่ตามกันไปอย่างเป็นระเบียบ มีตำแหน่งแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{F}_d = 3\pi d_0 \nu \eta \qquad ...(3.24)$$

เมื่อ ν = ความเร็วสัมพัทธ์ของอนุภาคเทียบกับของเหลวตัวกลาง (m /s)

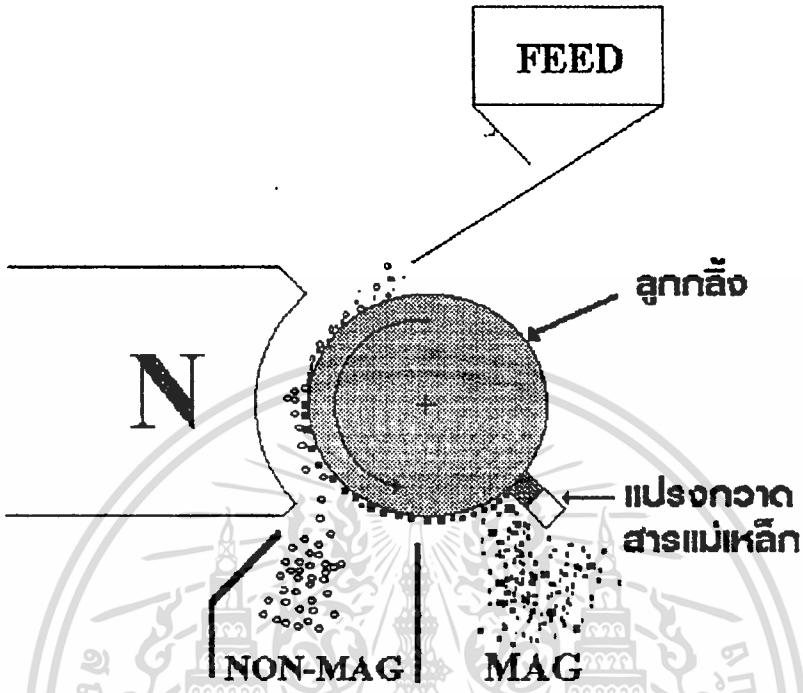
η = ความหนืดของของเหลว (Viscosity) (N.s / m^{-2})

จะเห็นว่าแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งขึ้นกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสาม จึงมีความสำคัญมากสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ส่วนแรงด้านของของเหลวเป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังหนึ่ง จึงมีความสำคัญในกรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็ก เพราะฉะนั้นในการแยกด้วยสนามแม่เหล็กแบบแห้งสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แรงดึงดูดแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคจะต้องมีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่ออนุภาค ส่วนในเครื่องแยกแร่แบบเปียกสำหรับอนุภาคขนาดเล็ก แรงดึงดูดแม่เหล็กจะต้องมีค่ามากกว่าแรงต้านของของเหลวที่มีต่ออนุภาค

3.3.2.2 แรงบนเม็ดวัสดุในเครื่องแยกแร่แบบแห้ง

การแต่งแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (Induced roll magnetic Separator) นี้ จะใช้ลูกกลิ้ง(Roller) ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กกำลังสูง ลูกกลิ้งจะหมุนไปทิศทางเดียวกับแร่ที่ป้อนบนผิวลูกกลิ้ง แสดงดังภาพที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงเม็ดแร่เมื่อผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

จะเห็นว่า แร่ที่ติดแม่เหล็กจะถูกดูดติดกับผิวลูกกลิ้ง ส่วนแร่พวกที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกแรงเหวี่ยงจากแรงหนีศูนย์กลาง และแรงดึงดูดของโลก ไหลตกลงในช่องแบ่งแร่ ซึ่งแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเม็ดแร่บนผิวลูกกลิ้ง นั้นมีค่าดังนี้

$$\vec{F}_m = \frac{\pi}{6} d_v^3 k \vec{H}_r \frac{d\vec{H}_r}{dr} \qquad \text{... (3.25)}$$

เมื่อ $\vec{F}_m$ คือ แรงแม่เหล็ก

$\vec{H}_r$ คือ สนามแม่เหล็กบนผิวลูกกลิ้ง

d_v คือ ขนาดของอนุภาค

K คือ magnetic susceptibility ของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแรงต้านที่เกิดขึ้น

แรงต้านที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กแบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ที่สำคัญ ได้แก่

1. แรงต้านเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Force : $\vec{F}_g$)
2. แรงหนีศูนย์กลาง (Centripetal force : $\vec{F}_c$)

แรงต้านเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Force : $\vec{F}_g$) ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง นั้นมีค่าเท่ากันกับเครื่องแยกแร่แบบเปียก ได้ดังสมการที่ 3.23

พิจารณาเม็ดแร่ติดแม่เหล็ก ที่ถูกดูดติดกับลูกกลิ้ง(Roller) ซึ่งกำลังหมุนอยู่นั้น จึงต้องคิดแรงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่อเม็ดแร่บนผิวลูกกลิ้ง มีค่า

$$\vec{F}_c = \rho V \omega^2 R \qquad \text{... (3.26)}$$

เมื่อ $\vec{F}_c$ คือ แรงหนีศูนย์กลาง

ρ คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยของแร่ (Kg / m^3)

V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)

ω คือ ความเร็วที่เส้นรอบวง (rad / sec)

R คือ รัศมีของลูกกลิ้ง(m)

จากสมการที่ 3.26 จะเห็นว่าค่าของแรงหนีศูนย์กลาง จะต้องมีค่าน้อยกว่าแรงแม่เหล็กถึงจะทำให้การแยกแร่นั้นได้ผลดี ซึ่งค่าของแรงหนีศูนย์กลางจะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วของลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สนามแม่เหล็ก และเกรเดียนท์ ของสนามแม่เหล็กในเครื่องแยกด้วยสนามแม่เหล็ก

วัตถุประสงค์ของการแยกด้วยสนามแม่เหล็ก ก็คือ สำหรับเครื่องแยกแร่แบบแห้งเพื่อแยกอนุภาคซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 75 ไมครอน ไปจนถึง 5 มม. และสำหรับเครื่องแยกแร่แบบเปียกจะใช้แยกอนุภาค ขนาด 10 ไมครอน ไปจนถึง 1.5 มม. ซึ่งมีค่า magnetic susceptibility ต่างๆ กัน หรือมักใช้แยกแร่ที่ปะปนไปด้วยแร่ชนิดต่างๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งมีค่าmagnetic susceptibility ต่างกันไม่มากนัก แต่ประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่ใช้ในแต่ละขบวนการก็จะแตกต่างกันออกไป

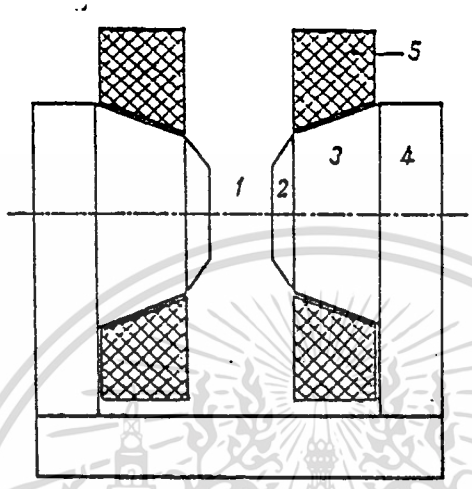
จากสมการที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าแรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับอนุภาคที่เป็นสารแม่เหล็ก นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางแม่เหล็กของอนุภาค และสนามแม่เหล็ก เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับ เกรเดียน์(gradient) ของสนามแม่เหล็กด้วย

ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งซึ่งจะได้มาถึงความเข้มสนามแม่เหล็กสูงนั้น ก็คือ การออกแบบปลายขั้วแม่เหล็ก มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 <u>การออกแบบปลายขั้วแม่เหล็ก</u>[7]

ในการออกแบบปลายขั้วแม่เหล็กนั้น เพื่อให้เกิดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กค่อนข้างสม่ำเสมอในช่องว่าง(Air gap)ของขั้ว(pole cap) ซึ่งจะต้องคำนึงถึงพื้นที่ในการใช้งานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

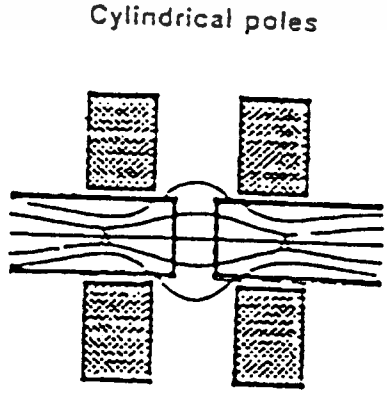


รูปที่ 3.12 เป็นรูปแสดงตำแหน่ง ของขั้วแม่เหล็ก

1 = Air gap 2 = pole cap 3 = core

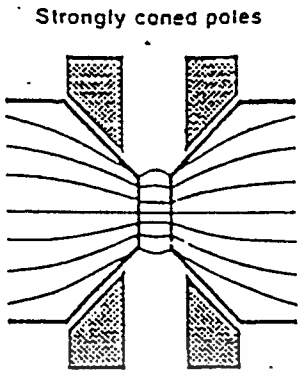
4 = yoke 5 = magnetizing coils

เปรียบเทียบ เส้นแรงแม่เหล็กที่ยังไม่ได้ตัดมุมของขั้วแม่เหล็ก และเมื่อตัดมุมของขั้วแม่เหล็กแล้ว แสดงดังรูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14



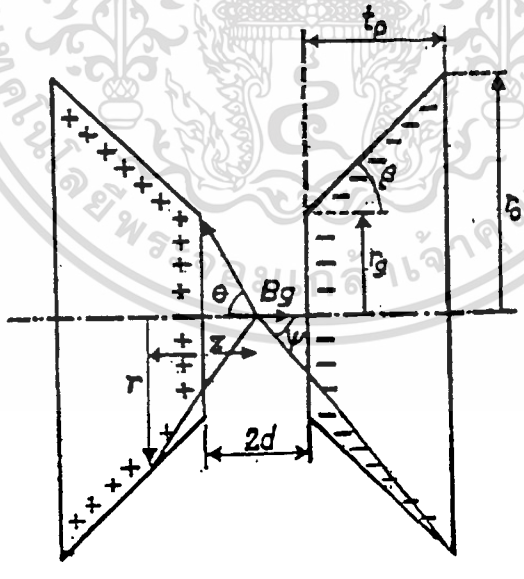
รูปที่ 3.13 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อยังไม่ได้ตัดมุมของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อได้ตัดมุมของเหล็กนั้นแล้ว

พิจารณาจากรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 แล้วจะเห็นได้ว่า เมื่อตัดมุมของขั้ว-แม่เหล็กแล้ว จะได้เส้นแรงแม่เหล็กที่สม่ำเสมอกว่าไม่ได้ตัดมุมของขั้วแม่เหล็ก การตัดมุมของขั้วแม่เหล็กในมุม β ที่ค่าต่างๆ กัน ก็จะให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่างกันด้วย จึงต้องหามุม β ที่เหมาะสม โดยการพิจารณารูปที่ 3.15

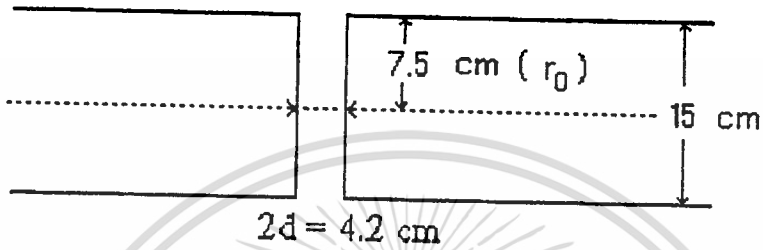


รูปที่ 3.15 แสดง ขั้วแม่เหล็กเมื่อได้ตัดมุมแม่เหล็กแล้ว

<u>กำหนด</u> ช่องว่าง (Air gap) มีขนาด 2d ,ความหนาแน่นของเส้นแรง-แม่เหล็กบริเวณจุดศ.ก ของช่องว่างเป็น B_g ,ความหนาเป็น t_p เส้นผ่าศูนย์กลางของ Air gap มีขนาด $2r_g$ ถึง $2r_0$ ทำมุม β กับแกนเหล็ก (มุมที่จะตัดขั้วแม่เหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแยกแร่แบบเปียก และแบบแห้ง ที่ได้สร้างขึ้นนั้นมีขนาดความกว้างของขั้วแม่เหล็กเป็น 15 cm ดังนั้น r_0 = 7.5 cm และมีช่องว่างเป็น 4.2 cm ดังนั้น d = 2.1 cm



รูปที่ 3.16 เป็นรูปแสดงขนาดของขั้วแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่ที่ได้สร้างขึ้น เมื่อยังไม่ได้ตัดมุม

ถ้าพิจารณาถึง การทำให้เครื่องแยกแร่นั้นมีประสิทธิภาพของการแยกแร่สูง นั่นก็คือ จะต้องแยกแร่ให้ได้มากมีความสะอาดสูงใช้เวลาในการแยกแร่น้อย ซึ่งหมายถึงว่าค่า r_g จะต้องมีค่ามาก เพราะจะได้มีพื้นที่ในการแยกแร่มาก ก็จะได้แร่ปริมาณมาก ใช้เวลาในการแยกแร่น้อย และค่าความหนาแน่นของ flux แม่เหล็ก($\vec{B}$) จะต้องสูงด้วย เพื่อที่จะได้แร่ที่สะอาด

ค่าของ r_g จะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่ามุม θ นั่นก็คือค่า $\tan\theta = r_g/d$ ค่า d เป็นค่าคงที่ ค่า d ของเครื่องแยกแร่ที่ได้สร้างขึ้นมีค่า 2.1 cm จะได้ $r_g = 2.1 \tan\theta$ และค่าของมุม θ และมุม β จะมีความสัมพันธ์กับ $\vec{B}_g/4\pi\vec{M}_o$ (ในระบบ Cgs) แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

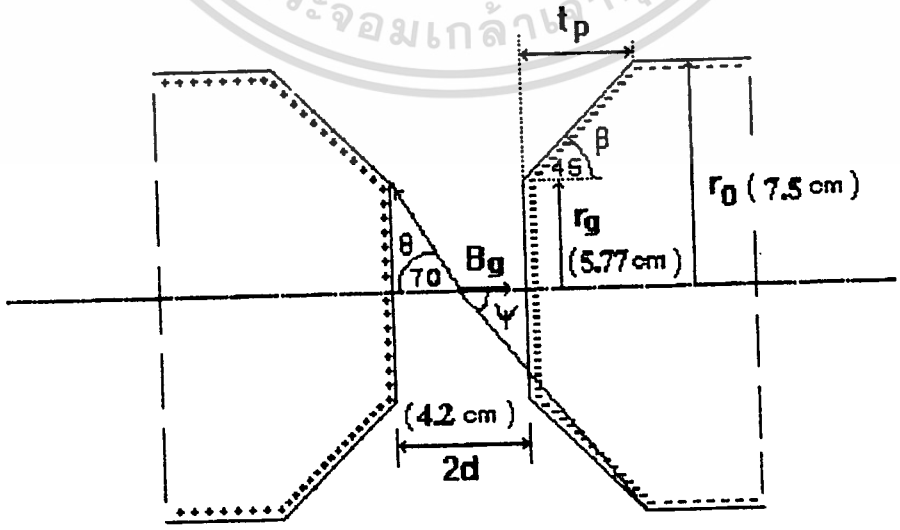
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของมุม θ และมุม β ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า $\vec{B}_g / 4\pi\vec{M}_o$

มุม β	มุม θ	tan θ	$r_g = 2.1 \tan\theta$	r_0 / r_g	$\vec{B}_g/4\pi\vec{M}_o$
60	60	1.732	3.64	2.06	0.77
60	70	2.747	5.77	1.30	0.72
45	60	1.732	3.64	2.06	0.74
45	70	2.747	5.77	1.30	0.72

นำข้อมูลจากตารางที่ 3.1 มาพิจารณาหาค่ามุม β ที่ดีที่สุด ก็จะได้คือมุม 45 องศา หรือ มุม 60 องศา และค่ามุม θ มีค่า 70 องศา เพราะต่างมีค่า $\vec{B}_g/4\pi\vec{M}_o$ คือ 0.72 และมีค่า r_g = 5.77 cm เท่ากัน ซึ่งมีค่ามากที่สุด

ถ้าเหล็กที่ใช้ทำแกนขั้วแม่เหล็กเป็นพวก Soft - Iron ซึ่งมีค่า $4\pi\vec{M}_o$ = 21400 เกาส์ ก็จะได้ค่า $\vec{B}_g$ = 0.72 x 21400 = 15408 เกาส์

จากนั้นก็นำผลที่ได้มาตัดปลายขั้วแม่เหล็กก็จะได้ลักษณะดังรูปที่ 3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 แสดงขนาดต่างๆ ของปลายขั้วแม่เหล็กที่ได้สร้างขึ้น

3.4.2 ตะแกรงเมทริกซ์[9]

ในการเพิ่มเกรเดียนท์ ของสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ทำได้โดยการใช้ตะแกรงเมทริกซ์(Matrix) ที่ทำจากสารแม่เหล็กเฟอร์โร วางไว้ที่ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำที่ตะแกรงนั้น ซึ่งเป็นการเพิ่มอำนาจในการแยกแร่ให้สูงขึ้น สิ่งสำคัญในการเลือกตะแกรงเมทริกซ์ มีดังนี้

1 ลักษณะของตะแกรง ที่เหมาะสม

2 ขนาดของรูตะแกรงเมทริกซ์ที่เหมาะสม

3 ความสูงของตะแกรงเมทริกซ์

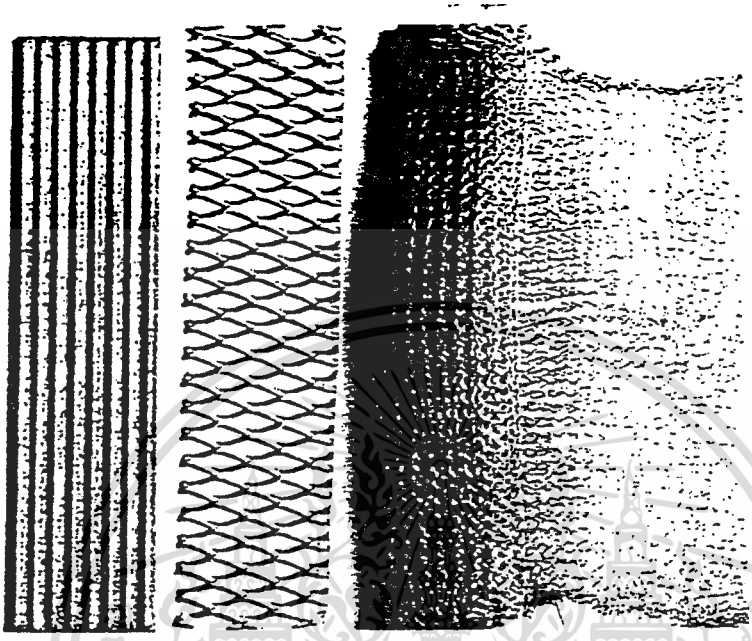
4 คุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุที่ใช้ทำตะแกรงเมทริกซ์

5 การเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำตะแกรงเมทริกซ์

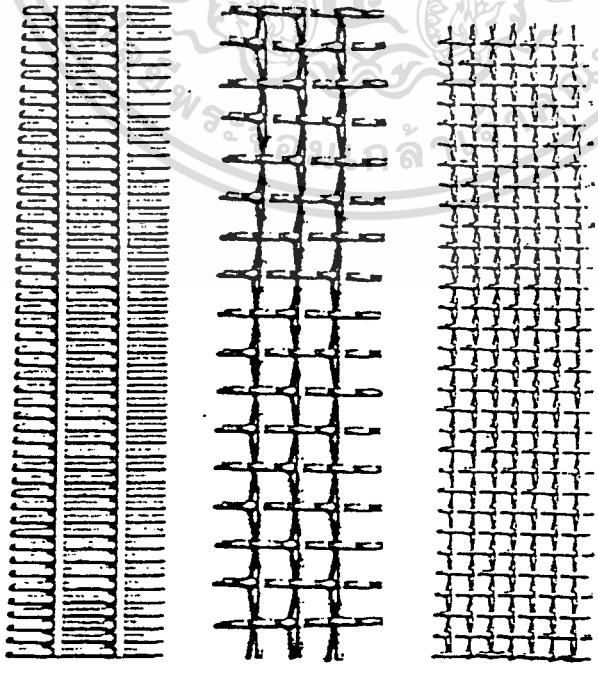
3.4.2.1 ลักษณะของตะแกรง

การเลือกลักษณะของตะแกรงเมทริกซ์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการดึงดูดเม็ดแร่สูงสุด(Optimum shape of matrix) เป็นเรื่องที่คลุมเคลือมาก ซึ่งการเลือกตะแกรงนั้นขึ้นกับลักษณะของแร่เหลวที่ใช้แยก และถูกเลือกใช้โดยอาศัยความชำนาญส่วนตัวเสียมากกว่า โดยทั่วไป ตะแกรงที่เลือกใช้ ควรจะมีประสิทธิภาพในการเกาะจับที่สูงสุด มีค่า magnetic reluctance และ fluid impedance ต่ำ และควรที่จะทำความสะอาดได้ง่าย ตะแกรงที่มักใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่ grooved plates ,expanded metal ,rods , balls ,wire mesh และ steel wool ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ลักษณะของ ตะแกรงเมทริกซ์ (จากซ้ายไปขวา)
แบบ groove plate ,expand metal 2 ,knitmesh



รูปที่ 3.19 ลักษณะของ ตะแกรงเมทริกซ์ (จากซ้ายไปขวา)
แบบ Screen 12 ,Wire mesh 9 และ Wire mesh 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 ขนาดของรูตะแกรงเมทริกซ์

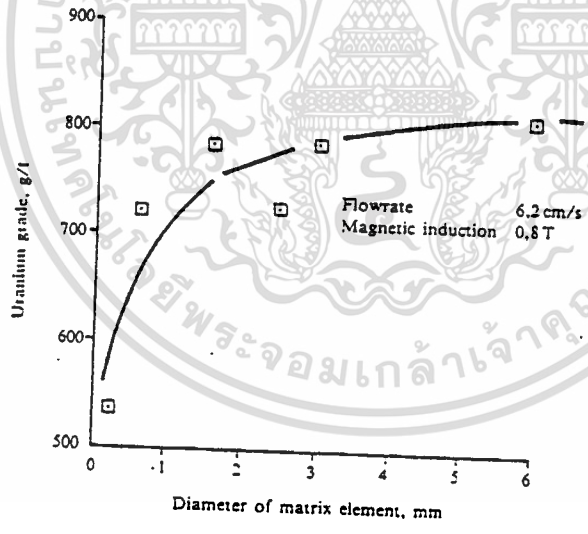
ความสำคัญของการเลือกใช้ตะแกรงที่ถูกต้อง เพื่อการแยกแร่ให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้น ไม่สามารถที่จะกล่าวอะไรได้แน่นอนลงไป รูปร่าง(เชิงเรขาคณิต) และขนาดของตะแกรง มีความสำคัญมากในการทำให้แยกแร่ได้สูงสุด(Optimum size of a matrix) และได้เกรดตามที่ต้องการ ส่วนปริมาณของตะแกรงที่จะใส่เข้าไปในเครื่องแยกแร่ก็มีความสำคัญมากและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับในเครื่องแยกแร่ขนาดใหญ่ ซึ่งพบว่าแรงดึงดูดทางแม่เหล็กมีค่าสูงสุด เมื่ออัตราส่วนของ **รัศมีของรูตะแกรง** (a) กับรัศมีของเม็ดแร่(b) มีค่าประมาณ 3 เท่า และมีค่าแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อ a/b มีค่าในช่วง 1 ถึง 10 แต่ก็มีการแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วน a/b ที่ทำให้เกิดแรงดึงดูดสูงสุดมีค่าไม่คงที่ ดังนั้น เงื่อนไขสำหรับค่า a/b เพื่อให้ได้ค่าแรงดึงดูดทางแม่เหล็กสูงสุดจึงค่อนข้างจะสับสน ในทำนองเดียวกัน จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี พบว่าค่า a/b ที่ให้แรงดึงดูดสูงสุดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 และยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการเหนี่ยวนำได้ของสารที่ใช้เป็นตะแกรง ขนาดของแร่ และชนิดของตะแกรง และค่า a/b มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณแร่ที่ติดตะแกรงเพิ่มขึ้น

ในการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง นั้นสิ่งที่สำคัญ คือ ตะแกรงเมทริกซ์ ที่ใช้จะต้องมีลักษณะที่ทำให้ recovery และ grade มีปริมาณสูงสุดทั้งคู่ ขนาดของตะแกรงที่ให้ค่าทั้งสองสูงสุด ขึ้นกับส่วนประกอบ และขนาดของอนุภาคภายในแร่ที่ต้องการแยก ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้ว เป็นงานที่ยุ่งยากมากในการที่จะได้มาซึ่งตะแกรงที่มีรูปร่าง และขนาดที่ให้ผลดีที่สุด โดยที่ต้องคำนึงถึงกฎพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในขณะเดียวกัน ถ้าลดขนาดของของรูตะแกรง recovery ของ magnetic fraction โดยทั่วไปมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ grade มีค่าต่ำลง และถ้าตะแกรงยิ่งละเอียดเท่าไร มวลในส่วนแยกที่เป็นแม่เหล็กก็จะสูงทำให้ grade ต่ำลง แร่ส่วนที่แยกออกโดยสนามแม่เหล็กก็จะไม่แตกต่างไปจากแร่ที่ป้อนเข้าไปเท่าไรนัก ในทางกลับกัน ตะแกรงที่ละเอียดนั้น การเกาะจับเชิงกล(mechanical capture) ที่มีต่ออนุภาคมีค่าสูง ถ้าเพิ่มความเร็วของการไหลของเหลว(flow velocity) และสนามแม่เหล็กให้สูงขึ้น และทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉีดน้ำเพื่อดึงแร่ส่วนที่ ไม่เป็น สารแม่เหล็ก ออกจากตะแกรง ก็จะสามารถให้ผลดีขึ้นระดับหนึ่ง

จากการทดลองจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนระหว่างขนาดของตะแกรงกับ ขนาดของอนุภาคที่ถูกแยกที่ให้ผลเป็นที่น่าพอใจสูงสุด อยู่ระหว่าง 100 ถึง 300 ซึ่งแสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 3.20 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง grade ของสารแม่เหล็กที่แยกออกได้กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องตะแกรง จะเห็นได้ว่าสำหรับตะแกรงที่มีขนาดช่องตะแกรงเล็ก grade จะมีค่าต่ำมาก grade จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อช่องตะแกรงมีขนาดค่อนข้างใหญ่คือ a/b = 350 สำหรับช่องตะแกรงขนาดนี้ให้ค่า recovery ที่สูงมากเช่นกัน



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง grade ของส่วนผสมของสารแม่เหล็กของ uranium-gold ที่แยกออกได้กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

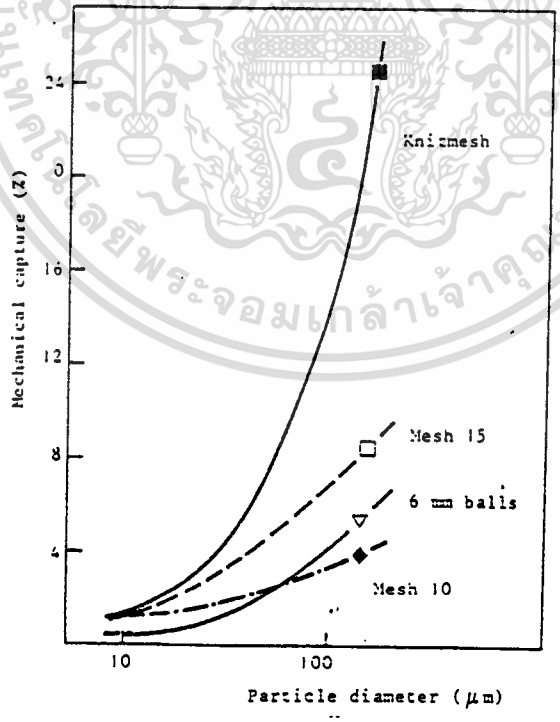
การเกาะจับเชิงกล

ในเครื่องแยกแร่โดยทั่วไปปริมาณของแร่ส่วนหนึ่ง จะถูกจับไว้โดยไม่เกี่ยวข้องกับ สนามแม่เหล็ก การเกาะจับเชิงกล(Mechanical capture)นี้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น และ ขนาดช่องตะแกรงเล็กลง magnetic recovery (R_{mag}) มีค่าดังนี้

$$R_{mag} = \frac{R - R_{mech}}{1 - R_{mech}} \qquad ...(3.28)$$

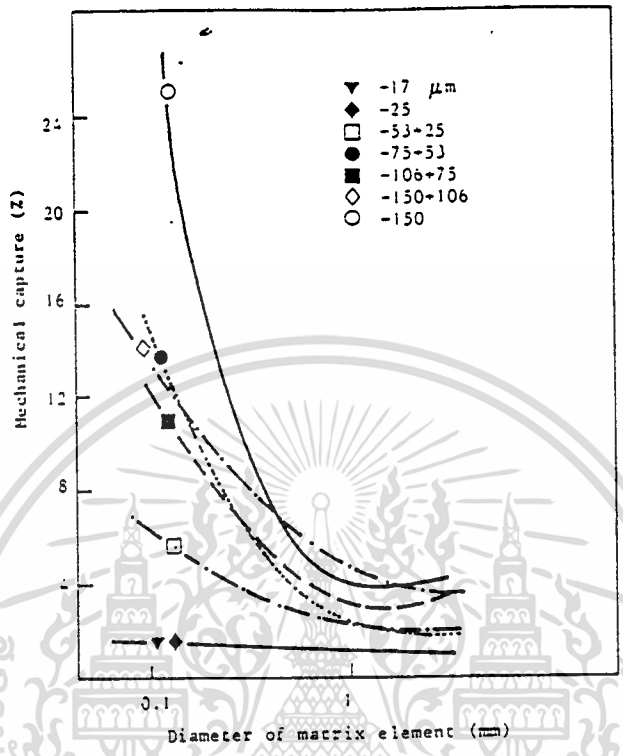
เมื่อ R คือ total recovery

R_{mech} คือ recovery เนื่องจากการเกาะจับเชิงกล

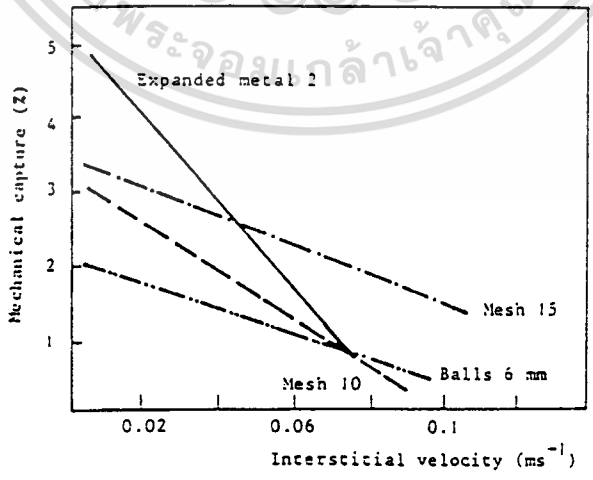


รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกาะจับเชิงกลของอนุภาคของ uranium-gold ที่มีขนาดต่างๆ กัน เมื่อผ่านตะแกรงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกาะจับเชิงกลของอนุภาค ของ uranium-gold ขนาดต่างๆ กับขนาดของช่องตะแกรง



รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกาะจับเชิงกล กับอัตราการไหลของแร่เหลวของตะแกรงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 แสดงให้เห็นถึงการเกาะจับเชิงกล เมื่ออนุภาคมีขนาดต่างๆ กัน สำหรับตะแกรงขนาดต่างๆ และรูปที่ 3.22 แสดงให้เห็นถึงขนาดของช่องตะแกรงที่มีอิทธิพลต่อการเกาะจับเชิงกล ของอนุภาคขนาดต่างๆ กัน ส่วนการเกาะจับเชิงกลที่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของแร่เหลวสำหรับตะแกรงชนิดต่างๆ แสดงอยู่ในรูป 3.23 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลประมาณ 0.07 ms^{-1} เป็นอัตราการไหลที่นิยมใช้ในการแยกแร่ที่มีคุณค่าทางเชิงอุตสาหกรรม การแก้ไขสำหรับการเกาะจับเชิงกลมีค่าต่ำมากสำหรับตะแกรงทุกชนิดที่ได้ทดลอง สำหรับตะแกรงที่ใช้ลูกบอลการเกาะจับเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อ flow rate ลดลง แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นมหาศาลในกรณีของ expanded metal

สำหรับอนุภาคขนาดเล็ก(ประมาณ 8 μm) การเกาะจับเชิงกลมีค่าค่อนข้างจะคงที่ไม่ว่าจะเป็นตะแกรงชนิดหยาบหรือละเอียด สำหรับตะแกรงหยาบ เมื่อขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น การเกาะจับเชิงกลจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก และจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากสำหรับตะแกรงละเอียด(ดังรูปที่ 3.21) สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก(ประมาณ 17 - 25 μm) การเกาะจับเชิงกลมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก เมื่อขนาดของของช่องตะแกรงเล็กลง ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 53 μm การเกาะจับเชิงกลจะมีค่ามากสำหรับตะแกรงที่มีช่องขนาดเล็ก

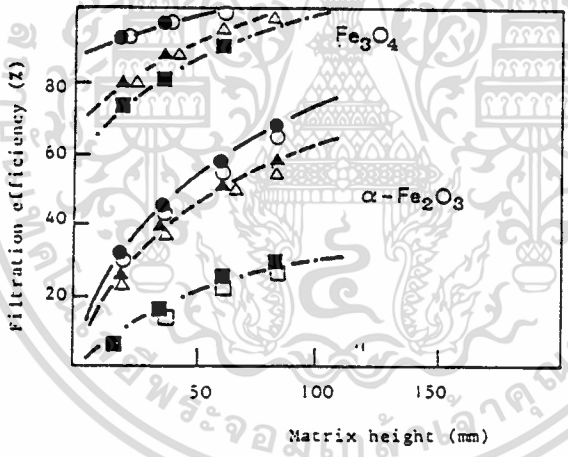
3.4.2..3 ความสูงของตะแกรง

ความสูงของตะแกรง(Matrix height) มีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่อนุภาคอยู่ในสนามแม่เหล็ก และโอกาสที่จะสัมผัสกับตะแกรง ซึ่งก็คือโอกาสที่จะถูกเกาะจับ ในทำนองเดียวกันความสูงของตะแกรง ก็ยังส่งผลถึงกำลังไฟฟ้าที่จะต้องใส่ให้กับเครื่องแยกแร่ ขนาดของเครื่อง และโอกาสการอุดตันของตะแกรง ซึ่งเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง ในยุคแรกๆ ความสูงของตะแกรงที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 80 - 100 มม. ส่วนเครื่องที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะอยู่ในช่วง ประมาณ 200 มม.แต่ในบางกรณี เช่นในการเพิ่มคุณภาพของ Kaolin ความสูงของตะแกรงอาจสูงถึง 500 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแยกแร่ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กสูงพอสมควรความสูงของตะแกรงจะมีค่าประมาณ 100 - 150 มม. ก็เพียงพอดังจะเห็นได้ จากรูปที่ 3.24 และ 3.25 ซึ่งการเพิ่มความสูงของตะแกรงไม่ได้ทำให้ recovery สูงขึ้นเท่าไรนัก

ส่วนแร่ที่เป็นสารแม่เหล็กที่อ่อนกว่า พบว่าควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดสูงขึ้น อย่างไรก็ดี recovery แทบจะไม่เพิ่มขึ้นเลยเมื่อใช้ตะแกรงสูงกว่า 175 มม. ดังแสดงในรูป 3.26 และ รูปที่ 3.27 ส่วนการแยกแร่ที่อยู่ในสภาพผงละเอียด ตะแกรงที่ใช้อาจสูงกว่า 200 มม. ตัวอย่างเช่น สำหรับกรณีของ Kaolin ตะแกรงที่ใช้มักสูงประมาณ 500 มม.



รูปที่ 3.24 แสดงความสัมพันธ์ของการแยกออกไซด์ของเหล็กกับความสูงของตะแกรงแบบ ฝอยเหล็ก(steel wool) ขนาดต่างๆ

○ - หมายถึง ฝอยเหล็กแบบละเอียด(2a = 40 μm)

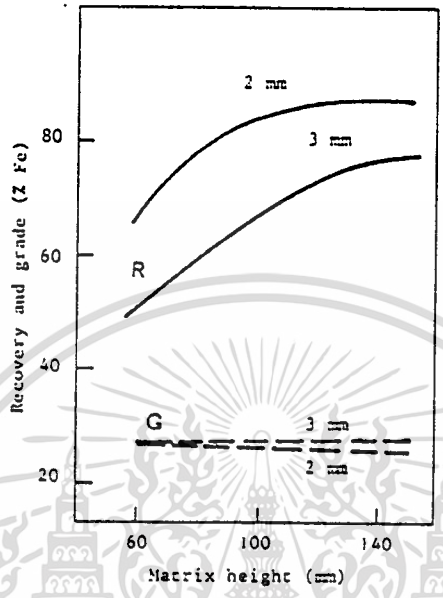
△ - หมายถึง ฝอยเหล็กแบบปานกลาง(2a = 75 μm)

□ - หมายถึง ฝอยเหล็กแบบหยาบ(2a = 125 μm)

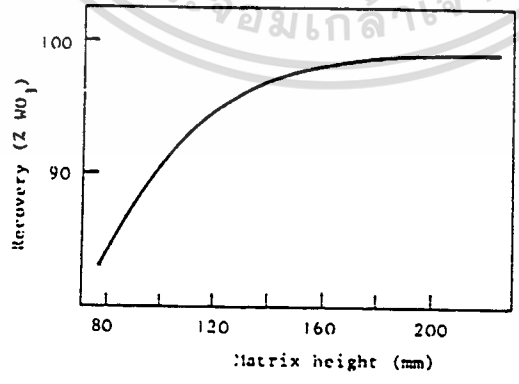
สัญญลักษณ์ที่ไม่ถูกแรเงา หมายถึง ฝอยเหล็กแบบปกติ

สัญญลักษณ์ที่ถูกแรเงา หมายถึง ฝอยเหล็กที่ไม่มีระเบียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

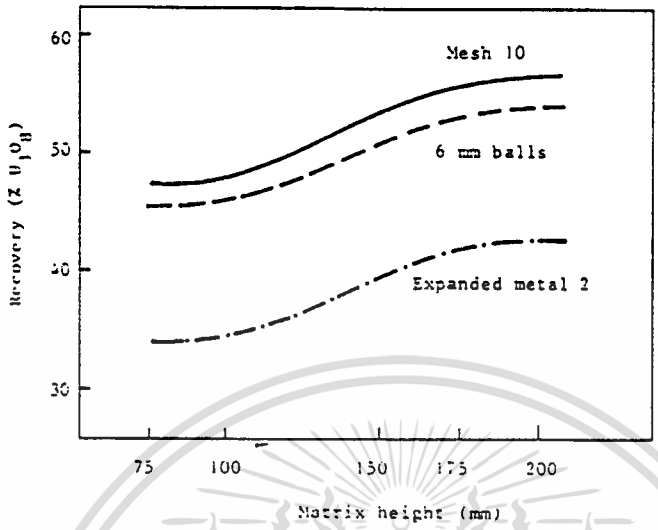


รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง recovery และ grade กับ ความสูงของตะแกรงชนิดหลอด(rods type) ที่ขนาดต่างๆ มีค่า ความเข้มของสนามแม่เหล็ก 0.9 T ,อัตราการป้อนแร่ 0.15 m/s



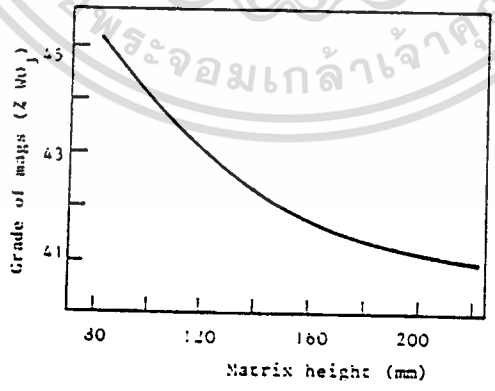
รูปที่ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง recovery ของ วุลแฟมกับความสูงของตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง recovery ของยูเรเนียม กับความสูงของตะแกรงชนิดต่างๆ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1.1 T อัตราการป้อนแร่ 0.06 m/s

grade ของ magnetic concentrates นั้นมักจะไม่ขึ้นกับความสูงของตะแกรง ในช่วงที่กล่าวมา อย่างไรก็ดีในบางกรณีพบว่า grade ลดลง เมื่อความสูงของตะแกรงเพิ่มขึ้น (ดู**รูปที่** 3.28)



รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง grade ของส่วนผสมของสารแม่เหล็กกับความสูงของตะแกรง

โดยสรุปแล้วจากที่ได้มีคนศึกษามา พบว่าความสูงของตะแกรงควรมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เมื่อความสูงลดลงก็สามารถลดขนาดของขั้วแม่เหล็กลงได้ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดความสูงของขดลวดเหนี่ยวนำ นั่นคือ การลดขนาดของเหล็กที่จะใช้สำหรับทำโยค และก็เป็นการลดกำลังไฟฟ้าที่จะต้องป้อนเข้าสู่เครื่องแยกแร่ ด้วย

3.4.2.4 <u>คุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุที่ใช้ทำตะแกรง</u>

โดยรูปแบบของการแยกด้วยสนามแม่เหล็กนั้น โอกาสที่อนุภาคจะถูกดูดจับโดยตะแกรงนั้นน่าจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ Saturation magnetization ของสารที่ใช้ทำตะแกรง อย่างไรก็ดี ผลการทดลองซึ่งมีจำนวนจำกัดจนถึงปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่าทฤษฎีนี้ใช้ไม่ได้

มีผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มปานกลางนั้น เมื่อใช้กับ steel matrix ซึ่งมีค่า magnetic polarization 0.1 เทสลา ให้ประสิทธิภาพที่แตกต่างจากที่ใช้ steel matrix ซึ่งมีค่า magnetic polarization 2 เทสลา น้อยมาก และยังพบว่า grade ของ magnetic concentrate มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกค่าของ magnetic induction ไม่ว่าจะใช้เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็กอย่างอ่อนหรืออย่างแรง ในทำนองเดียวกัน ในการทำให้ Kaolin บริสุทธิ์นั้นพบว่า amorphous ferromagnetic fibres ซึ่งมี saturation polarization 1.1 เทสลา ให้ผลดีกว่าการใช้ stainless stell matrix ซึ่งมีค่า saturation polarization 2.1 เทสลา ภายใต้สภาวะเดียวกันทุกประการ

สรุปได้ว่า magnetization ของสารที่ใช้ทำตะแกรงมีบทบาทน้อยมาก เมื่อเทียบกับการทำนายทางทฤษฎีดังนั้น paramagnetic steel matrix จึงนำมาใช้ในการแยกแร่ และได้ผลดีเป็นที่ยอมรับ ในขณะเดียวกันก็มี magnetization ตกค้างน้อยทำให้ง่ายต่อการใช้น้ำล้างแร่ออกจากตะแกรง

3.4.2.5 <u>การเลือกวัสดุทำตะแกรง</u>

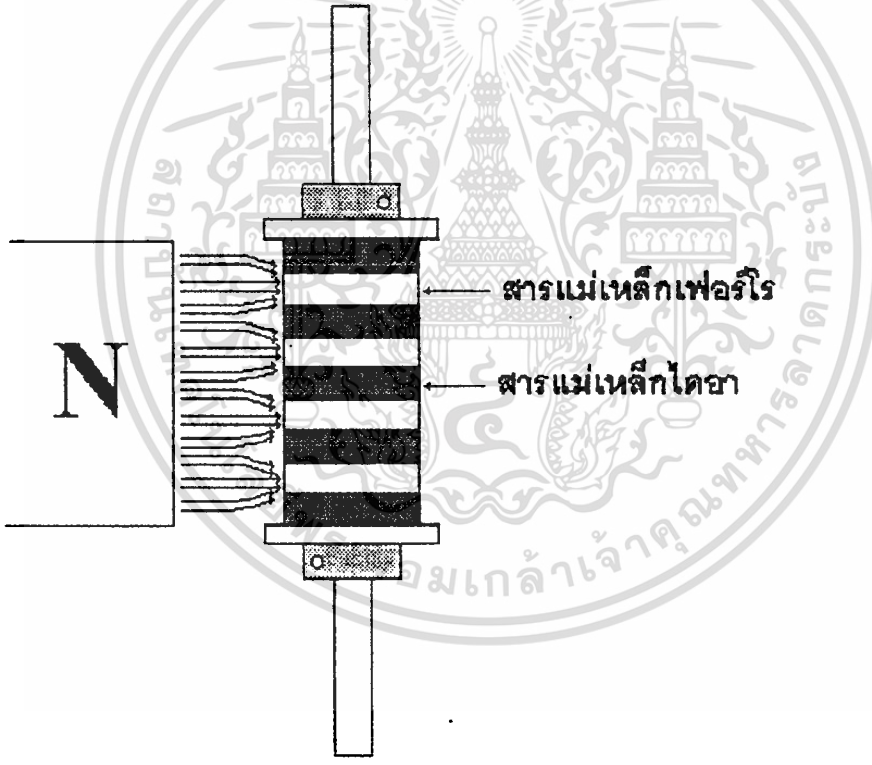
ในการเลือกใช้วัสดุที่ทำตะแกรงนั้นก็ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเชิงกล และเชิงแม่เหล็ก วัสดุที่ใช้ควรมี saturation poiarization ให้สูงไว้ก่อน(0.5 เทสลา) เพื่อให้มีอำนาจในการดูดสารแม่เหล็ก และควรมี polarization ตกค้างน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อสะดวกในการนำเอาสารแม่เหล็ก หรือเม็ดแร่ให้หลุดออกจากตะแกรง

วัสดุที่ใช้ทำตะแกรง ได้แก่ เหล็กอ่อน(mild steel) และ magnetic stainless steel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ลูกกลิ้ง

ในการเพิ่มเกรเดียนต์ ของสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ จะใช้ตัวลูกกลิ้ง(Roller) เป็นตัวเพิ่มเกรเดียนต์ของสนามแม่เหล็ก โดยอาศัยคุณสมบัติการติดแม่เหล็ก ของสารแม่เหล็กเฟอร์โร และสารแม่เหล็กไดอา คือในตัวลูกกลิ้งจะใช้โลหะสองชนิดวางสลับกัน คือ สารแม่เหล็กเฟอร์โร จะเป็นตัวดึงดูดเส้นแรงแม่เหล็ก และสารแม่เหล็กไดอา ซึ่งเป็นตัวผลักเส้นแรงแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ตัวลูกกลิ้งของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง และเกรเดียนต์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

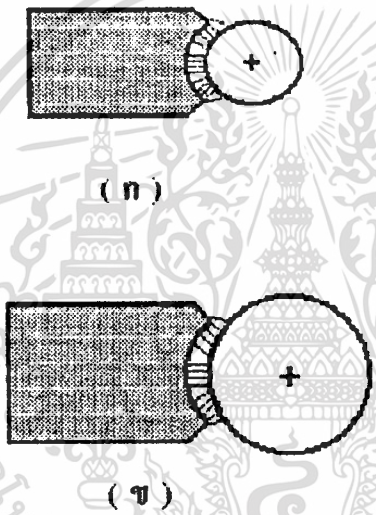
สิ่งสำคัญในการพิจารณาสร้างตัวลูกกลิ้ง มีดังนี้

1. ขนาดของตัวลูกกลิ้ง
2. ความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร และสารแม่เหล็กไดอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.1 <u>ขนาดของตัวลูกกลิ้ง</u>

ขนาดของตัวลูกกลิ้งที่จะสร้างนั้น ควรมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดของขั้วแม่เหล็ก เพราะว่า เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก จะได้เหนี่ยวนำทั่วบริเวณของตัวลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.30 (ก.) และ(ข.) ในรูป 3.30(ข.) จะเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำผ่านไปไม่ทั่วถึงบริเวณของตัวลูกกลิ้ง เกรเดียน์ของตัวลูกกลิ้งก็จะมีค่าน้อย จึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง



รูปที่ 3.30 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อตัวลูกกลิ้ง (ก) มีขนาดใกล้เคียงกับขั้วแม่เหล็ก (ข) มีขนาดใหญ่กว่าขั้วแม่เหล็ก

3.4.3.2 <u>ความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร และสารแม่เหล็กไดอา</u>

ความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร และสารแม่เหล็กไดอา ที่จะมาประกบสลับกันเป็นตัวลูกกลิ้งนั้น ความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กไดอาควรมีค่าน้อยกว่าแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร เพราะว่าเกรเดียน์จะเกิดขึ้นบนสารแม่เหล็กเฟอร์โรเท่านั้น ซึ่ง ขนาดของอนุภาคที่จะแยกนั้น ก็มีผลต่อการตัดสินใจเลือกความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร ส่วนใหญ่ตัวลูกกลิ้งของเครื่องแยกแร่แบบแห้งชนิดนี้ มีความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร ประมาณ 2 มม. และความหนาของแผ่นสารแม่เหล็กไดอาเป็นครึ่งหนึ่งของแผ่นสารแม่เหล็กเฟอร์โร คือ 1 มม. วางสลับกันตลอดทั้งตัวลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การสร้างเครื่องแยกแร่

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการสร้างเครื่องแยกแร่ทั้งแบบเปียก และแบบแห้ง โดย เครื่องแยกแร่แบบเปียก เป็นชนิดถังคารูเซล และเครื่องแยกแร่แบบแห้ง เป็นชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

4.1 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล

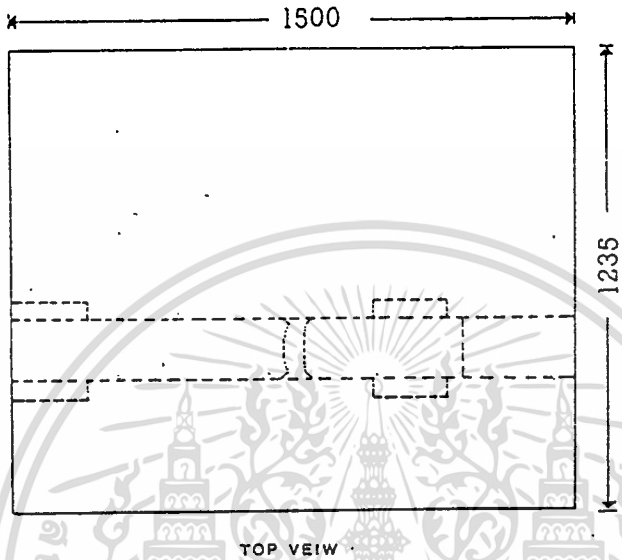
ขั้นตอนการสร้าง เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล มีทั้งหมด 8 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การออกแบบ และสร้างฐานรองรับเครื่องแยกแร่
2. การออกแบบ และสร้าง CORE , YOKE และขั้วแม่เหล็ก
3. การพันขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก
4. การออกแบบ และสร้างชุดควบคุมทั้งหมด
5. การออกแบบ และสร้างถังหมุน
6. การเลือก และออกแบบสร้างเมทริกซ์
7. การประกอบชุดควบคุมทั้งหมด
8. การประกอบโครงสร้างของเครื่องแยกแร่

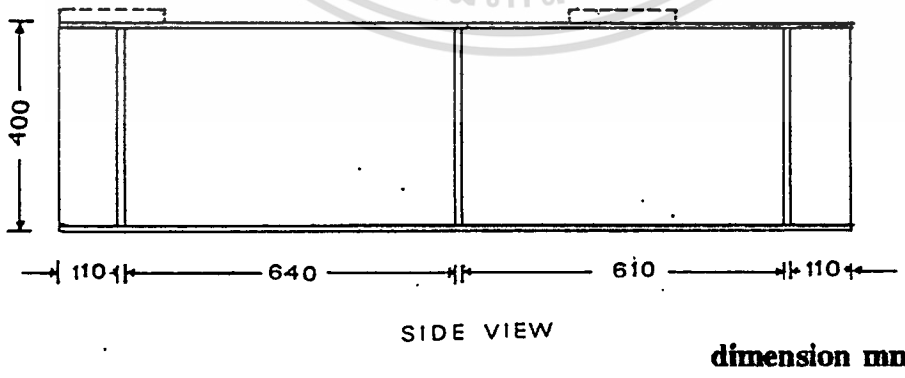
4.1.1 การออกแบบ สร้าง ฐานรองรับเครื่องแยกแร่

การออกแบบ และสร้างฐานรองรับ เป็นส่วนแรกที่จะต้องคำนึงถึง เพราะฐานเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่องแยกแร่ ซึ่งจะต้องรองรับน้ำหนักได้ทั้งหมดประมาณ 3 ตัน ในส่วนฐานรองรับทำจากเหล็กแผ่นหนา 1 ซม. สร้างเป็น I - beam ลักษณะโครงสร้างของฐานรองรับ มีขนาด 1235 มม. x 1500 มม. x 400 มม. แสดงดังรูปที่ 4.1 - 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

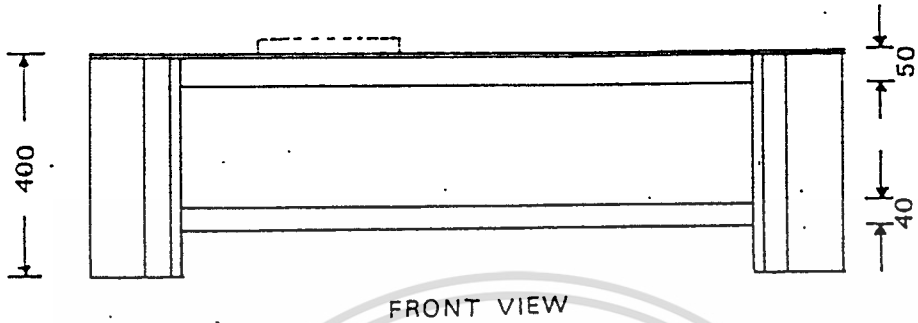


รูปที่ 4.1 ฐานรองรับเครื่องแยกแร่ (มองทางด้านบน) และเส้นไข่ปลา เป็นบริเวณที่ จะติดตั้ง CORE ,YOKE ของชุดแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะ ฐานรองรับเครื่องแยกแร่ (มองทางด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

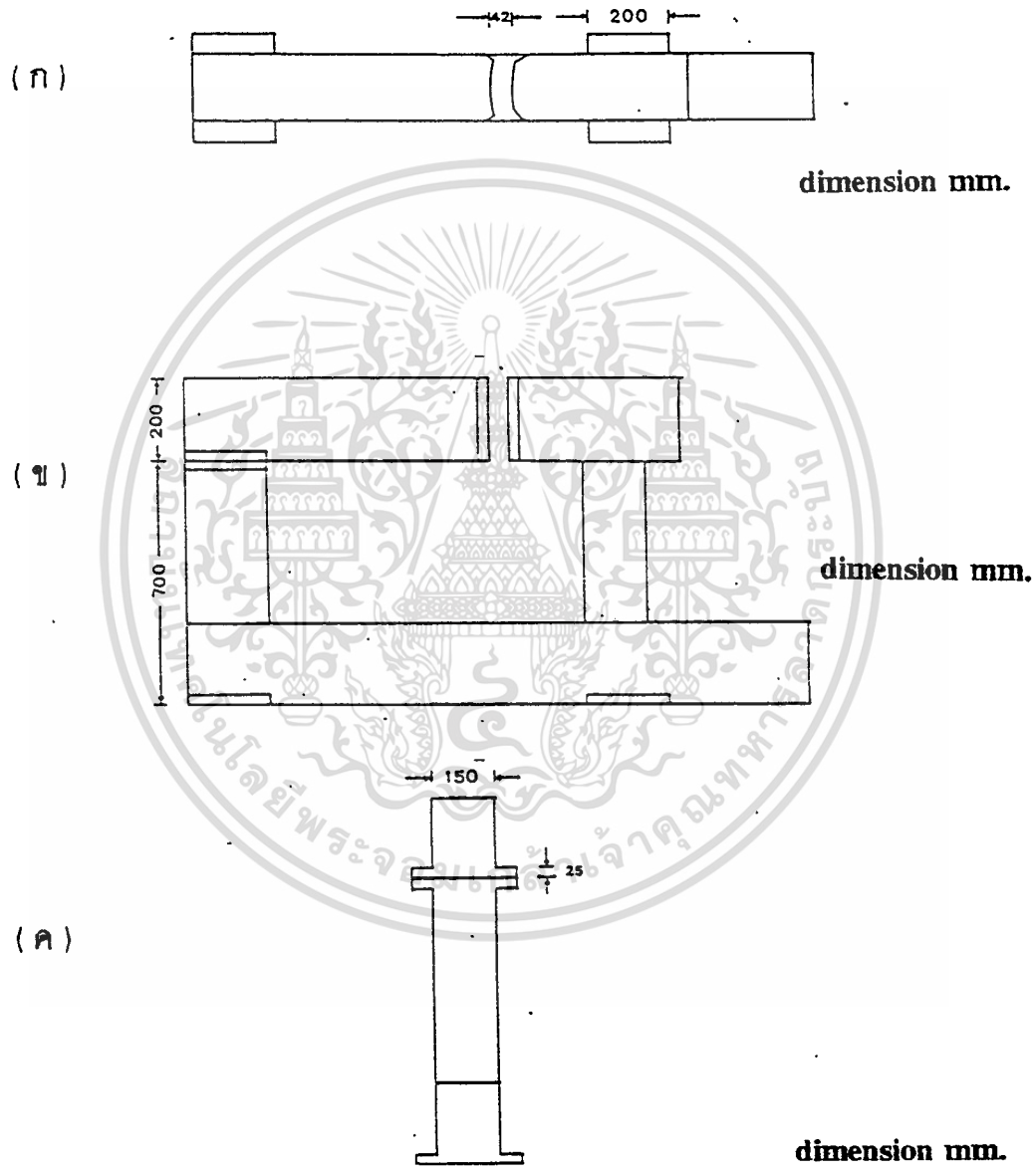


รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะ ฐานรองรับเครื่องแยกแร่ (มองทางด้านหน้า)

4.1.2 การออกแบบและสร้าง CORE , YOKE และขั้วแม่เหล็ก

หลักสำคัญในการออกแบบ CORE ,YOKE และขั้วแม่เหล็กคือ การออกแบบรูปร่างของปลายขั้วแม่เหล็กบริเวณที่ใช้งาน กับการเลือกวัสดุชนิดที่เป็นเหล็กอ่อน และมีในประเทศ (ได้แสดงผลการตรวจสอบวัสดุไว้ในบทที่ 5) โดยคำนึงถึงจุดที่เป็นบริเวณขั้วแม่เหล็ก ซึ่งจะให้เส้นแรงแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ ประกอบกับความต้องการอัตราการป้อนผ่านขั้วแม่เหล็ก ประสิทธิภาพในการแยกแร่จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ อัตราการป้อนแร่ที่ใช้ในการแยก แต่จะแปรผันตรงข้ามกับ ความกว้างของระยะห่างของขั้วแม่เหล็ก ลักษณะของ ขั้วแม่เหล็ก ,CORE และ YOKE ที่ได้ออกแบบ มีลักษณะดังรูปที่ 4.4 ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน CORE เท่ากับ 200 x 150 มม^2 และบริเวณปริมาตรที่ให้สนามแม่เหล็ก 42 x 200 x 150 มม^3 ซึ่งรูปที่ 4.5 แสดงชุดฐานรองรับและขั้วแม่เหล็กที่ได้ประกอบขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



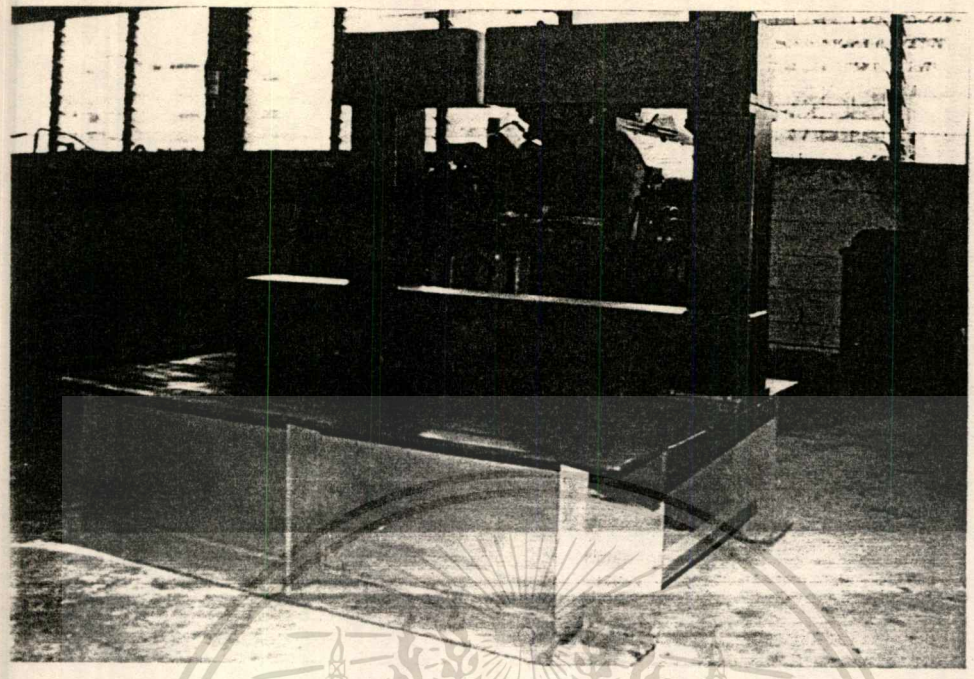
รูปที่ 4.4 ลักษณะการออกแบบ CORE ,YOKE และขั้วแม่เหล็ก

(ก) แสดง มองทางด้านบน

(ข) แสดง มองทางด้านข้าง

(ค) แสดง มองทางด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



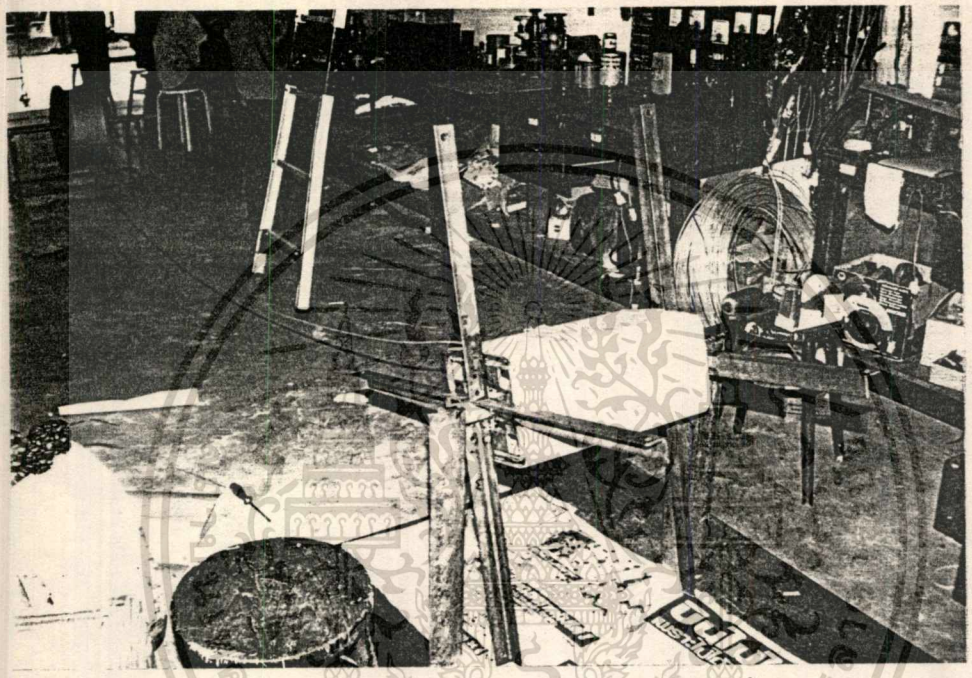
รูปที่ 4.5 แสดงชุดที่ได้สร้างขึ้นของ CORE ,YOKE และขั้วแม่เหล็ก ตั้งบนฐานรองรับ

4.1.3 การพันขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก

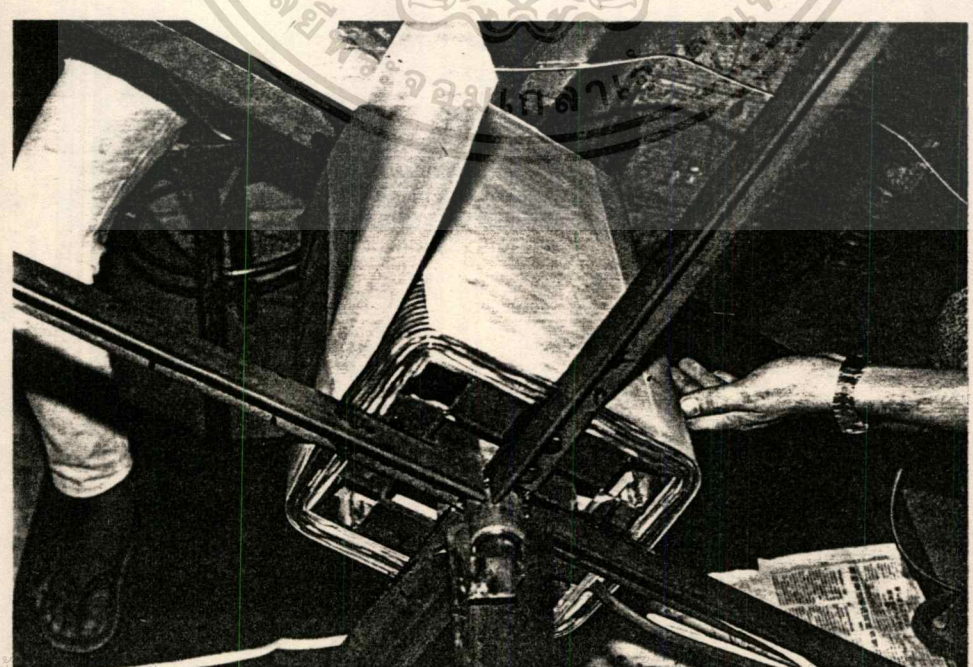
หลักเบื้องต้นในการออกแบบ และเลือกขดลวดที่จะนำมาใช้พันเป็นขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็กนั้น โดยทั่วไป จะใช้ลวดโลหะทองแดงซึ่งมีลักษณะรูปร่างต่างๆ กัน เช่น กลม แบน หรือแผ่นบางๆ เป็นต้น แต่หลักสำคัญในการเลือกลักษณะของขดลวดต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด เพราะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความร้อน โดยในการออกแบบเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงนี้ได้กำหนดไว้ว่าต้องการจ่ายกระแสสูงสุดที่ 20 A ดังนั้นจึงต้องเลือกขนาดของขดลวดทองแดง ซึ่งมีลักษณะแบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 6 มม. หนา 2 มม. ซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง 12 มม^2. เพื่อลดความต้านทานของขดลวดทองแดง เพราะไม่มีระบบหล่อเย็นที่ขดลวดทั้งสอง การพันขดลวดขนาดใหญ่นั้น จำเป็นที่จะต้องพันบนแท่นหมุนที่สร้างขึ้นเป็นโครงเหล็กเพื่อสะดวกในการพัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากนั้นทำการพันเรียงเส้นกันจนเต็มชั้น และทาด้วยน้ำมันวานิชซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า เมื่อน้ำมันวานิชแห้งก็จะหุ้มด้วยกระดาษทนความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.7 จากนั้นจึงพันขดลวดทับบนชั้นถัดมา และทำลักษณะคล้ายกันเช่นนี้ต่อไปจนครบ 5,600 รอบ เมื่อพันจนเสร็จจะหุ้มด้วยเทปทนความร้อน ดังรูปที่ 4.8 และทำลักษณะเดียวกันกับการพันขดลวดที่สองจนครบ 1,650 รอบ เนื่องจากขดลวดทั้งสองมีน้ำหนักมากจึงต้องมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระมัดระวังในการประกอบ และเคลื่อนย้ายซึ่งต้องอาศัยเครื่องทุ่นแรงช่วยยก เช่น รอก เป็นต้น. ดังแสดงในรูปที่ 4.9 - 4.11 ตามลำดับ และในการออกแบบเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงได้ตั้งจุดมุ่งหมายที่จะต้องให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงกว่า 8,000 เกาส์ ที่ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กประมาณ 4 ซม.

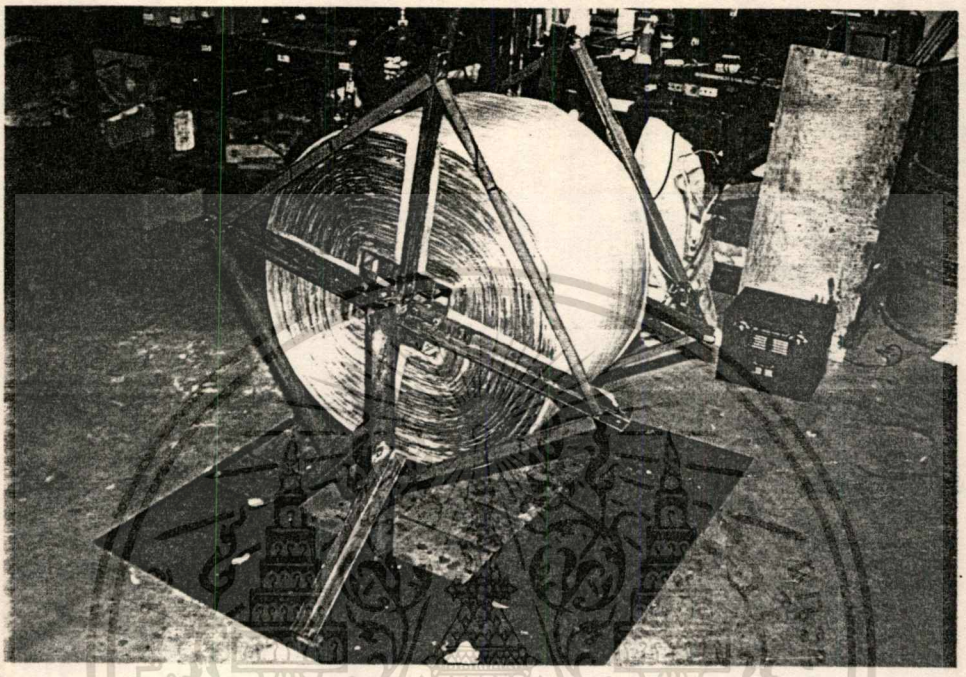


รูปที่ 4.6 การพันขดลวดบนโครงเหล็กที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.7 การหุ้มฉนวนด้วยกระดาษระหว่างชั้นของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

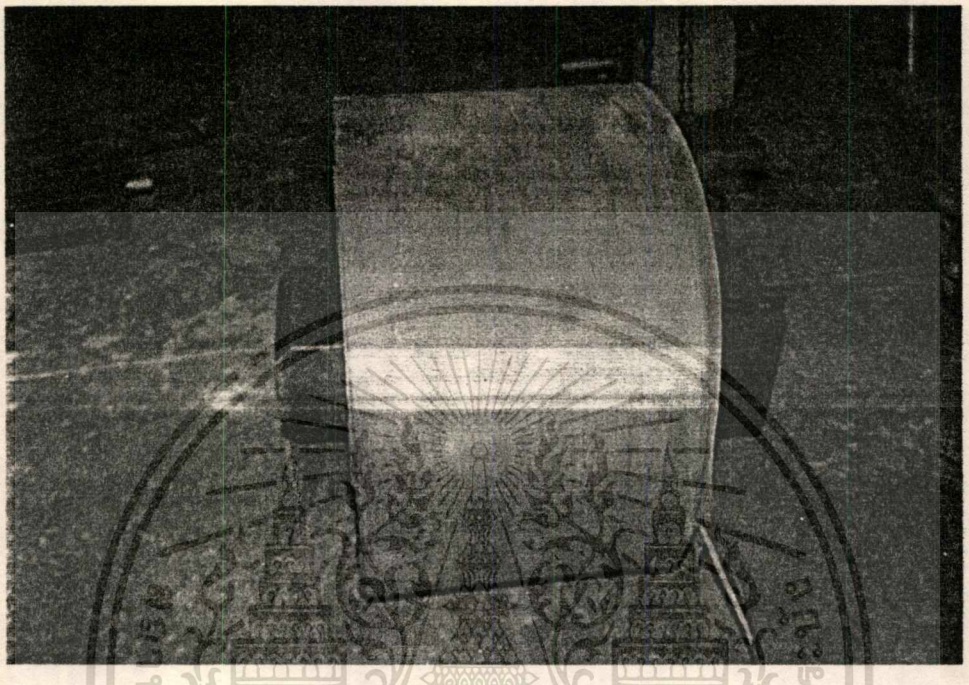


รูปที่ 4.8 ขดลวดที่หนึ่ง 5,600 รอบ เมื่อพันเสร็จแล้ว และหุ้มด้วยเทปทนความร้อน

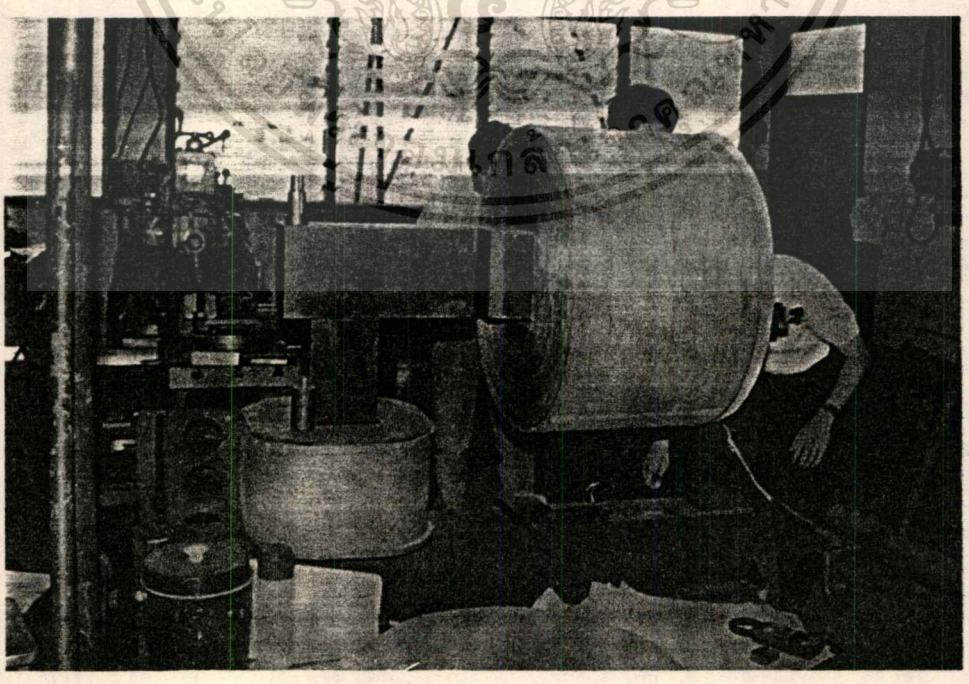


รูปที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนย้ายขดลวดเพื่อที่จะมาประกอบกับแกนแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ขดลวดซึ่งประกอบเข้ากับแกน CORE ของแม่เหล็ก



รูปที่ 4.11 ประกอบขดลวดทั้งสองเข้ากับ YOKE และ CORE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การออกแบบและสร้างชุดควบคุมการทำงานของเครื่องแยกแร่แบบเปียกชนิดถังคารูเซล

มีทั้งหมด 3 ชุดควบคุมด้วยกันคือ

1. การสร้างชุดจ่ายกระแสให้กับขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก
2. การสร้างชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ของถังหมุน
3. การสร้างชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ของถังกวนแร่

ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 จะมีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งเป็นชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ ดี.ซี.

4.1.4.1 การสร้างชุดจ่ายกระแสให้กับขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก

การออกแบบ และสร้างชุดจ่ายกระแสให้กับขดลวดของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงเพื่อการแยกแร่ แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ตรวจวัดความต้านทานของขดลวดแต่ละขดและวัดความต้านทานรวม และทดลองป้อนกระแสตรงที่ขนาดแรงดันต่างๆ เพื่อหาความต้านทาน
2. ออกแบบ และสร้างชุดจ่ายกระแส

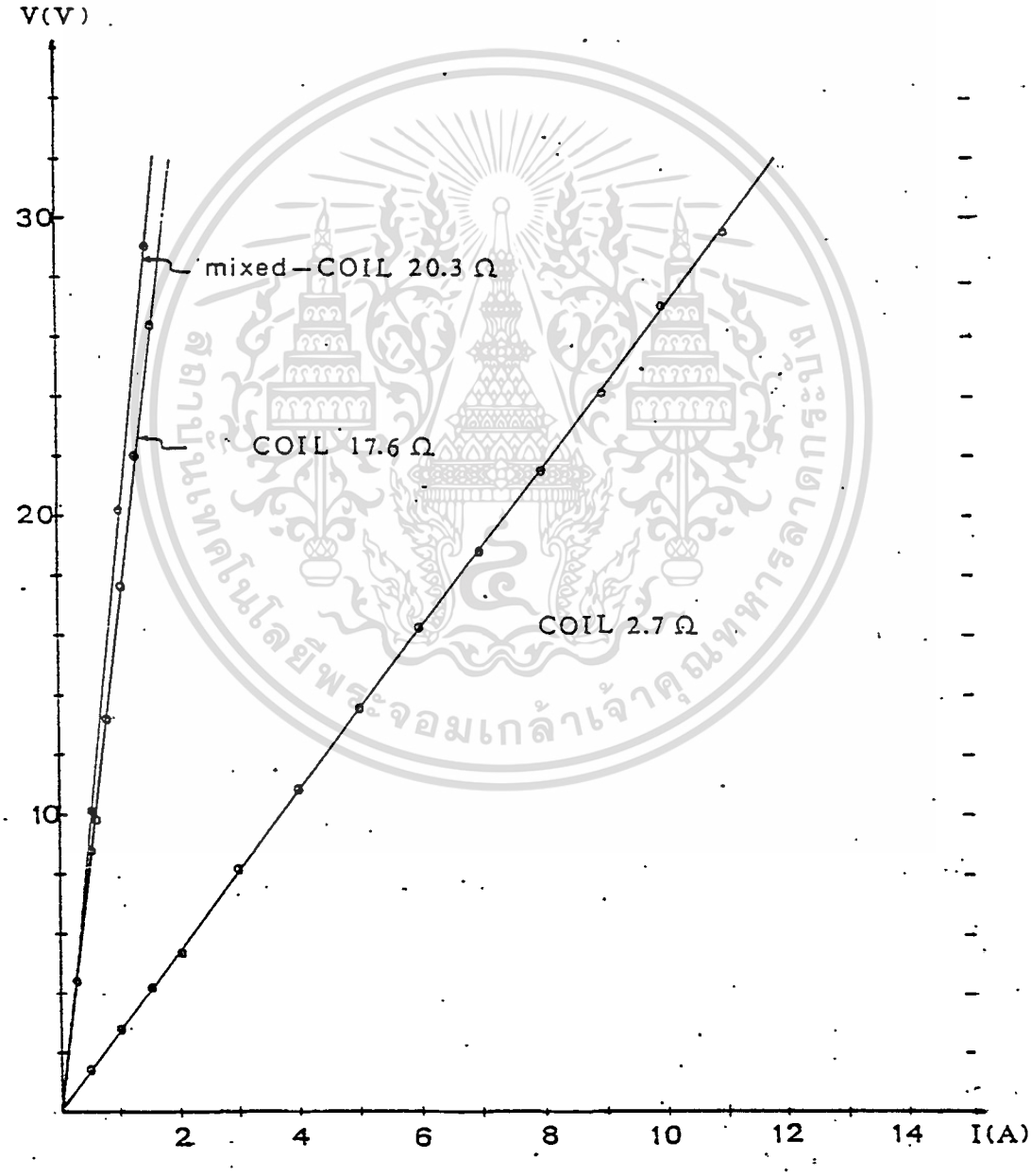
4.1.4.1.1 วัดความต้านทานของขดลวด

หลักการเบื้องต้นในการออกแบบแหล่งจ่ายกระแสนั้น สิ่งแรกที่จะต้องคำนึงถึง คือ ความต้านทานของโหลด (ความต้านทานของขดลวดทั้งสองขด) และกระแสที่ต้องการจะจ่ายให้กับโหลด จึงจะนำมาใช้กำหนดค่าแรงดันสูงสุดสำหรับชุดแหล่งจ่ายกระแสที่จะสร้างขึ้น ดังนั้น การวัดความต้านทานของขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็กจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อใช้ในการออกแบบแหล่งจ่ายกระแสให้เหมาะสม ได้ทำการวัด และตรวจสอบค่าความต้านทานของขดลวดทั้งสอง ได้ดังนี้คือ ขดลวดที่ 1 มี 5600 รอบ วัดได้ 17.6 โอห์ม ขดลวดที่ 2 มี 1650 รอบ วัดได้ 2.7 โอห์ม และได้ต่อขดลวดทั้งสองแบบอนุกรมกันวัดได้ 20.3 โอห์ม ผลที่ได้จากการวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้า แสดงดังกราฟรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.1.2 การสร้างชุดจ่ายกระแสให้กับขดลวด

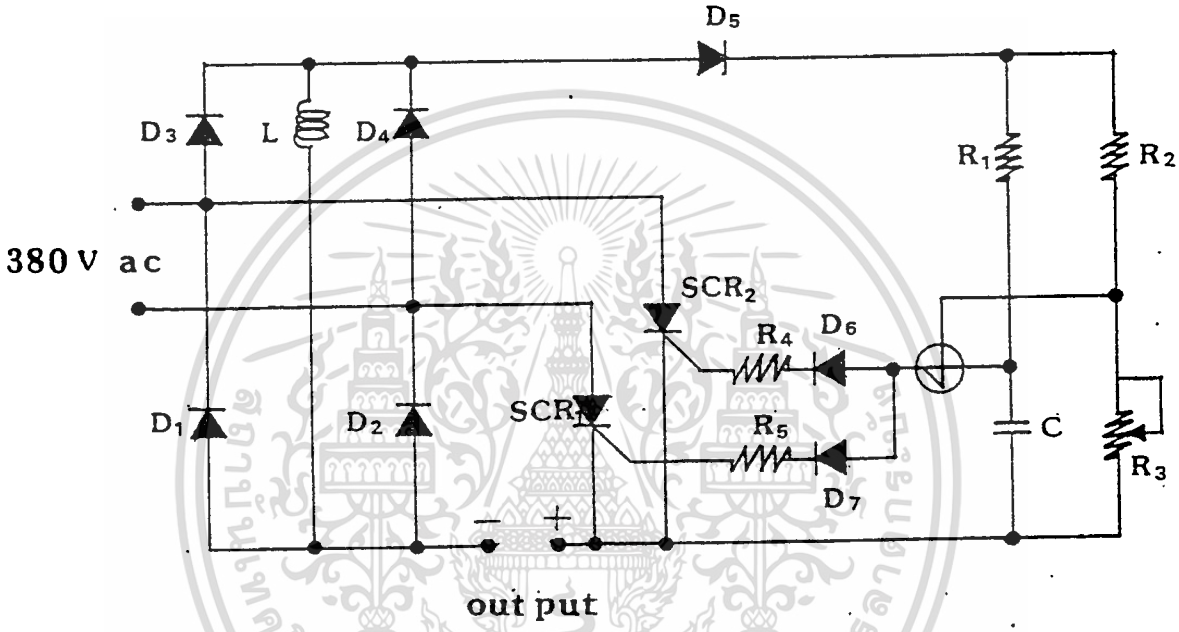
ในการสร้างชุดจ่ายกระแสตรงให้กับขดลวด เพื่อกำเนิดสนามแม่เหล็กสำหรับเครื่องแยกแร่นี้ เนื่องจากความต้านทานของโหลดที่ใช้มีค่าสูงถึง 20 โอห์ม และต้องการกระแสไหลผ่านโหลดขนาด 20 A ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 220 V ได้ทำให้ต้องเลือกขนาดของแรงดันไฟฟ้าเป็น 380 V



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส และค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก **ขดที่** 1 (17.6 Ω) **และขดที่** 2 (2.7 Ω) **และทั้งสองขดต่ออนุกรมกัน** (20.3 Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการสร้างชุดจ่ายกระแสตรงสองเฟส แบบปรับค่าได้ ซึ่งมีน้ำหนักเบาและสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 20 A สามารถดัดแปลงใช้ควบคุมชุดควบคุมอื่นๆ ได้ด้วย รูปวงจร ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 วงจรชุดจ่ายกระแสตรงเฟสเดียว 380 V ,20 A แบบปรับค่าได้

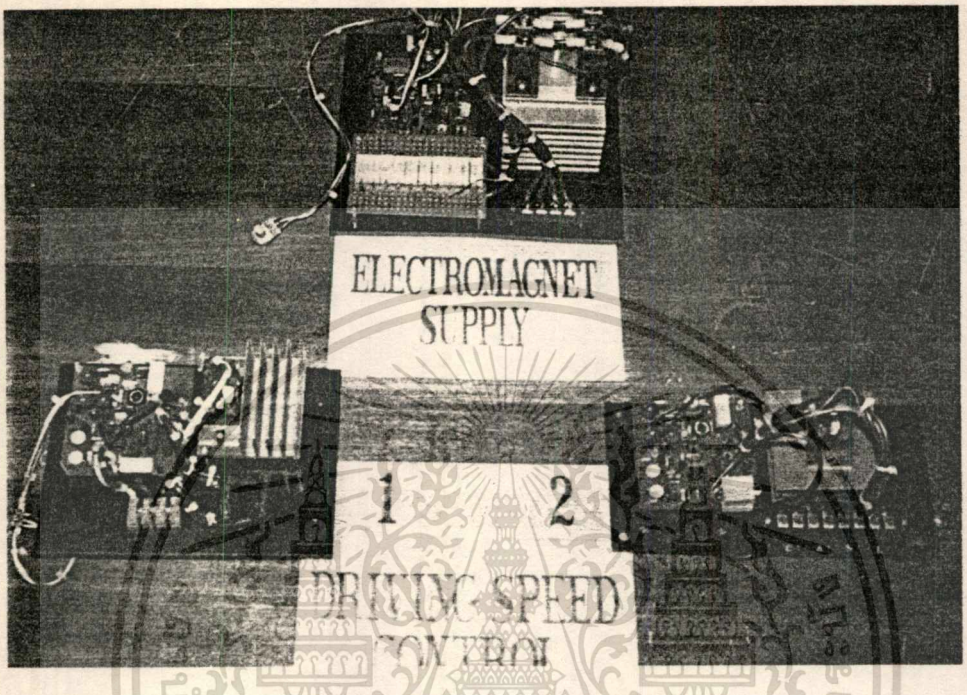
4.1.4.2 การสร้างชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ของถังหมุน และถังกวนแร่

เนื่องจากมอเตอร์ของถังหมุนและถังกวนแร่เป็นมอเตอร์ชนิดเดียวกัน คือ เป็นมอเตอร์กระแสตรง ใช้แรงดันไฟฟ้า 60 โวลท์ ได้ใช้วงจรป้อนกระแสของขดลวด ใน รูปที่ 4.13 โดยได้ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางส่วนของวงจร เพื่อใช้เป็นวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยมีสิ่งที่เปลี่ยนแปลงคือ

- แรงดันไฟฟ้าขาเข้าจาก 380 V เป็น 220 V
- ได้เปลี่ยน SCR เบอร์ 1 และเบอร์ 2 ให้เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า

ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องแยกแร่แบบเปียกทั้งสามชุดที่สร้างเสร็จ แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

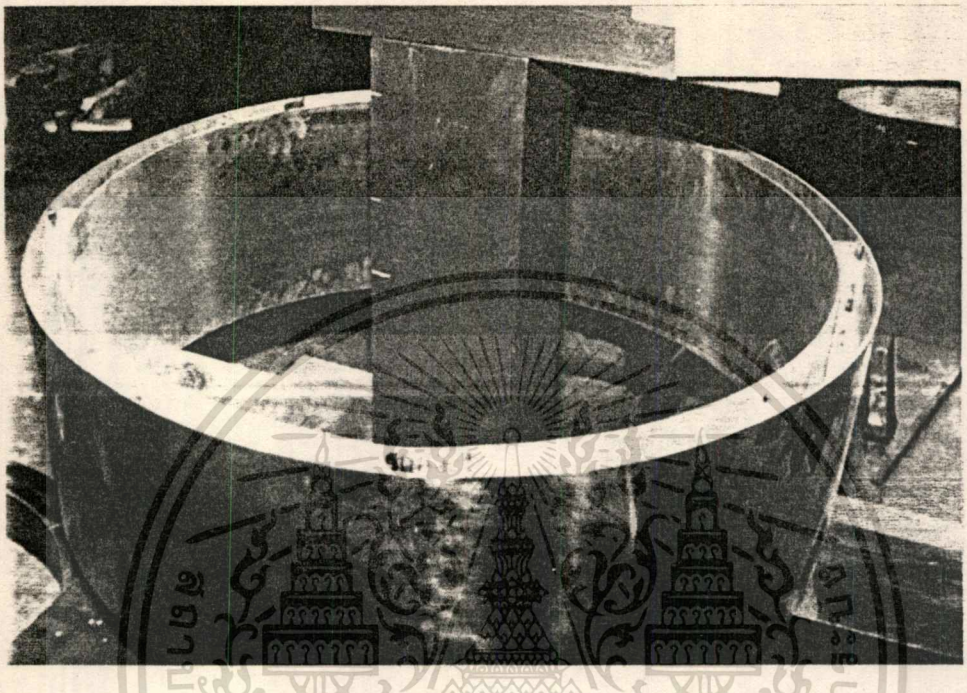


รูปที่ 4.14 ชุดจ่ายกระแสตรงเฟสเดียว 380 V แบบปรับค่าได้ และ
ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ ของถังหมุนและถังกวนแร่

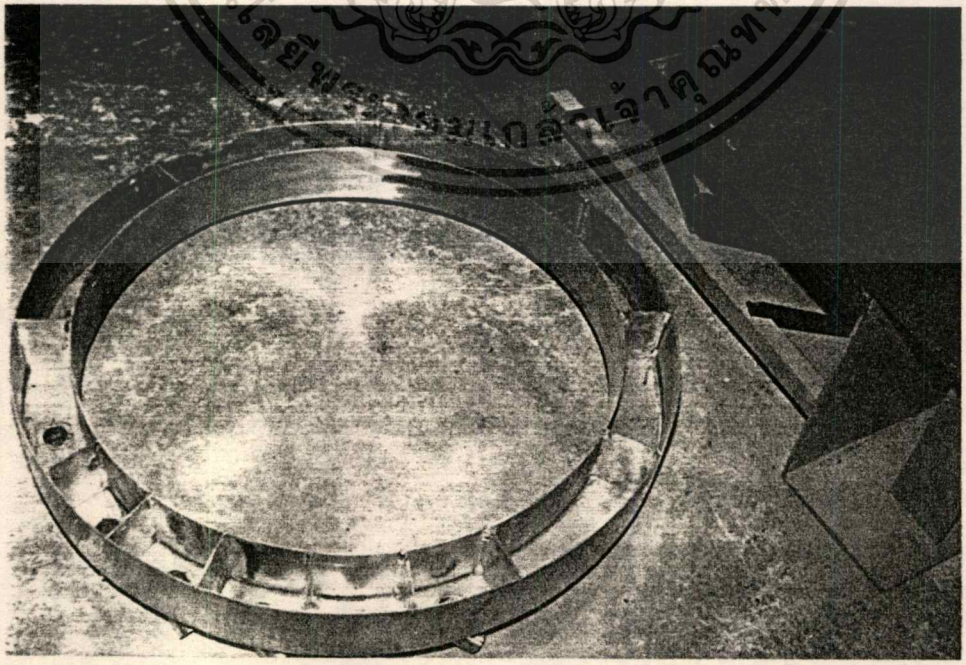
4.1.5 การออกแบบ และสร้างถังหมุน

ถังหมุนเป็นสิ่งที่สำคัญมากส่วนหนึ่งของเครื่องแยกแร่ชนิดนี้ เพราะแร่ต่างๆ จะถูกป้อนผ่านเข้ามาบริเวณช่องว่างที่บรรจุเมทริกซ์ของถังหมุน ซึ่งทำหน้าที่แยกสารแม่เหล็ก ออกจากสารที่ไม่เป็นแม่เหล็ก แบ่งออกเป็นสองส่วน *คือ* ***ส่วนถังหมุนและส่วนรองรับถังหมุน*** ซึ่งทำด้วยแผ่นโลหะสแตนเลสหนา 3 มม. ในส่วนของถังหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 796 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 860 มม. สูง 280 มม. ภายในกั้นเป็นช่องๆ 8 ช่อง เพื่อใส่เมทริกซ์ แสดงดังรูปที่ 4.15 ในส่วนที่เป็นส่วนรองรับถังหมุน(ส่วนนี้จะอยู่กับที่ไม่หมุน) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 756 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 904 มม. และสูง 103 มม. ภายในกั้นเป็นช่องๆ เพื่อที่จะแบ่งแร่ตามคุณสมบัติของแร่ คือ แร่ติดแม่เหล็ก(Magnetics) , แร่ไม่ติดแม่เหล็ก(Non - Magnetics) และ แร่คละ(Middling) ซึ่งจะต่อท่อลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และทั้งสองส่วนนี้จะประกบคู่กัน ดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำดัดแปลง ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

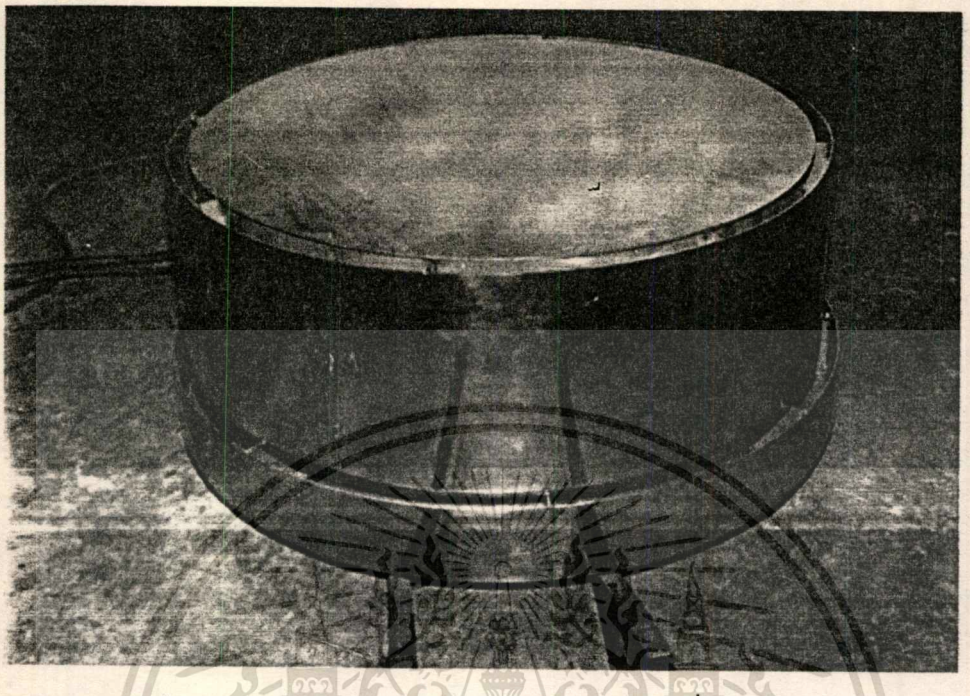


รูปที่ 4.15 ถังหมุนสำหรับเครื่องแยกแร่



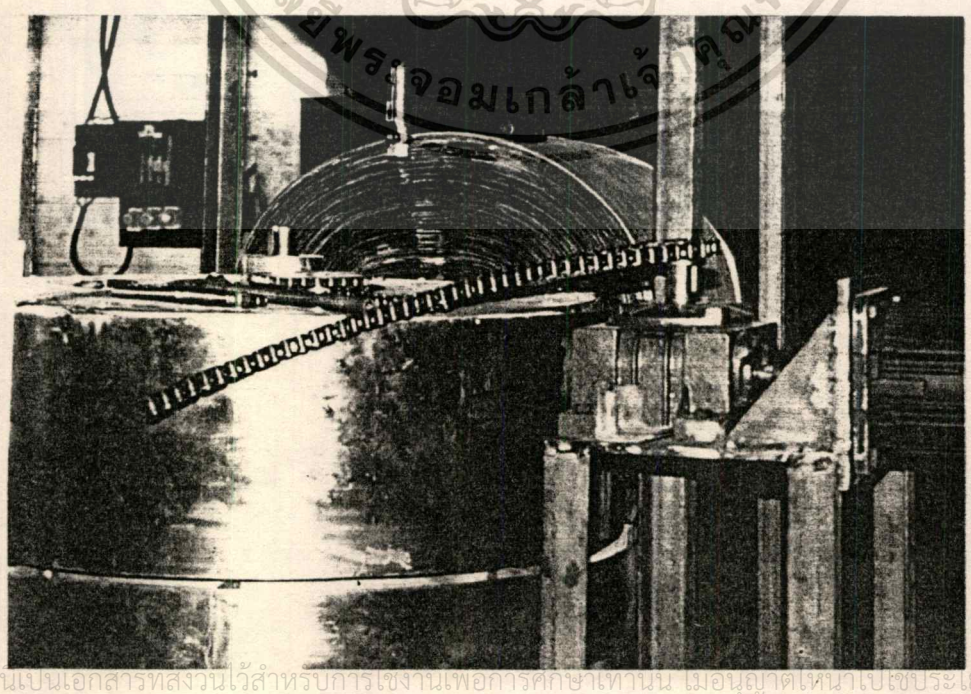
รูปที่ 4.16 ฐานรองรับถังหมุน เป็นส่วนที่รองรับแรหลังจากผ่านการแยกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ประกอบเป็นชุดถังหมุนสำหรับเครื่องแยกแร่

สำหรับชุดขับเคลื่อนถังหมุนประกอบด้วย มอเตอร์ดีซี ขนาด 60 V/15 A ,เกียร์ทด ขนาด 1:20 และใช้โซ่เป็นตัวขับเคลื่อนเฟืองที่ติดบนถังหมุน ประกอบเป็นชุดขับเคลื่อนถังหมุน แสดงดังรูปที่ 4.18

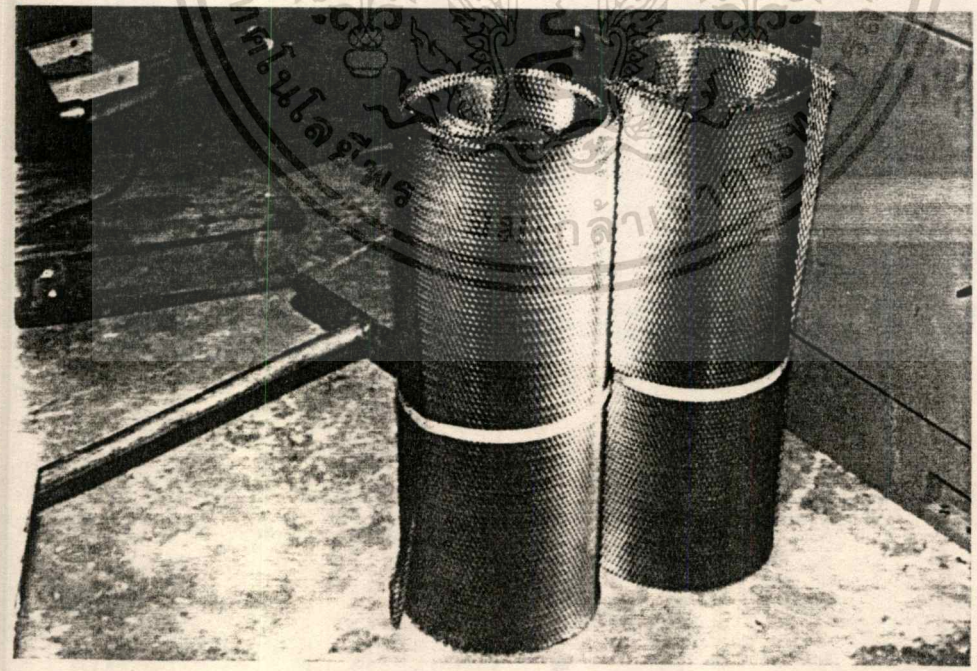


รูปที่ 4.18 ถังหมุนที่ประกอบเข้ากับชุดขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น พร้อมทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

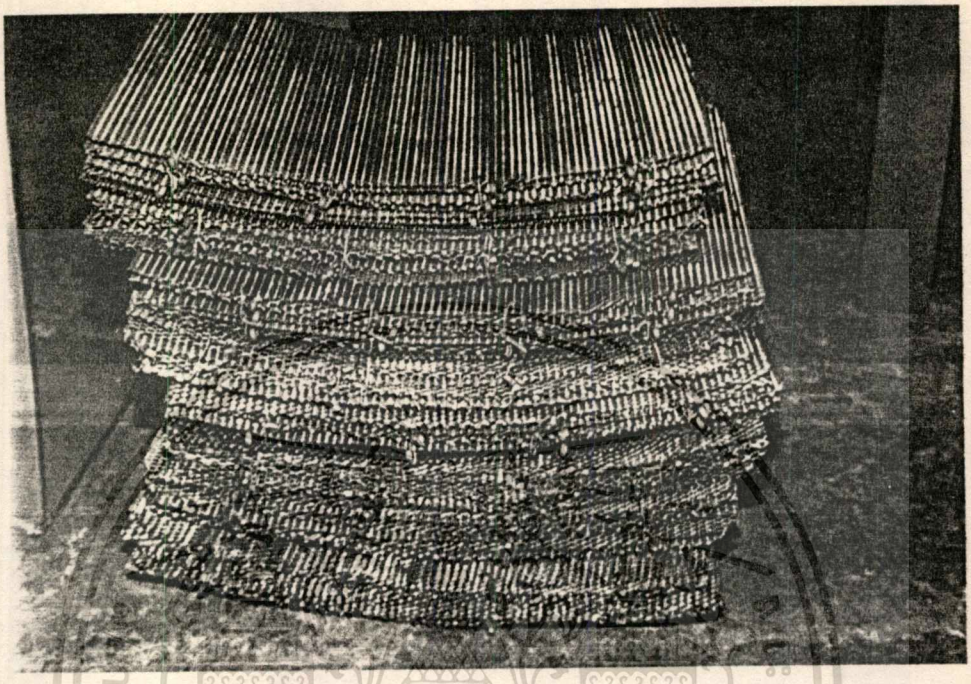
4.1.6 การเลือก และออกแบบเมทริกซ์

ในเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียกชนิดถังคารูเซลนั้น เมทริกซ์เป็นส่วนที่สำคัญมาก คือ เป็นส่วนที่ทำให้เกิด เกรเดียนท์ของสนามแม่เหล็ก โดยมีแรงดึงสารแม่เหล็กให้เข้ามาติดที่โลหะเมทริกซ์ ซึ่งเกิดจากสนามเกรเดียนท์และเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพในการแยก นั่นก็คือ ช่วยเพิ่มอำนาจในการดักจับสารแม่เหล็ก ที่มีความเป็นแม่เหล็กต่ำ เมทริกซ์ที่ใช้เป็น ***เหล็กอ่อน*** *(Soft iron)* เป็นตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน มีขนาดรู 3 x 3 มม.^{2} ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตาข่ายเท่ากับ 3 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และได้ทำการชุบนิเกิลเพื่อป้องกันสนิม และเพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็ก นำลวดตาข่ายมาตัดเป็นแผ่น วางขนานกัน 8 ชุดๆ ละ 7 แผ่น แสดงดังรูปที่ 4.20 หนึ่งชุดมีความหนา 32 มม. สูง 260 มม. ซึ่งแต่ละชุดจะบรรจุใน ถังหมุน แสดงดังรูปที่ 4.21

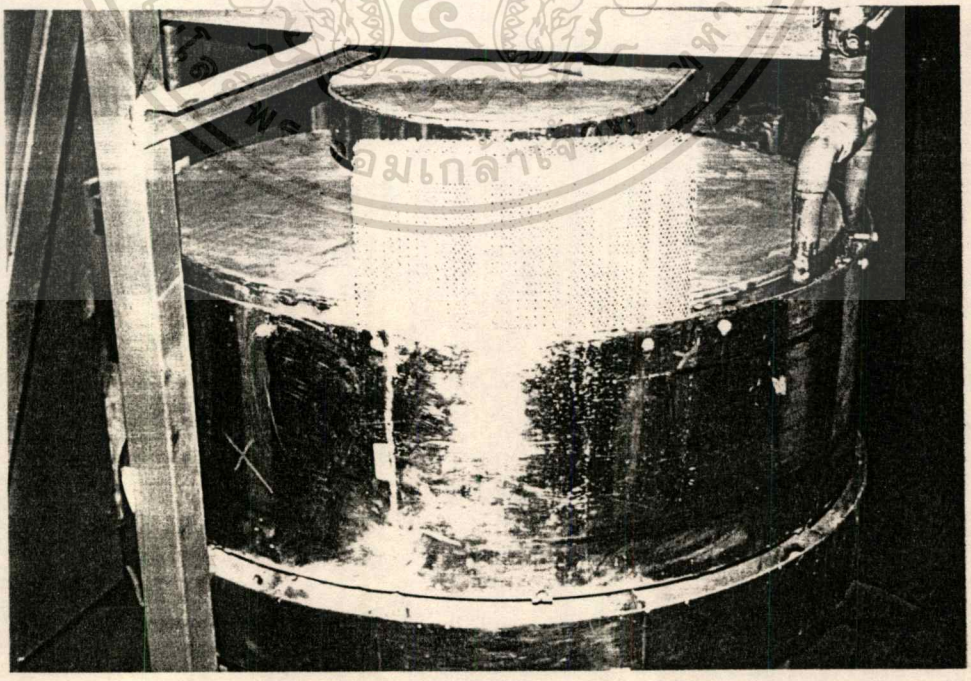


รูปที่ 4.19 ลวดตาข่ายที่ใช้ทำเมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ชุดเมทริกซ์ที่ได้ประกอบขึ้นหลังทำการชุบนิเกิลแล้ว

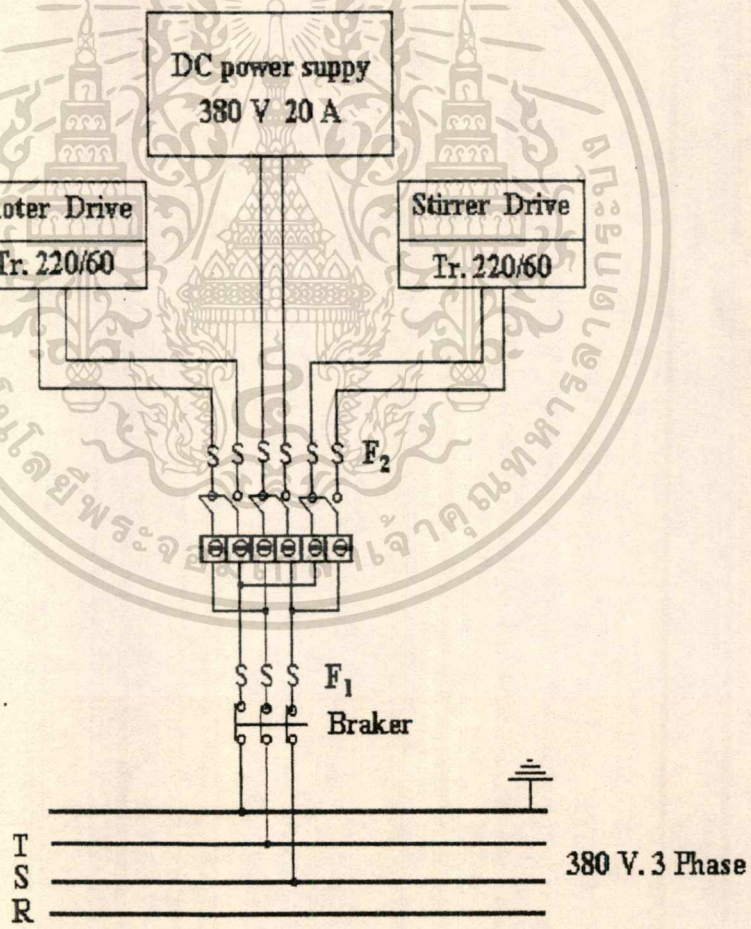


รูปที่ 4.21 บรรจุเมทริกซ์ลงในช่องของถังหมุนทั้ง 8 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

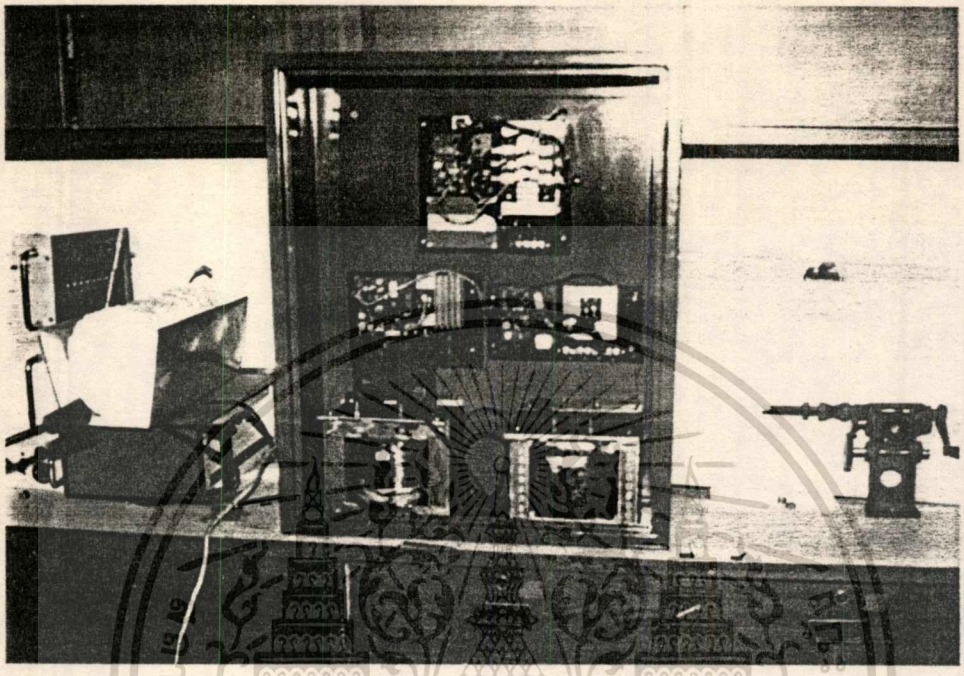
4.1.7 การประกอบชุดควบคุมทั้งหมด

การประกอบชุดควบคุม ซึ่งประกอบด้วย ชุดจ่ายกระแสตรงปรับค่าได้สำหรับจ่ายกระแสให้กับขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนถังหมุน และชุดปรับความเร็วมอเตอร์ของถังกวนแร่ รวมไปถึงระบบแสดงผลสัญญาณไฟต่างๆ เข้าไปในตู้ควบคุม แผนผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.22 และแสดงรูปจริงภายในตู้ควบคุมตลอดจนการเดินสายต่างๆ ดังรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ส่วนรูปที่ 4.25 แสดงส่วนด้านหน้าของตู้ควบคุมซึ่งมีมิเตอร์แสดงค่าของกระแส และค่าแรงดันไฟฟ้า

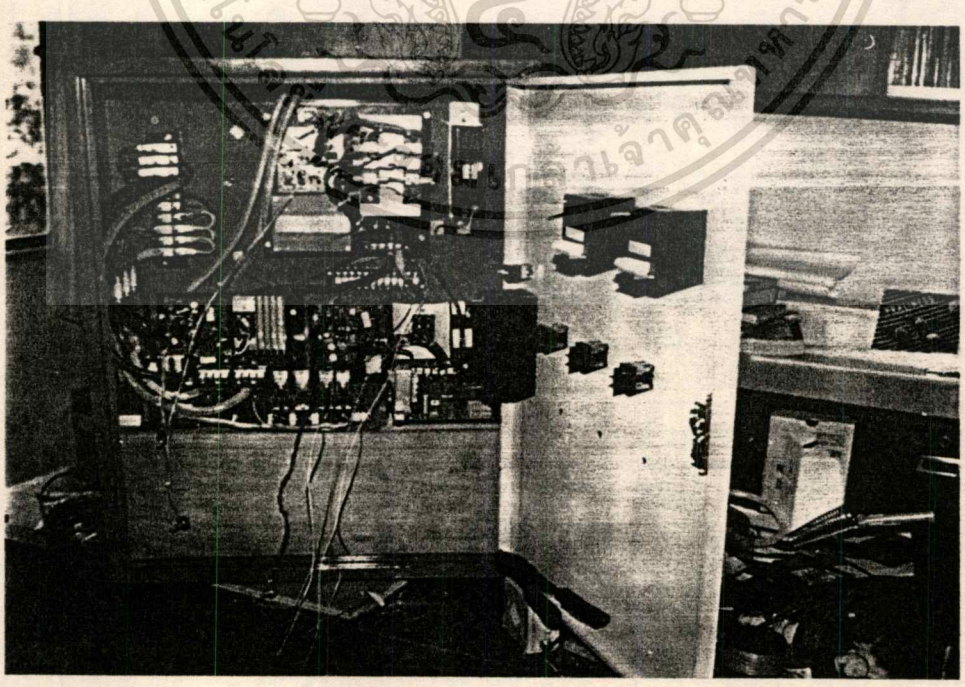


รูปที่ 4.22 แผนผังการเดินสายภายในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

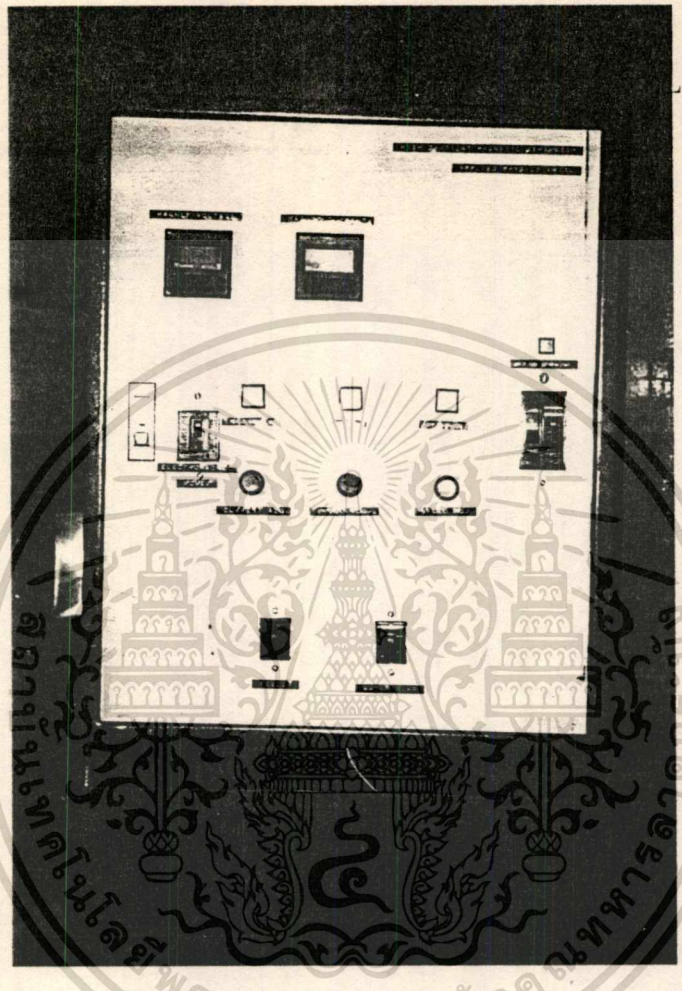


รูปที่ 4.23 แสดงการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ของตู้ควบคุม



รูปที่ 4.24 แสดงการเดินสายต่างๆ ภายในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



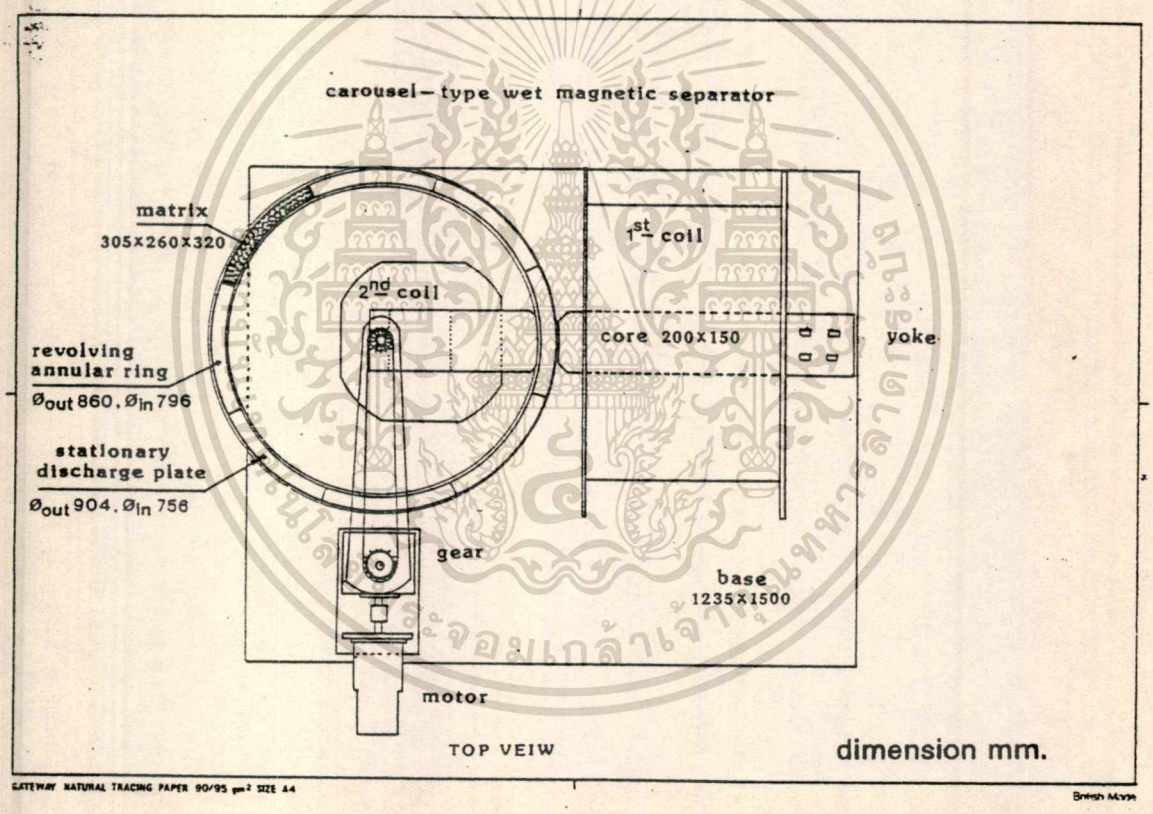
รูปที่ 4.25 ตู้ควบคุมมีมิเตอร์แสดงค่ากระแส และค่าแรงดันไฟฟ้า

4.1.8 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องแยกแร่

เมื่อทำการออกแบบ สร้าง และประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นชุดเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แสดงได้ดังรูปที่ 4.26 ,4.27 และ 4.28 ซึ่งแสดงรูปด้านบน ,ด้านหน้า และด้านข้าง ของเครื่องแยกแร่ที่ได้สร้างขึ้น ตามลำดับ

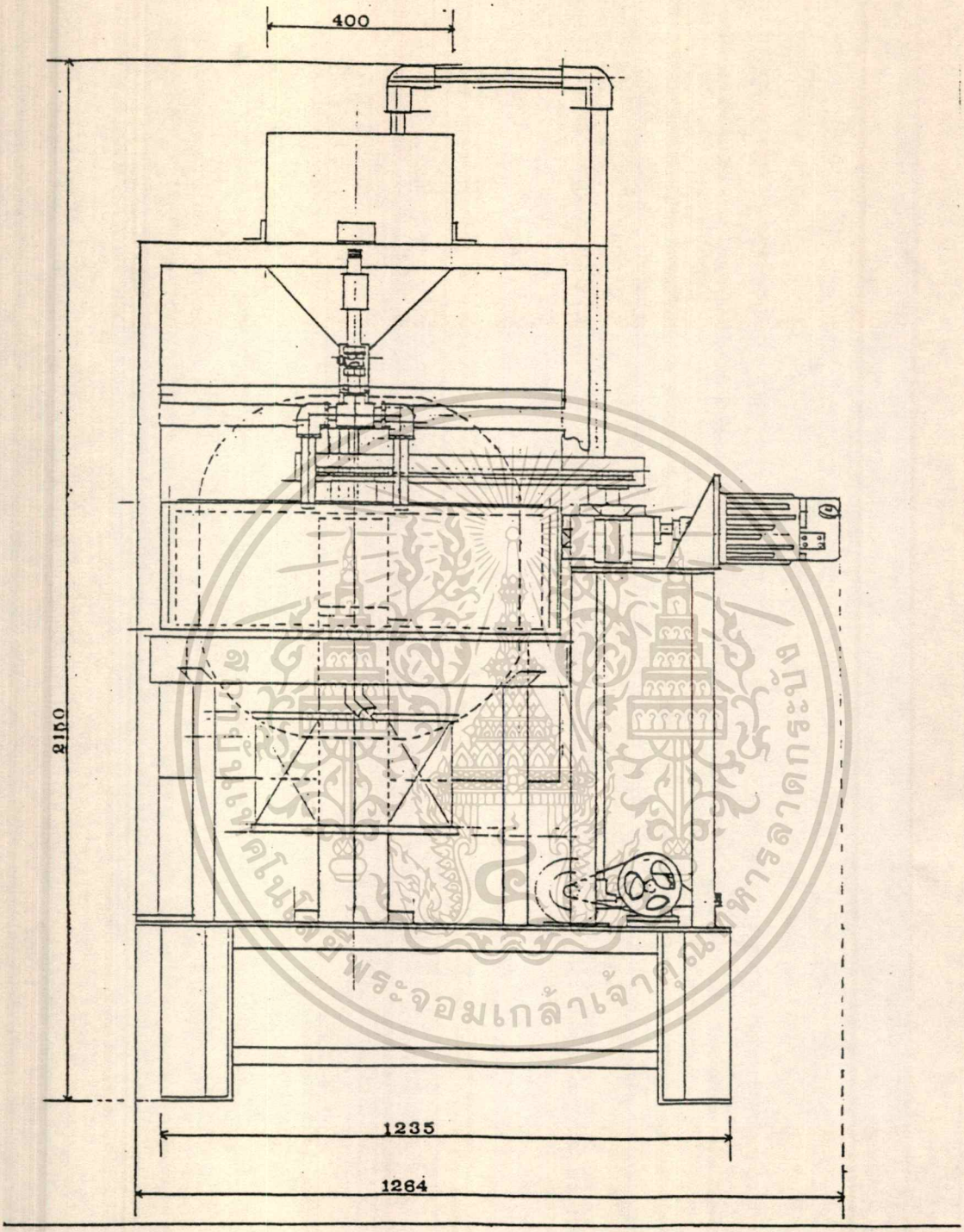
ส่วนเครื่องที่ประกอบขึ้นเสร็จพร้อมที่จะใช้งานได้ แสดงดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แบบแปลนด้านบนของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

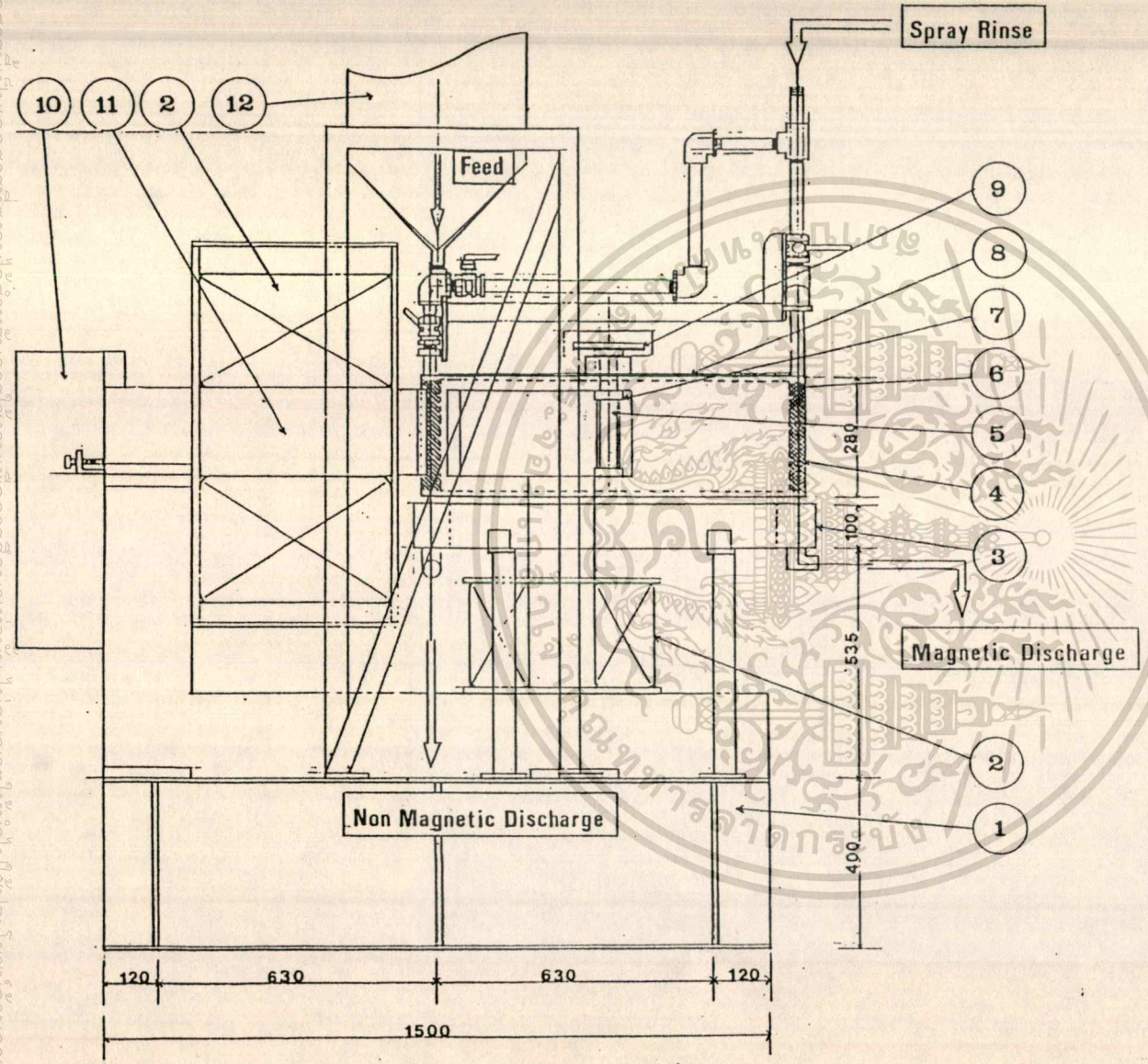


TITLE	HIW MAGNET SEPARATOR
	FRONT VIEW
SCALE	1/10

dimension mm.

รูปที่ 4.27 แบบแปลนด้านหน้าของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง

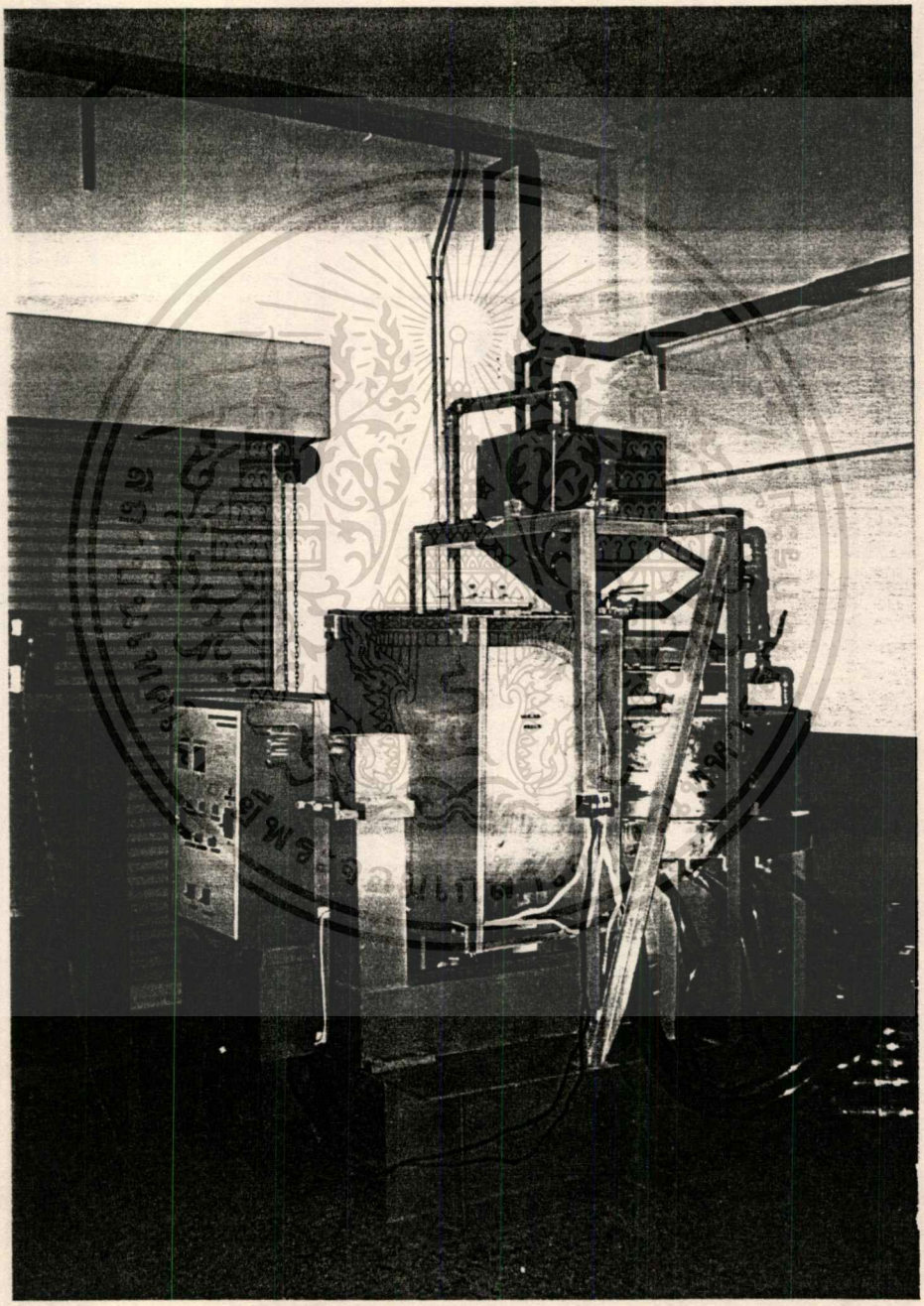
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



dimension mm.

QTY	ITEM NO.	DESCRIPTION OF PART
1	12	HOPPER
1	11	MAGNET CIRCUIT
1	10	CONTROL PANEL
1	9	DRIVEN SPROCKET
1	8	DISC PLATE
2	7	BEARING
56	6	MATRIX
1	5	SHAFT
1	4	ROTATING TRAY
1	3	DISCHARGE TRAY
2	2	COIL
1	1	FRAME
TITLE		HIW MAGNET SEPARATOR LEFT SIDE VIEW
SCALE		1/10

รูปที่ 4.28 แบบแปลนด้านข้างของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง



รูปที่ 4.29 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

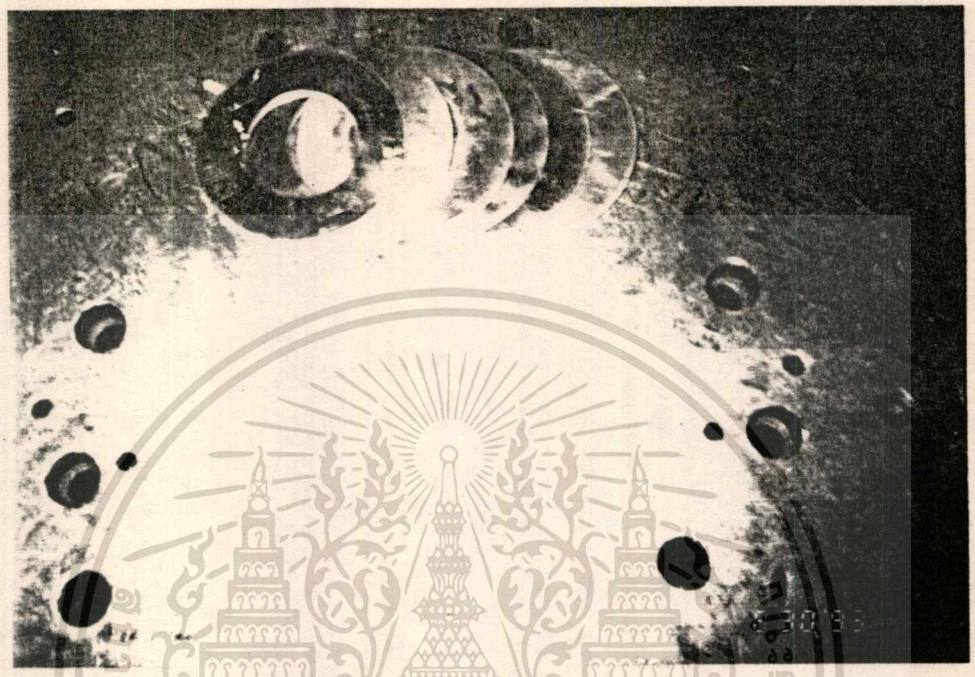
ขั้นตอนการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ มีทั้งหมด 5 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การออกแบบ สร้างลูกกลิ้ง และฐานรองรับเครื่องแยกแร่
2. การสร้าง YOKE, CORE และขั้วแม่เหล็ก
3. การพันขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก
4. การออกแบบและสร้างชุดควบคุม
5. ลักษณะโครงสร้างของเครื่องแยกแร่

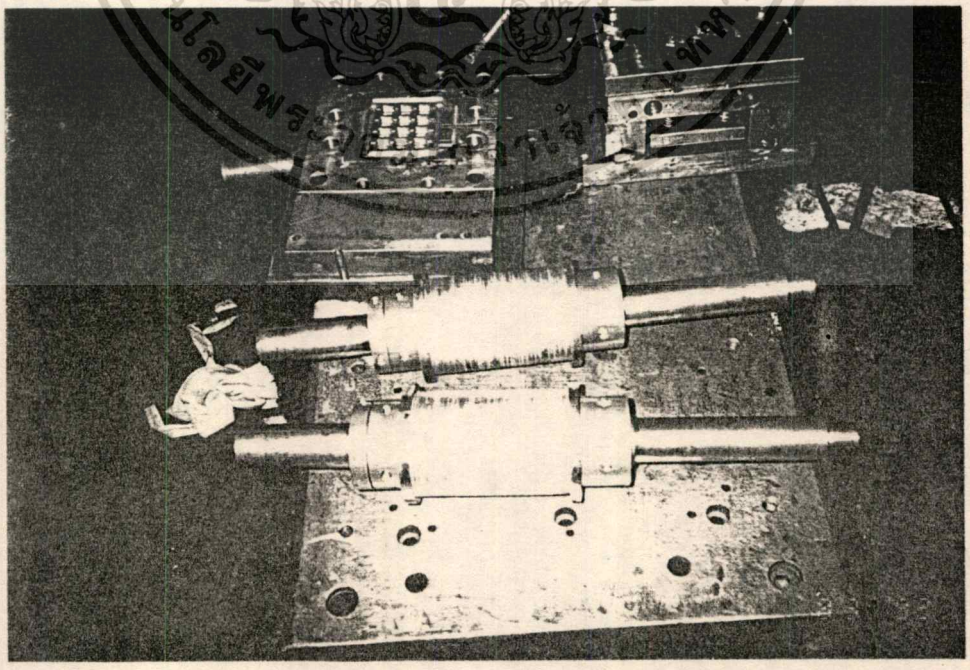
4.2.1 การออกแบบ สร้างลูกกลิ้ง และฐาน

ในเครื่องแยกแร่แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำนี้ ตัวลูกกลิ้ง(Roller) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นส่วนที่ทำให้เกิด เกรเดียนท์ของสนามแม่เหล็ก นั่นก็คือเป็นตัวที่ดักจับสารแม่เหล็กของวัสดุหรือแร่ที่ป้อนเข้ามา มีทั้งหมดด้วยกัน 2 ลูก ซึ่งในการทำลูกกลิ้ง จะใช้โลหะ 2 ชนิดวางสลับกัน ได้แก่ ***เหล็กอ่อนและทองเหลือง*** มีลักษณะเป็นวงแหวนแสดงดังรูปที่ 4.30 ซึ่งมีจำนวนวงแหวนทองเหลือง 52 วง วางสลับกับวงแหวนเหล็กอ่อน 53 วง และนำมาสวมเข้ากับแกนซึ่งเป็นเหล็กอ่อนเหมือนกัน เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.31 ขนาดของลูกกลิ้ง จะแสดงดังรูปที่ 4.32 ซึ่งเหล็กอ่อนจะมีเปอร์เซ็นต์ผสมของคาร์บอนต่ำ มีคุณสมบัติเป็นสารเฟอร์โร มีอำนาจในการรวมเส้นแรงแม่เหล็กได้ดี ในส่วนของทองเหลือง ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กไดอา มีคุณสมบัติในการผลักเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ให้กับวงแหวนเหล็กอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

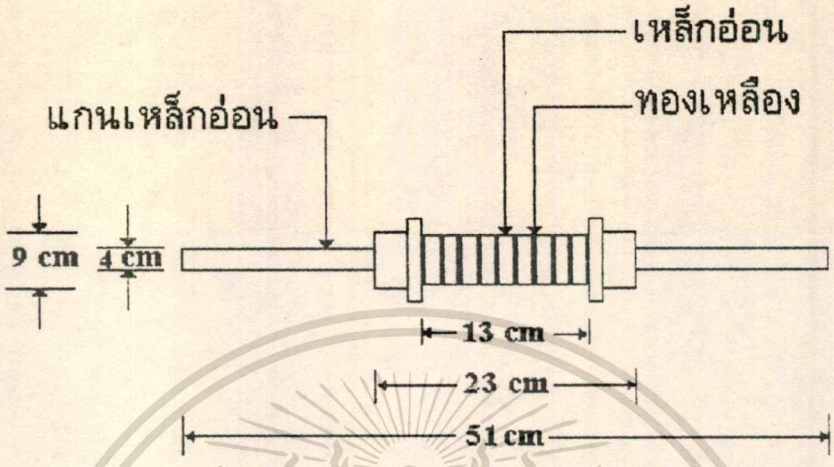


รูปที่ 4.30 แสดงแผ่นวงแหวน เหล็กอ่อนและทองเหลืองที่ใช้ประกอบเป็น ลูกกลิ้ง



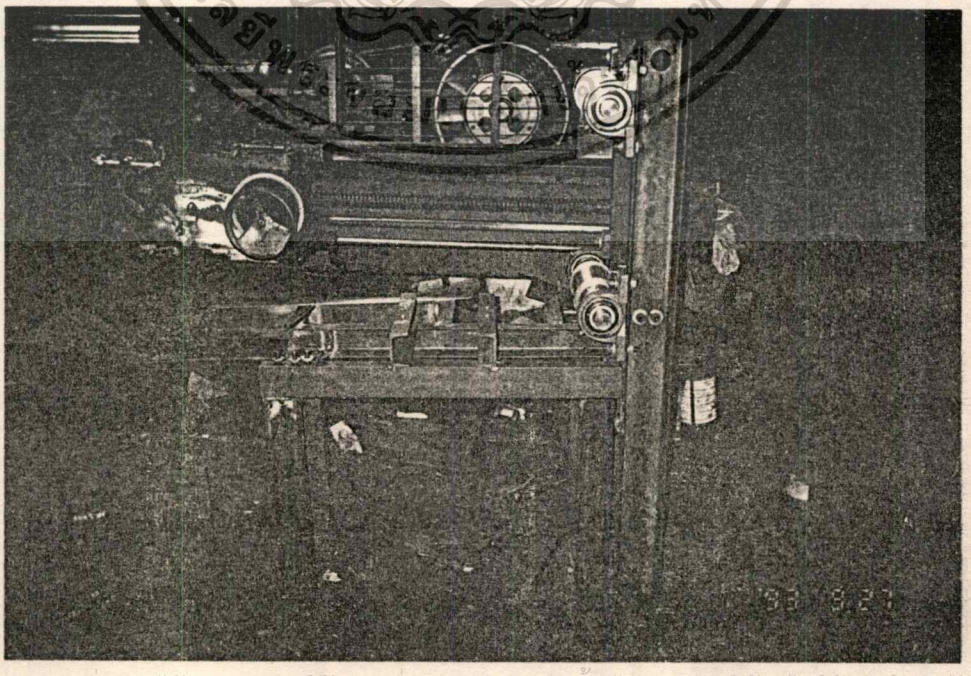
รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะ ลูกกลิ้ง ทั้งสองลูก เมื่อเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ภาพแสดงขนาดของ ลูกกลิ้ง

ในส่วนของฐานติดตั้ง นั้น เนื่องจากเครื่องแยกแร่ชนิดนี้มีขนาดเล็ก จึงได้นำเหล็กรางมาทำเป็นฐานรองรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่องแยกแร่ แสดงดังรูปที่ 4.33

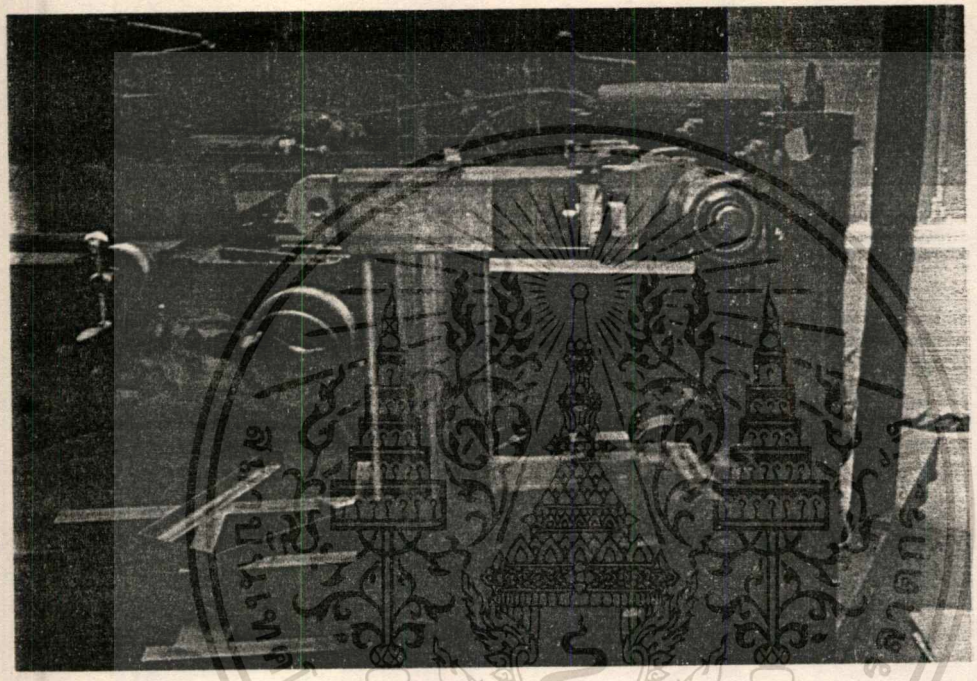


รูปที่ 4.33 แสดงฐานของเครื่องแยกแร่ ซึ่งได้ติดตั้งตัวลูกกลิ้ง ทั้งสอง แล้ว

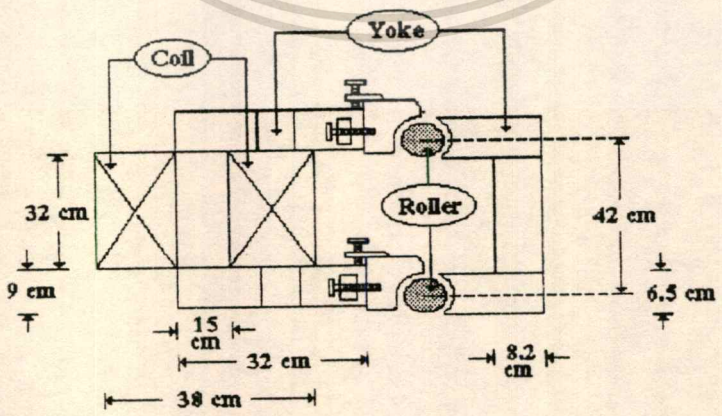
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การสร้าง YOKE ,CORE และขั้วแม่เหล็ก

ในการสร้าง YOKE และ CORE ได้ใช้เหล็กอ่อนขนาด 15 ซม. x 15 ซม. มาทำเป็น YOKE และ CORE ส่วนบริเวณปลายขั้วแม่เหล็กสามารถเลื่อนปรับตำแหน่งได้ 1 - 10 มม. แสดงดังรูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35



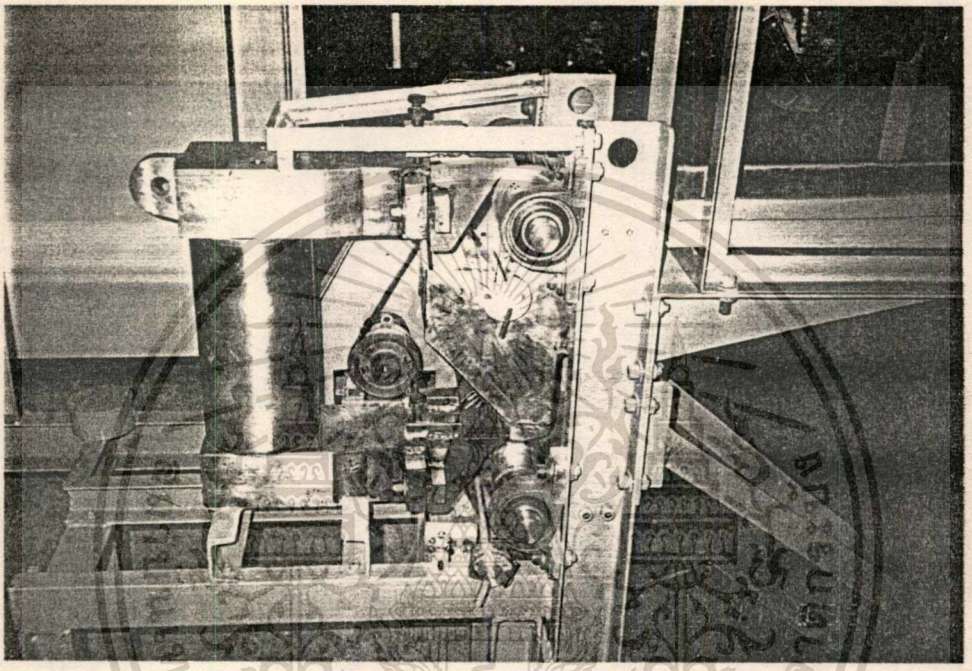
รูปที่ 4.34 แสดงการประกอบ YOKE บนตัวเครื่อง



รูปที่ 4.35 ภาพแสดงขนาดของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของตัวขับเคลื่อนลูกกลิ้ง ได้ใช้ มอเตอร์ 3 เฟส และใช้สายพานมาเป็นตัวช่วยขับเคลื่อน แสดงดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แสดงการประกอบส่วนขับเคลื่อน ROLLER

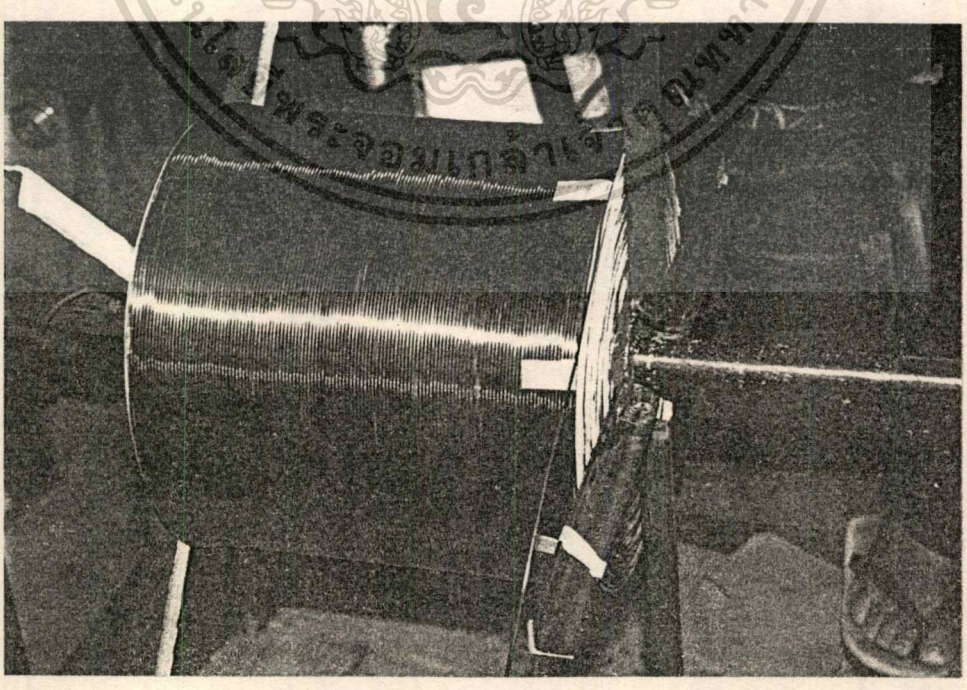
4.2.3 การพันขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก

ในการพันขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก ให้ได้ความต้านทานรวมประมาณ 20 โอห์ม ต้องใช้ขดลวดทองแดงกลมเบอร์ 12 พันโครงเหล็ก ประมาณ 5842 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 เมื่อพันขดลวดเสร็จ 5842 รอบ (ดูรูปที่ 4.38) หุ้มขดลวดที่ได้ด้วยเทปทนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.39 และขดลวดเมื่อจัดวางบนตัวเครื่องแยกแร่ แสดงดังรูปที่ 4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

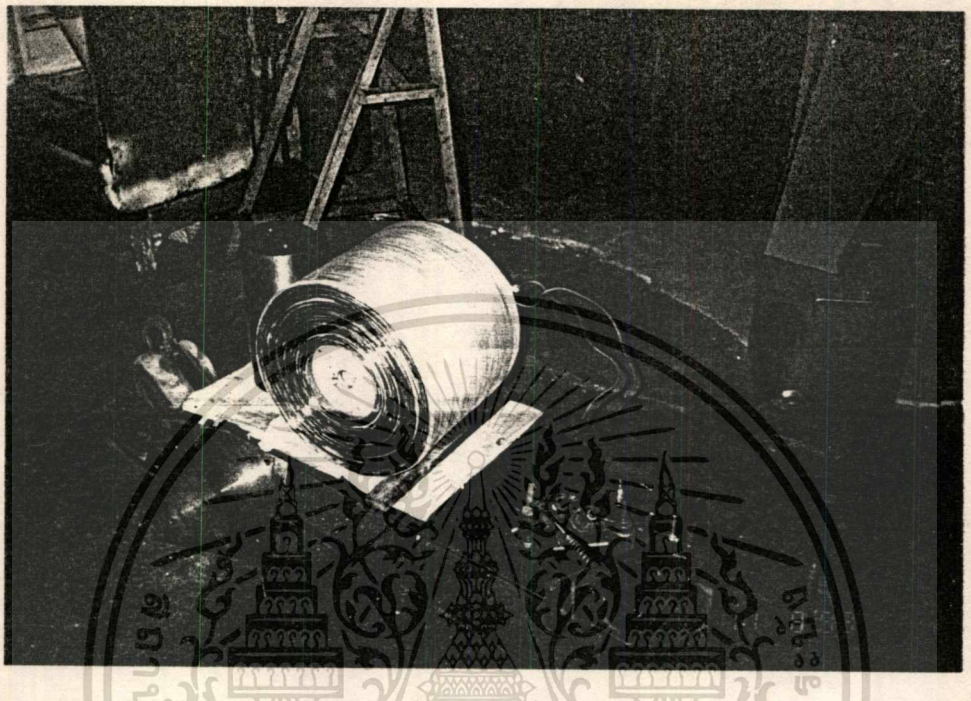


รูปที่ 4.37 แสดงการพันขดลวด

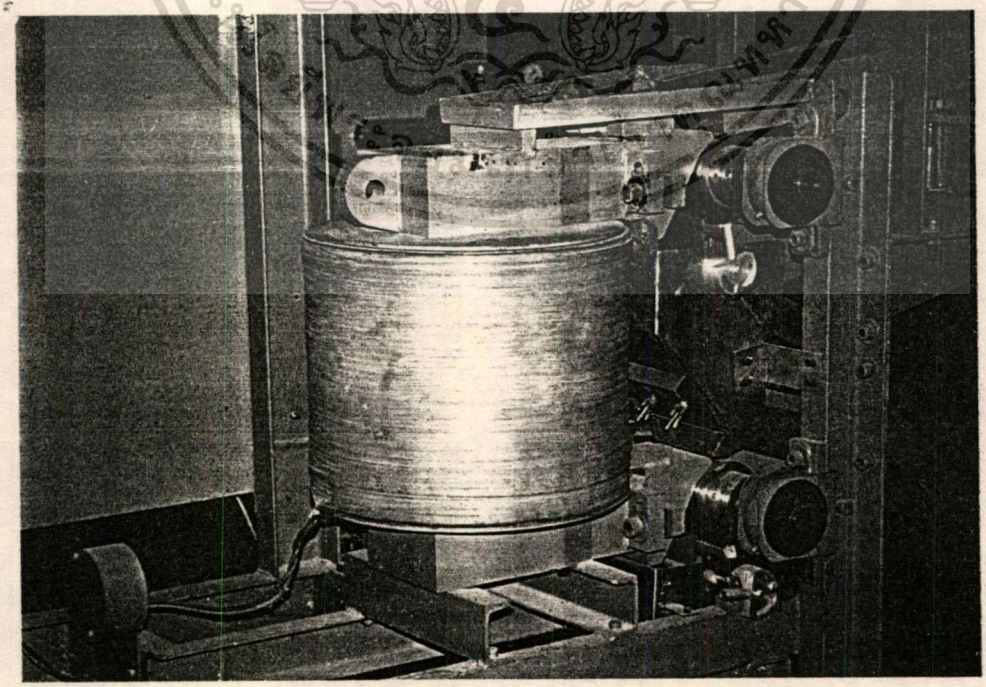


รูปที่ 4.38 ขดลวดที่พันเสร็จแล้ว แต่ยังไม่ได้หุ้มฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



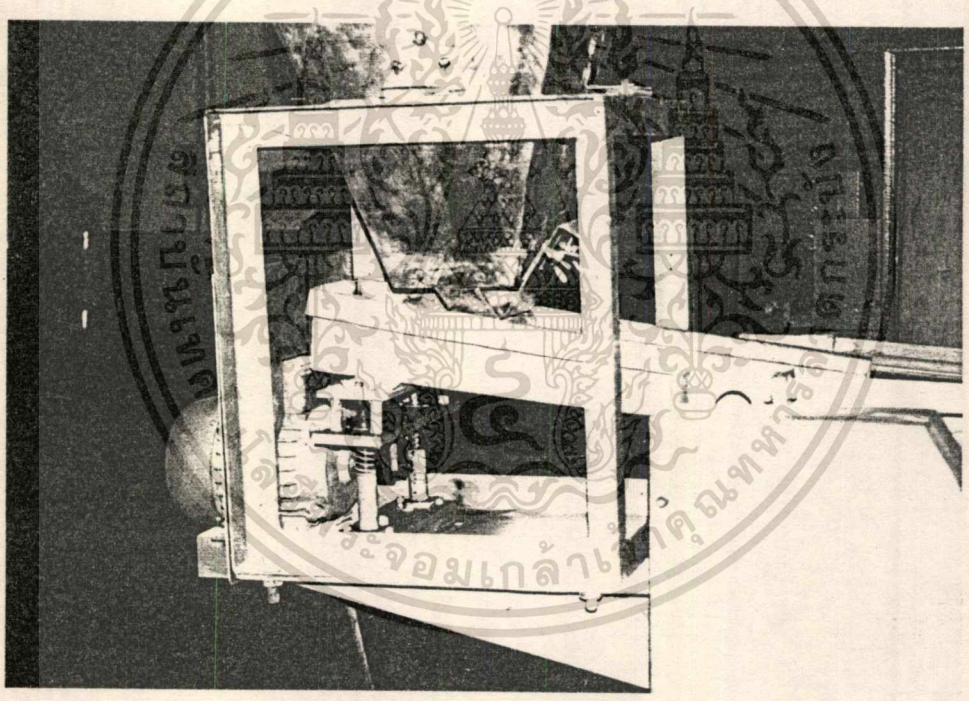
รูปที่ 4.39 ขดลวดที่สามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 4.40 แสดงการจัดวางขดลวดในตัวเครื่องแยกแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำขดลวดจัดวางในเครื่องแยกแร่แล้ว หลังจากนั้นก็มาจัดทำส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือ **ตัวสั่น** (Vibrator) มีหน้าที่สั่นรางป้อนแร่ ซึ่งมีลักษณะเป็นถาดด้านปลายของถาดจัดวางตำแหน่งอยู่เหนือลูกกลิ้งเล็กน้อย มีหน้าที่ป้อนแร่ให้ผ่านตัวลูกกลิ้ง ซึ่งในขณะที่ทำการแยกแร่ ถาดป้อนแร่นี้จะสั่นอยู่ตลอดเวลา เพราะต้องการให้เม็ดแร่จัดเรียงตัวสม่ำเสมอในขณะที่ผ่านตัวลูกกลิ้ง ได้ใช้มอเตอร์ 3 เฟส มาทำตัวสั่น โดยใช้หลักการให้มอเตอร์หมุนลูกเบี้ยว จึงทำให้เกิดการสั่นขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 แสดงตำแหน่งของรางป้อนแร่ ซึ่งมีมอเตอร์เป็นตัวทำให้สั่น

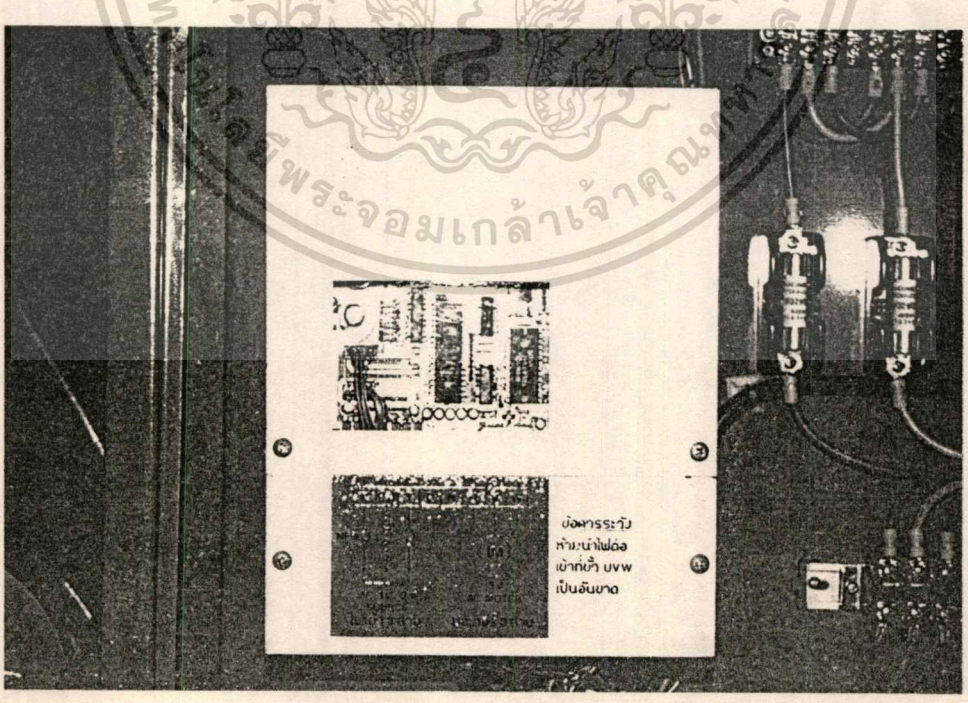
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การออกแบบ และสร้างชุดควบคุม

หลังจากที่จัดสร้างส่วนของโครงสร้างของเครื่องแยกแร่สำเร็จแล้ว จากนั้นจึงมาออกแบบและสร้างระบบควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยจะมีส่วนหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ

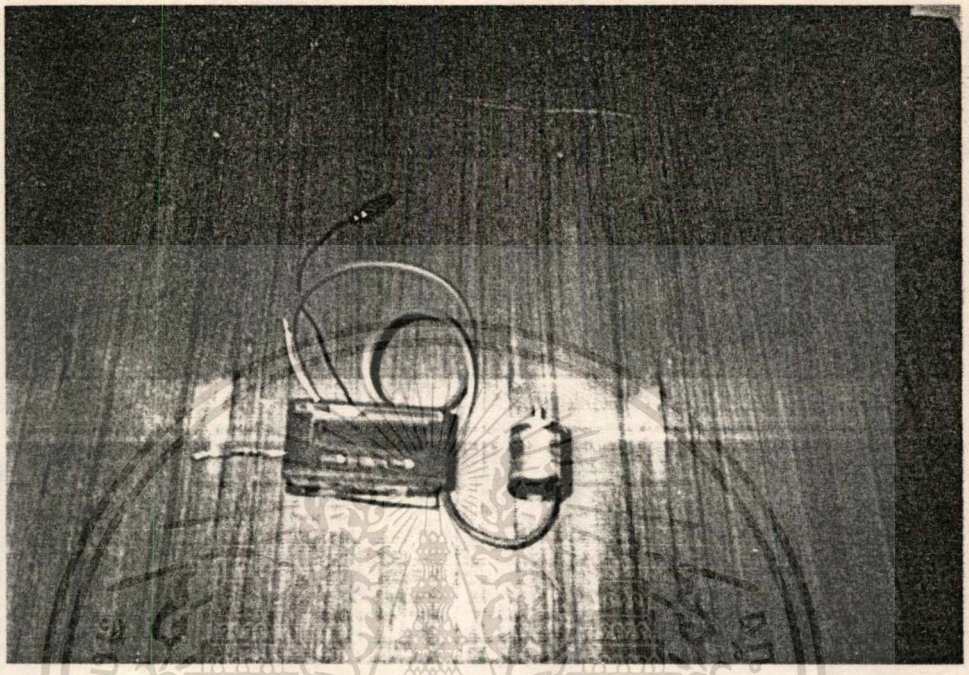
4.2.4.1 ส่วนชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ สำหรับขับเคลื่อนตัวลูกกลิ้ง

มอเตอร์ที่นำมาใช้งานเป็นมอเตอร์ 3 เฟส จึงต้องนำไฟสามเฟสมาใช้ในการทำงาน ส่วนตัวควบคุมความเร็วรอบของลูกกลิ้ง จะใช้ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) มาควบคุม แสดงดังรูปที่ 4.42 (ซึ่งมีคู่มือการใช้งานอยู่ในภาคผนวก ช.) และได้ติดตั้งตัว Sensor เพื่อใช้ตรวจวัดจำนวนรอบของตัวลูกกลิ้ง ในการทำงานจะแสดงผลด้วย LCD แสดงดังรูปที่ 4.43 ซึ่งติดตั้งตัว Sensor ตรงตำแหน่งแกนกลางของลูกกลิ้งตัวล่าง แสดงดังรูปที่ 4.44 (คู่มือการใช้ตัวตรวจวัดความเร็วรอบ ดู ในภาคผนวก ฌ.)

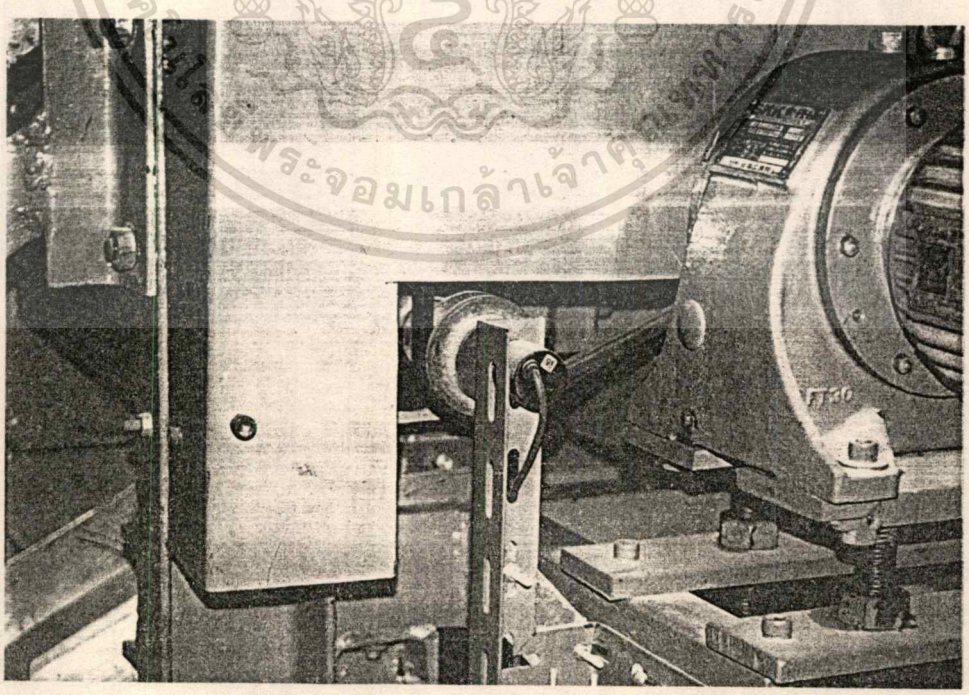


รูปที่ 4.42 แสดงชุด Inverter ที่ใช้ปรับความเร็วรอบของลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 แสดงตัวตรวจจับ เพื่อบอกจำนวนรอบของลูกกลิ้ง

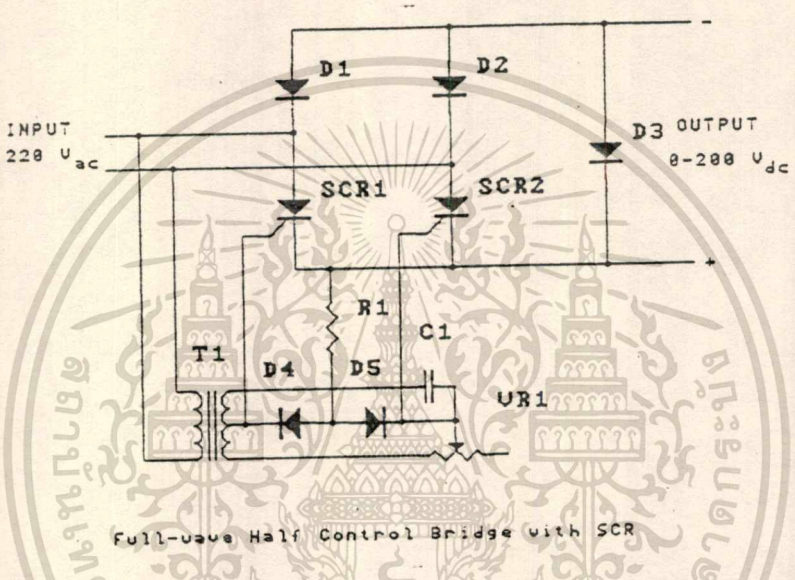


รูปที่ 4.44 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจจับ เพื่อนับจำนวนรอบที่ลูกกลิ้งหมุน

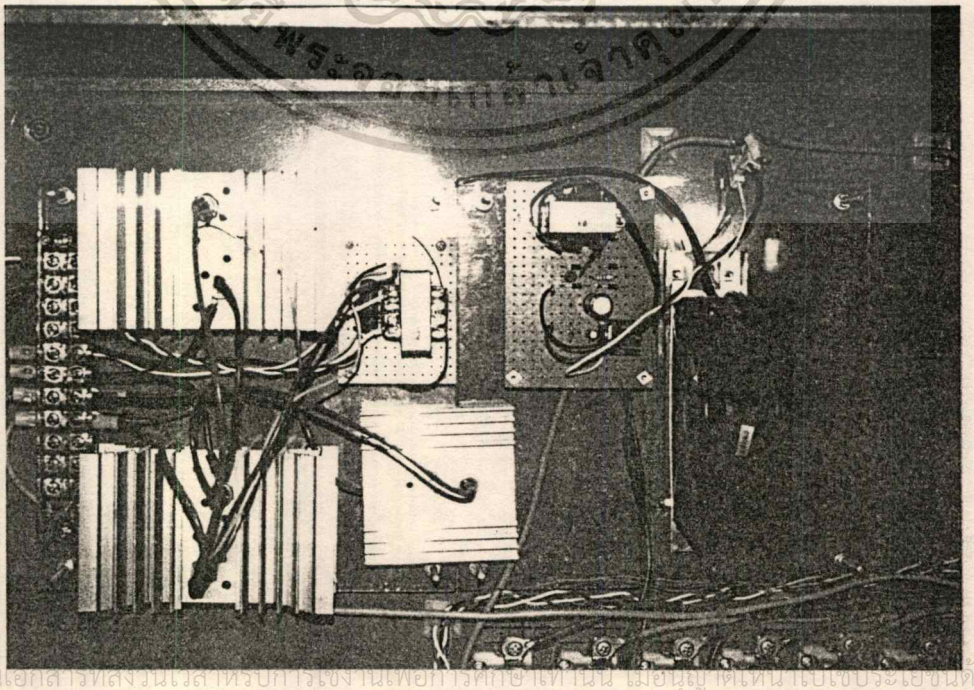
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.2 ส่วนควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็ก

ในการสร้างชุดจ่ายกระแสตรง เพื่อกำเนิดสนามแม่เหล็กสำหรับเครื่องแยกแร่แบบแห้งนี้ ต้องการใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และใช้กระแสสูงสุด 10 แอมป์ ได้ทำการสร้างชุดจ่ายกระแสตรง แบบปรับค่าได้ แสดงดังรูปวงจร ดังรูปที่ 4.45 และเมื่อทำการสร้างชุดควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็กเสร็จ แสดงได้ดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.45 วงจรชุดจ่ายกระแสตรง 220 V ,10 A แบบปรับค่าได้

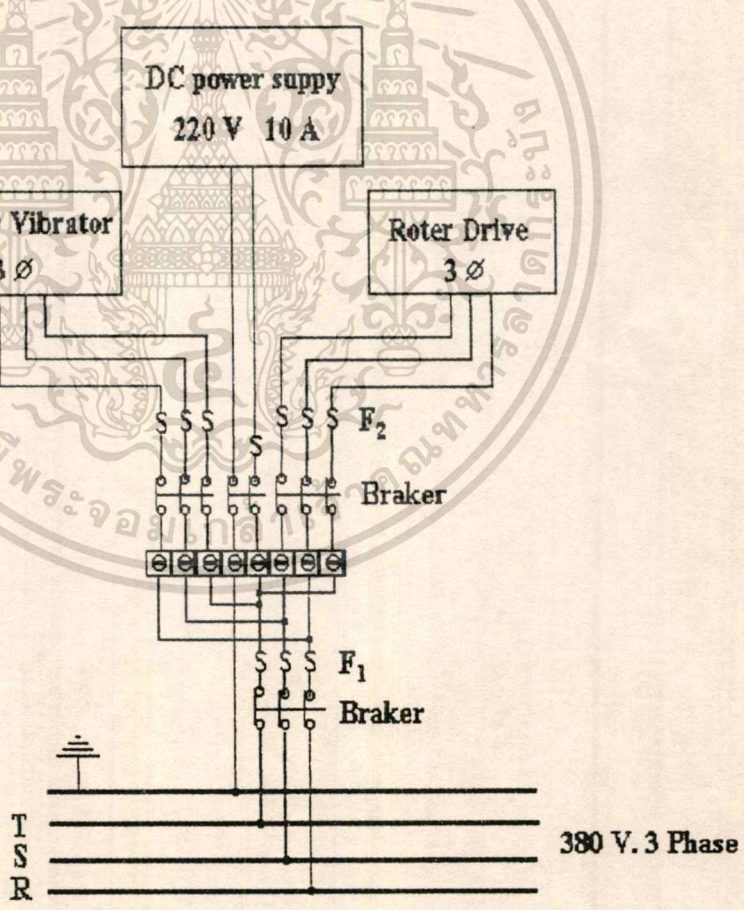


รูปที่ 4.46 แสดงชุดควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

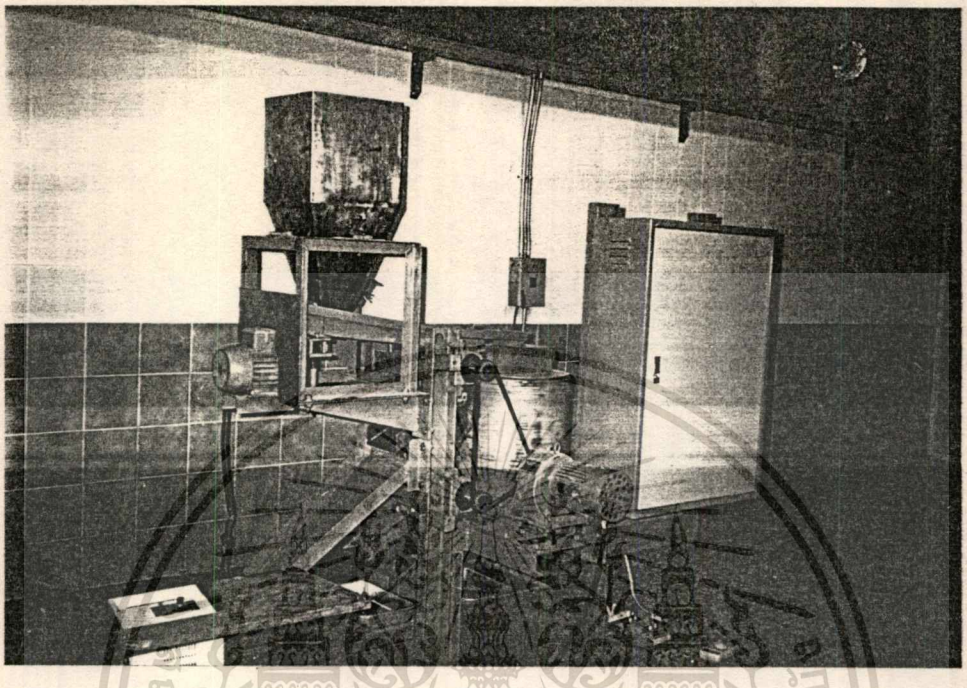
การประกอบชุดควบคุมทั้งหมด

การประกอบชุดควบคุมซึ่งประกอบด้วย ชุดจ่ายกระแสตรงแบบปรับค่าได้สำหรับจ่ายกระแสให้กับขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็ก และชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนลูกกลิ้ง รวมไปถึงระบบแสดงผลสัญญาณไฟต่างๆ เข้าไปในตู้ควบคุม ดังแสดงรายละเอียดแผนผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 4.47 และแสดงตำแหน่งการวางตัวตู้ควบคุมลงบนเครื่องแยกแร่ แสดงดังรูปที่ 4.48 เมื่อนำอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ บรรจุลงในตู้ควบคุม และเดินสายไฟเรียบร้อยแล้ว ซึ่งพร้อมที่จะใช้งานได้ แสดงดังรูปที่ 4.49 ส่วนรูปที่ 4.50 แสดงส่วนด้านหน้าของตู้ควบคุมซึ่งมีมิเตอร์แสดงค่าของกระแส และค่าของแรงดันไฟฟ้า

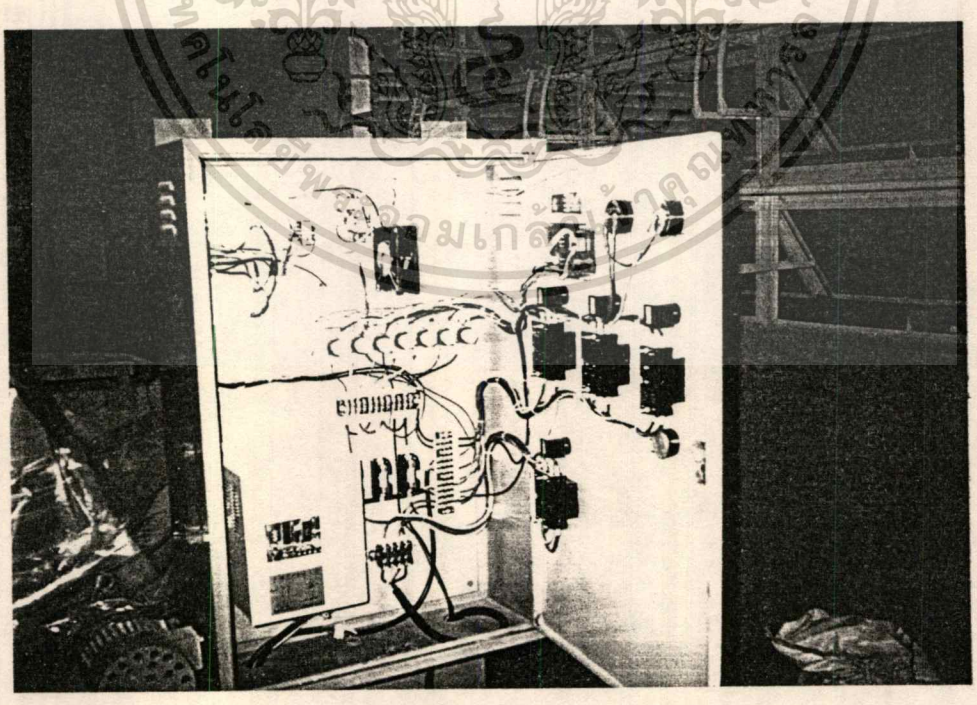


รูปที่ 4.47 แผนผังการเดินสายไฟในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

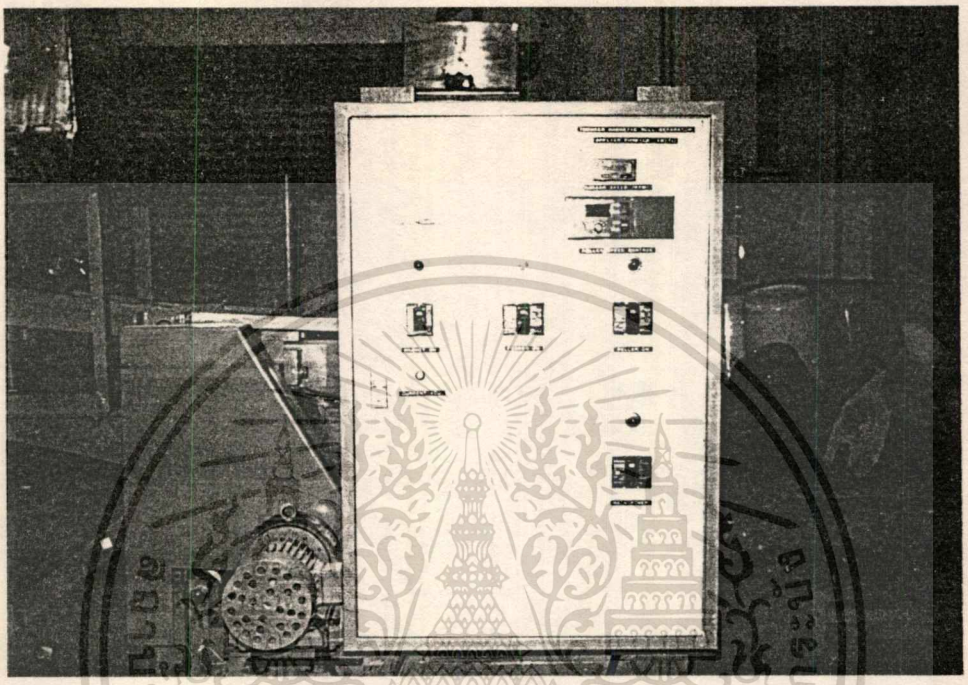


รูปที่ 4.48 แสดงตำแหน่งการวางตู้ควบคุมบนเครื่องแยกแร่



รูปที่ 4.49 แสดงตู้ควบคุมเมื่อติดตั้งวงจรควบคุม และเดินสายไฟเสร็จ พร้อมที่จะใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

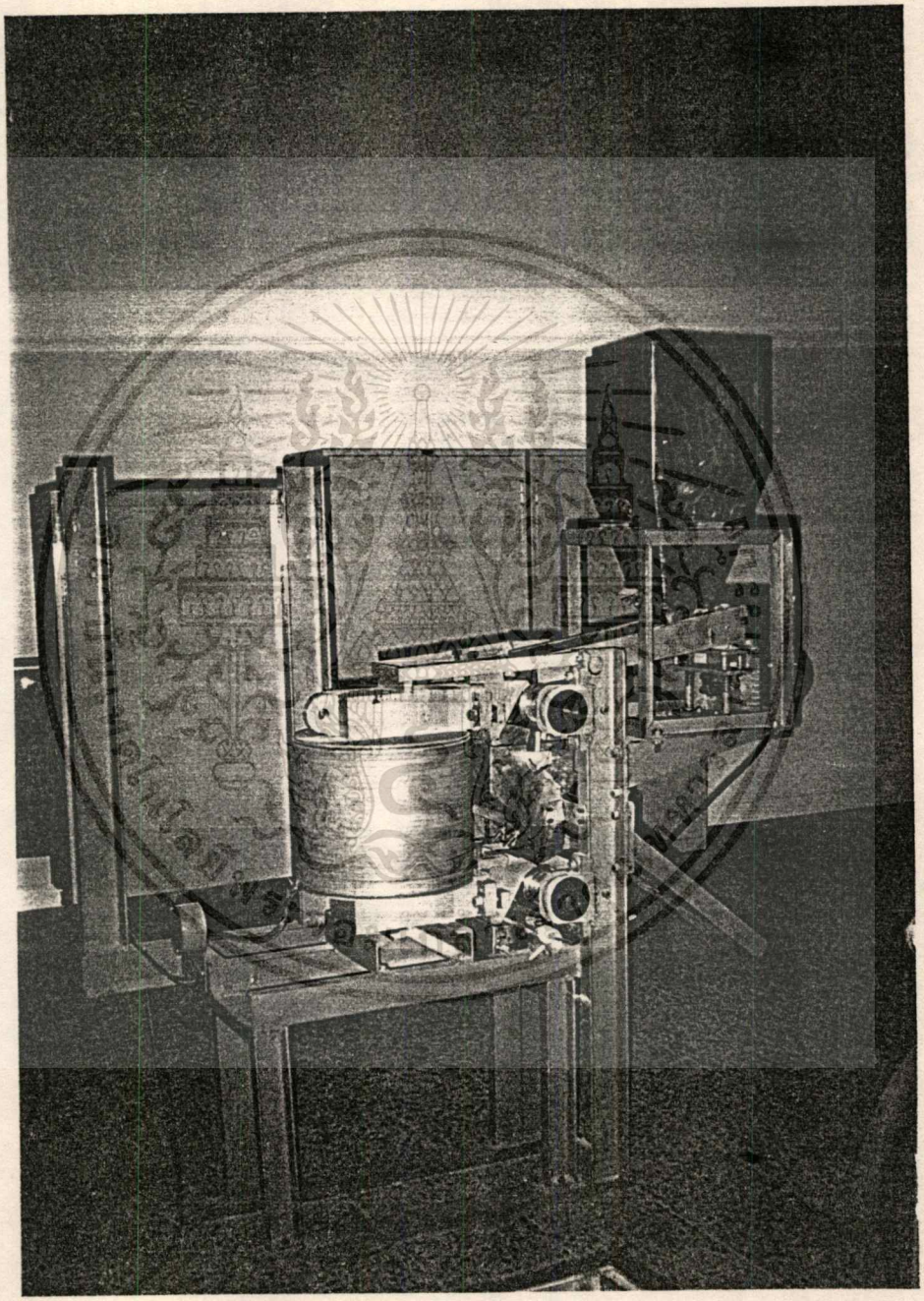


รูปที่ 4.50 แสดงด้านหน้าของตู้ควบคุม ซึ่งมีมิเตอร์แสดงค่าของกระแส และแรงดันไฟฟ้า

4.2.5 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องแยกแร่

เมื่อทำการออกแบบ สร้าง และประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ เมื่อเสร็จพร้อมที่จะใช้งานได้ แสดงดังรูปที่ 4.51 ,4.52 และ 4.53

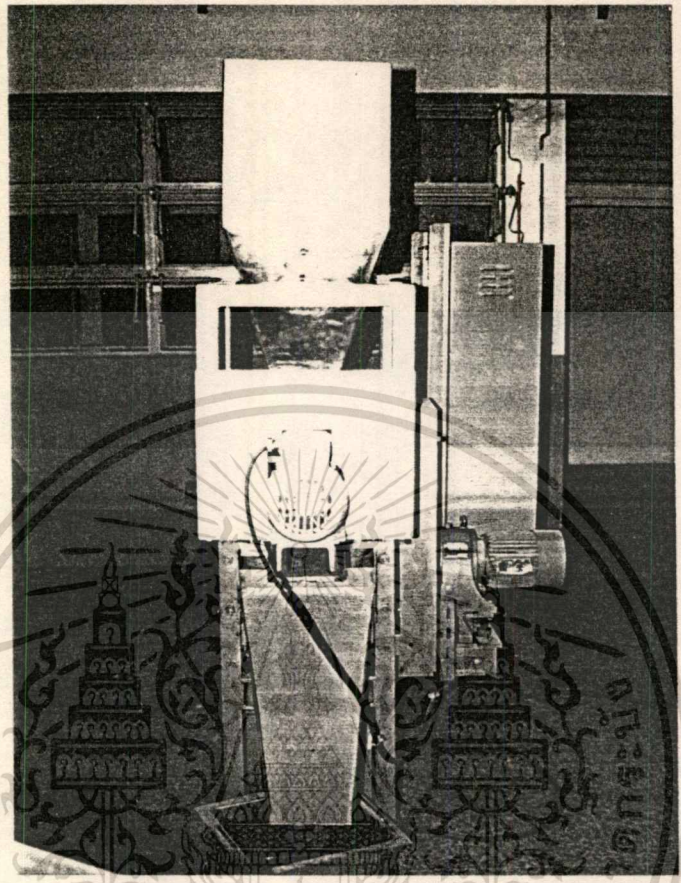
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



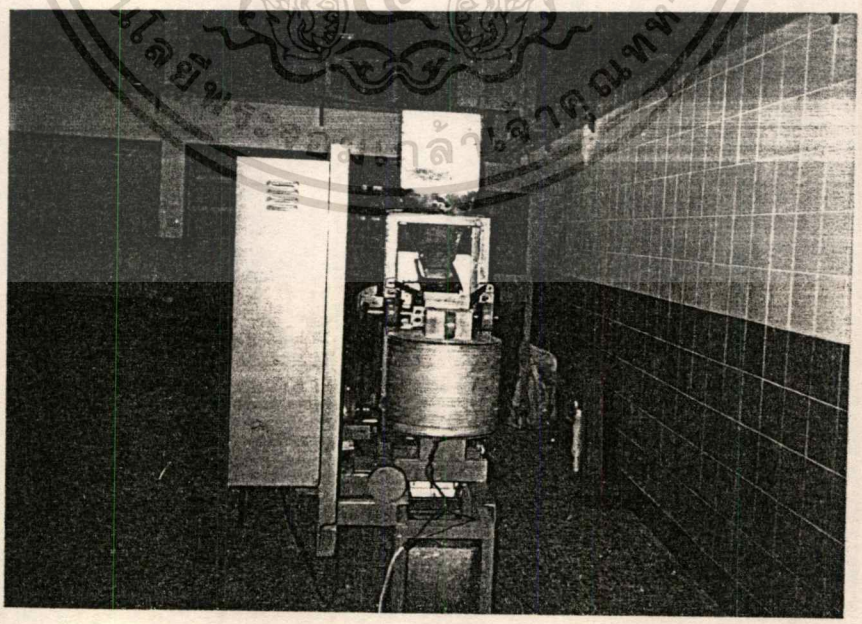
รูปที่ 4.51 เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์ (แสดงด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

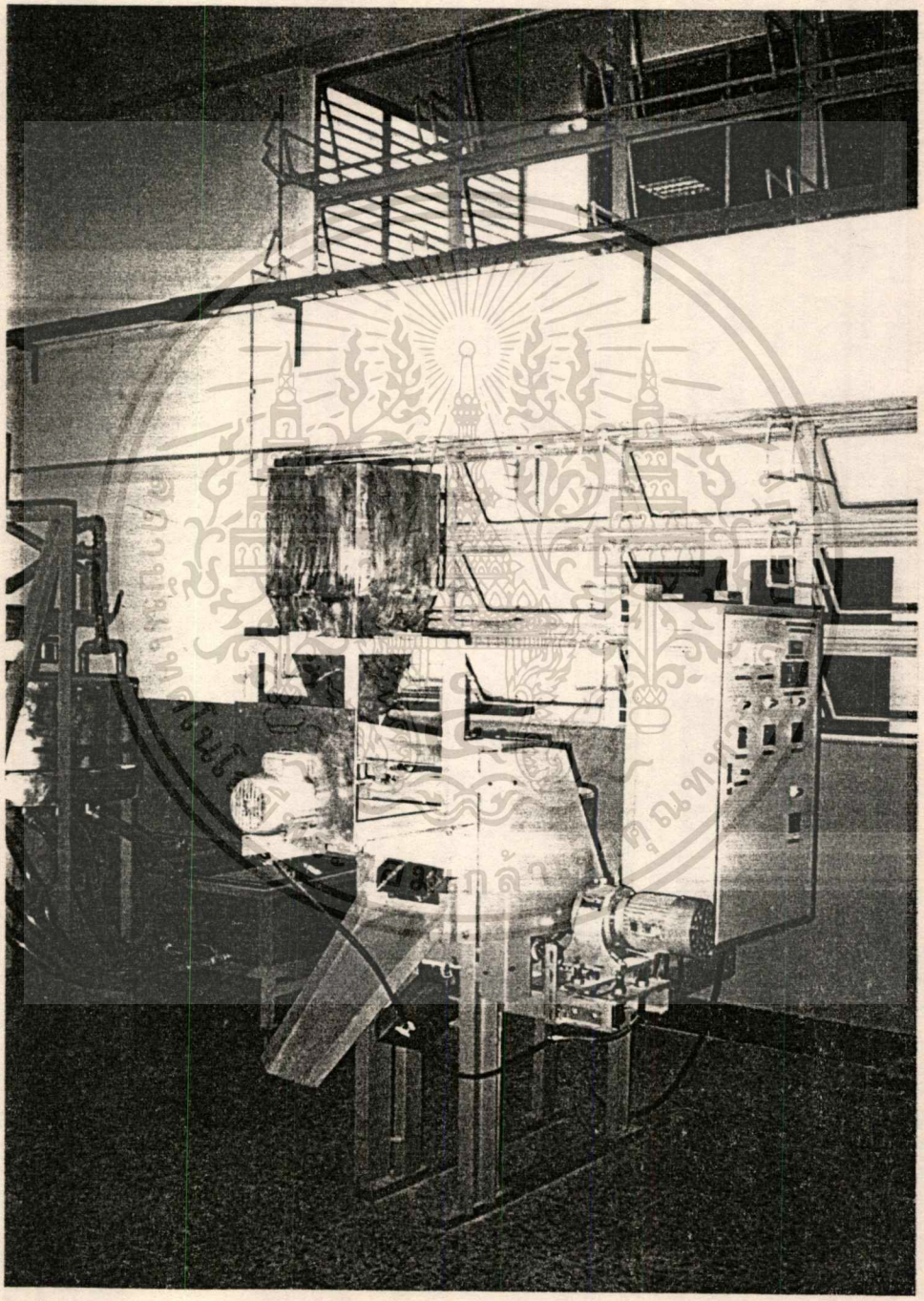


รูปที่ 4.52 แสดงตัวเครื่องแยกแร่ ด้านข้าง

(ก) แสดงด้านซ้าย ของตัวเครื่องแยกแร่

(ข) แสดงด้านขวา ของตัวเครื่องแยกแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 แสดงตัวเครื่องแยกแร่ ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

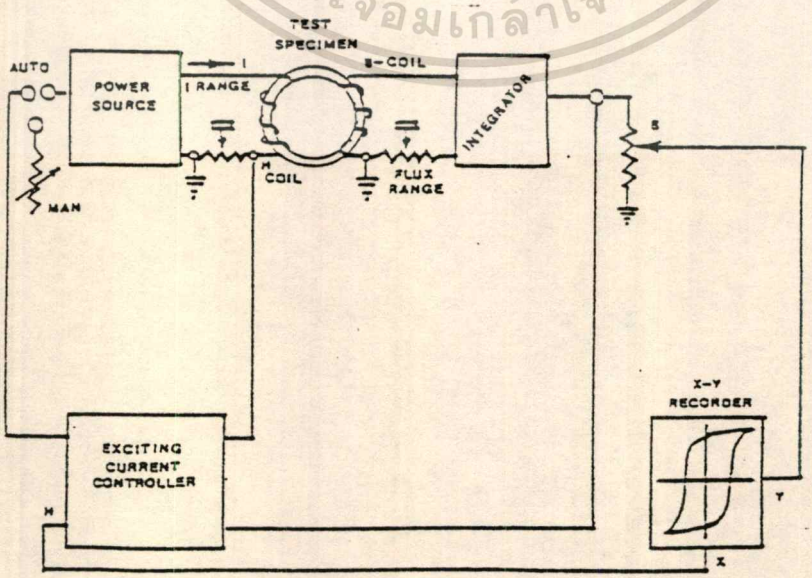
บทที่ 5

การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ในการสร้างเครื่องแยกแร่

5.1 วัดคุณสมบัติทางแม่เหล็กด้วยวิธี ดี.ซี. ฮิสเทอริซิส

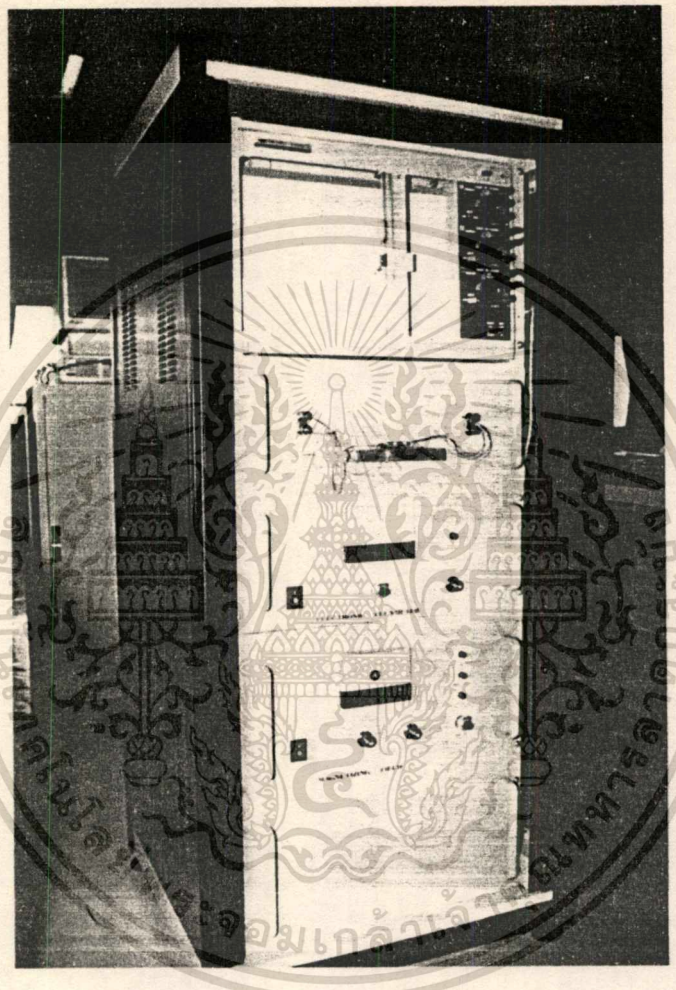
ในการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแยกสูงนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ คุณภาพของเหล็กที่นำมาใช้ในการสร้าง YOKE และ CORE เพราะจะต้องเป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งวัสดุที่มาทำเป็น YOKE ,CORE ,เมทริกซ์(ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก) และ วงแหวนเหล็กอ่อนที่ผังในตัวลูกกลิ้ง(ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง) ควรจะมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่เหมาะสม เช่น ค่าของสนามแม่เหล็กตกค้าง(Remanent induction : $\vec{B}_r$) ต่ำ ,ค่าแรงที่ทำให้สนามแม่เหล็กตกค้างเป็นศูนย์ (Coercive force : $\vec{H}_C$) ต่ำ และค่าความซึมซาบของสาร (Initial permeability : μ_i) สูง

ได้ทำการทดสอบวัดค่าพารามิเตอร์ เหล่านี้โดยวิธี ดี.ซี.ฮิสเทอรีซิส แบบ Ring test ซึ่งมีแผนผังชุดทดสอบมาตราฐานฮิสเทอรีซิส แสดงดังรูปที่ 5.1 โดยใช้เครื่องทดสอบมาตราฐาน ASTM - A773 แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังชุดทดสอบมาตราฐาน ดี .ซี . ฮีสเทอรีซิส

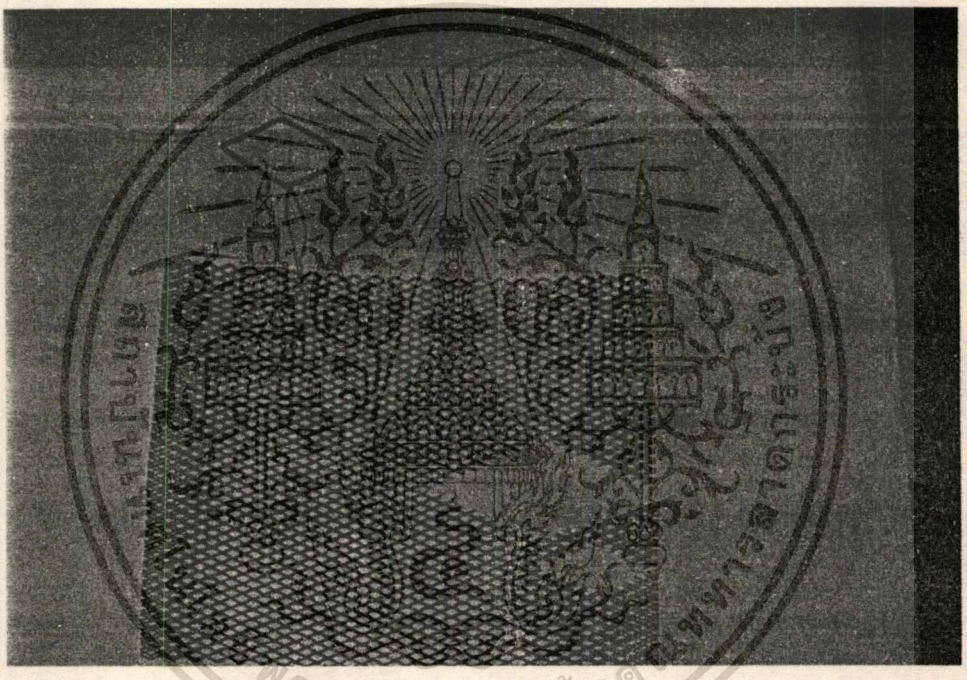
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยวิธี ดี .ซี . ฮีสเทอรีซิส แบบ Ring test ตามมาตราฐาน ASTM - A773

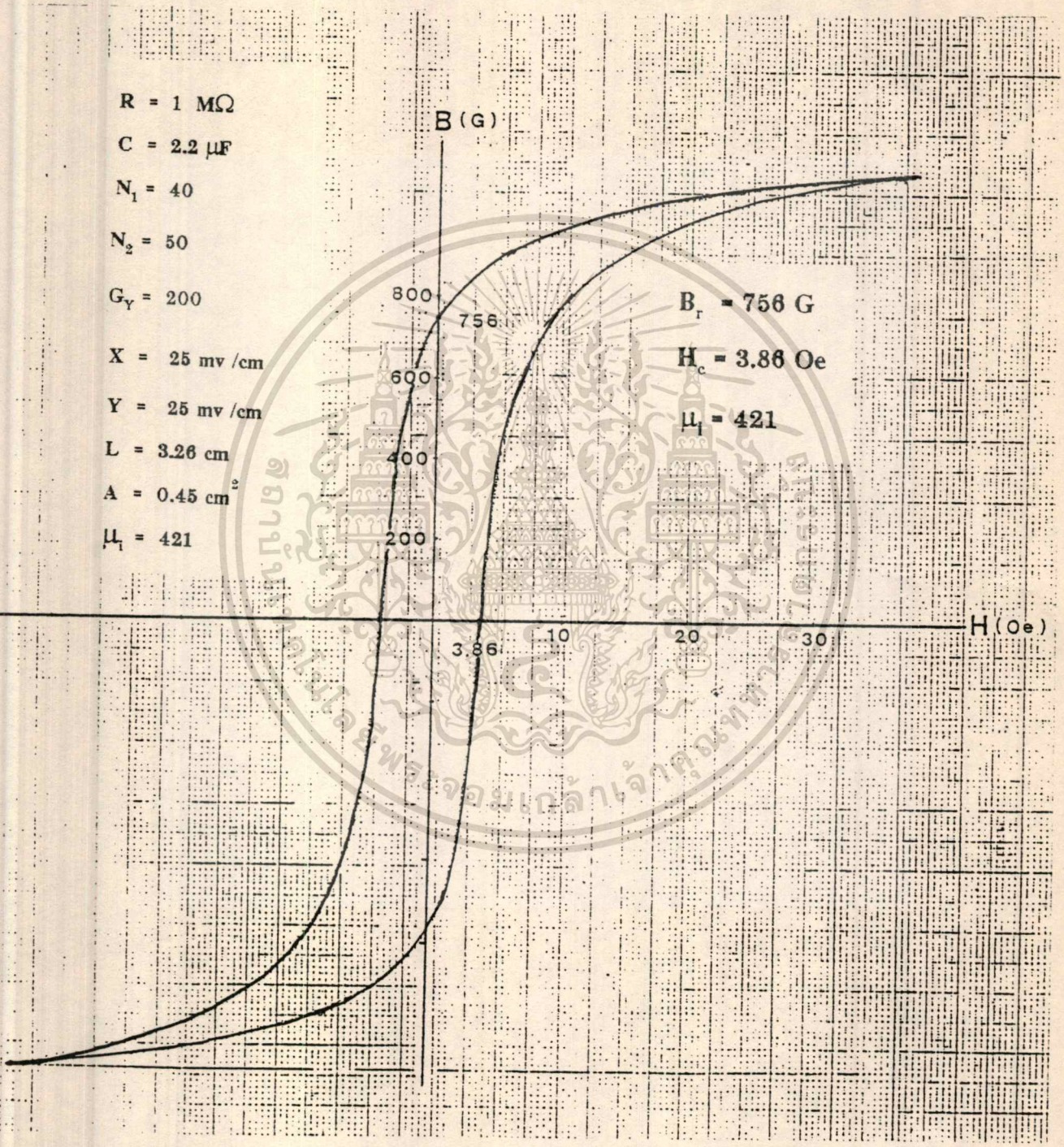
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้นำชุดเครื่องมือวัด ดี . ซี . ฮีสเทอรีซิสกราฟ มาวัดคุณภาพของเหล็ก และส่วนประกอบที่สำคัญ ที่นำมาสร้างเครื่องแยกแร่ ทั้งแบบเปียก และแบบแห้ง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.4 - 5.6 ส่วนในรูปที่ 5.3 แสดงการเตรียมตัวอย่าง ตะแกรงเมทริกซ์ ก่อนที่จะนำมาตรวจสอบคุณภาพ



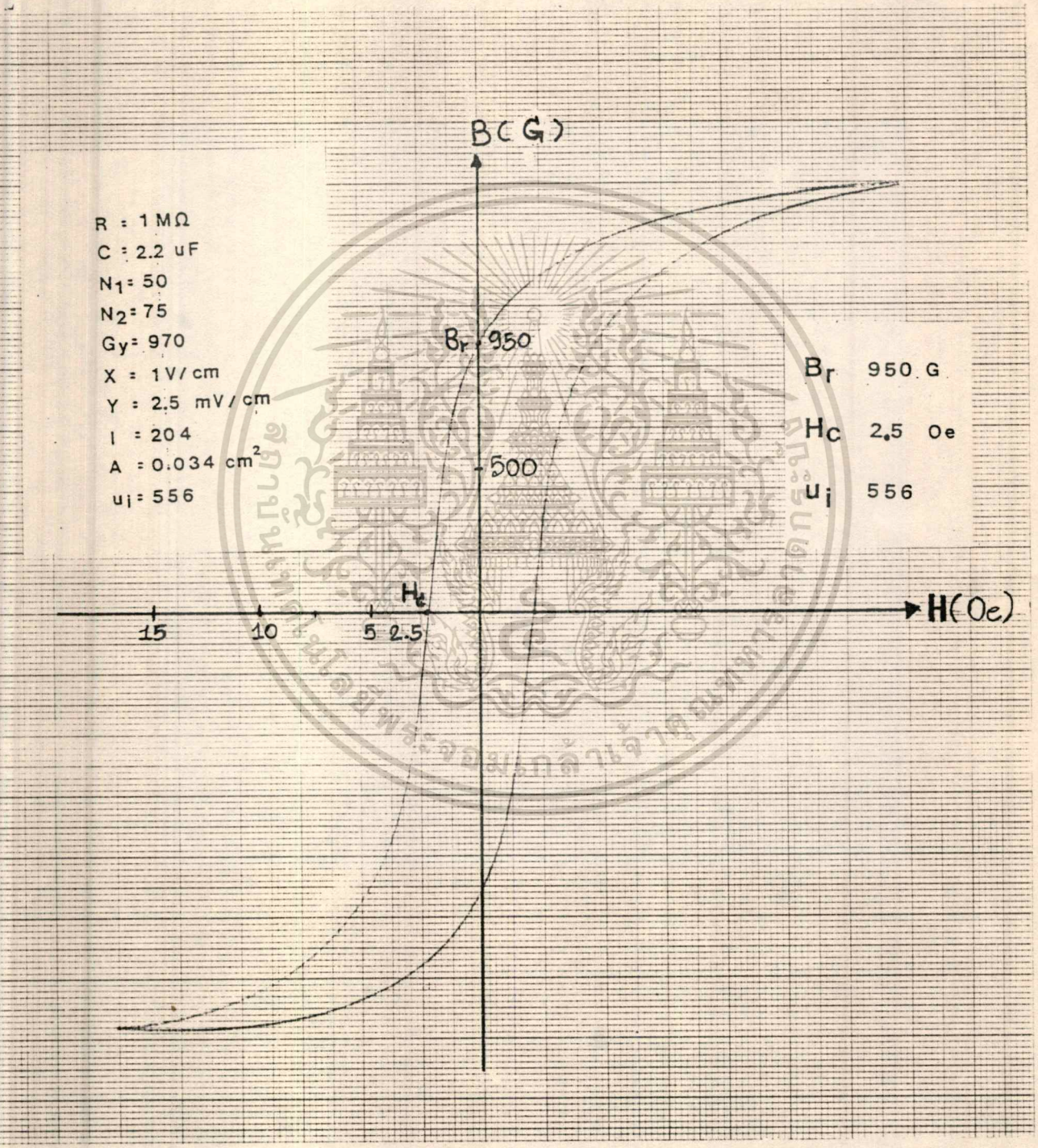
รูปที่ 5.3 ตะแกรงเมทริกซ์ นำมาตัดเป็นวงแหวนเพื่อวัดคุณสมบัติแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



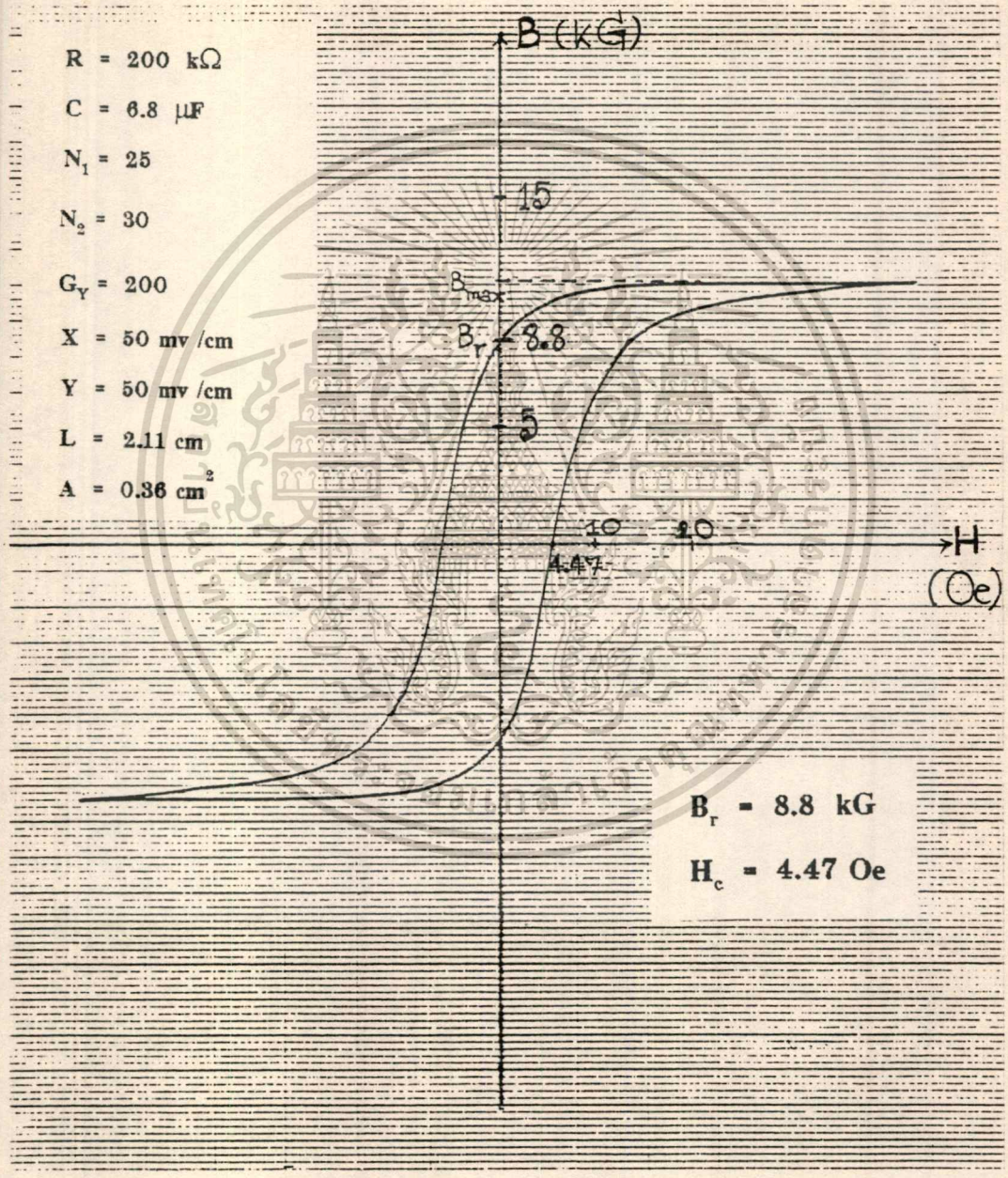
รูปที่ 5.4 กราฟ ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กที่นำมาทำ YOKE และ CORE ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟ ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กอ่อน ที่นำมาทำตะแกรง(Matrix) ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

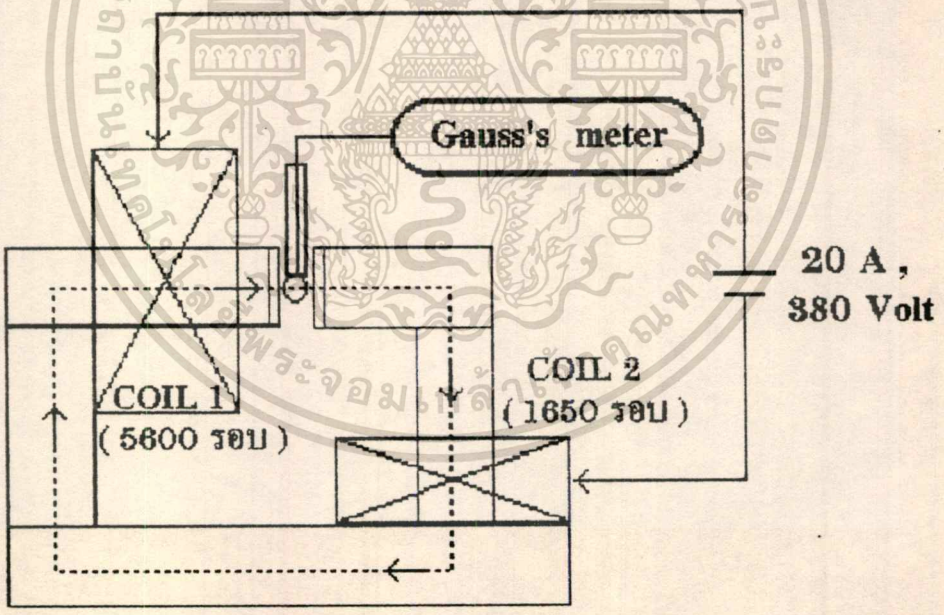


รูปที่ 5.6 กราฟ ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กที่นำมาทำ YOKE ,CORE และ ROLLER ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

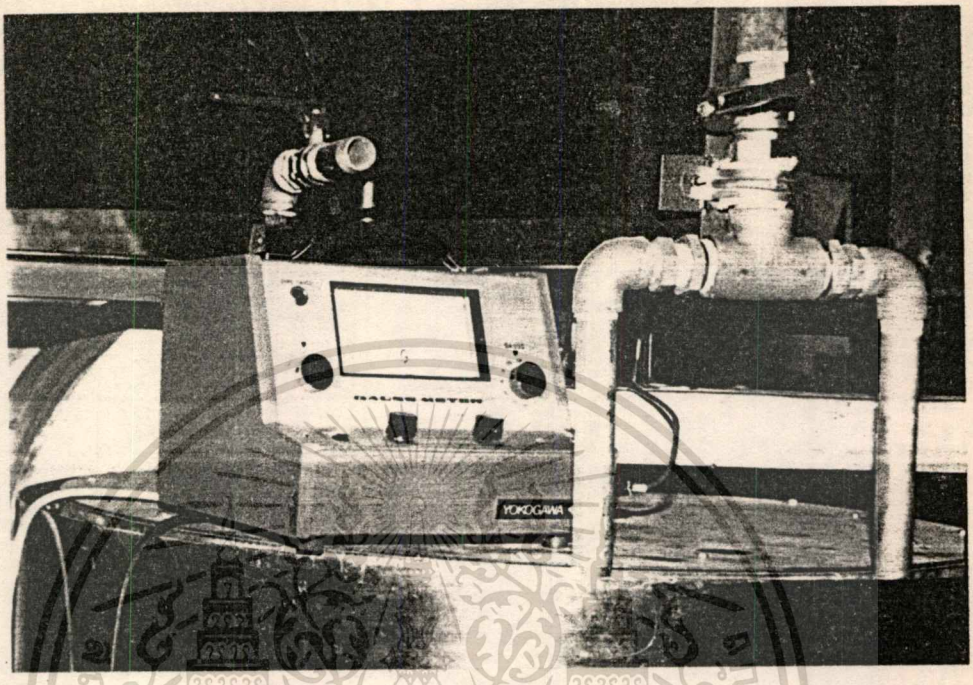
5.2 การวัดค่าของสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบเปียก โดยเทียบกับค่าของกระแสต่างๆ

ได้ทำการวัดค่าของสนามแม่เหล็กของ COIL แต่ละขด และ COIL ต่ออนุกรมกัน โดยเทียบกับค่าของกระแสตรงค่าต่างๆ ที่ป้อนให้กับขดลวด ซึ่งวัดที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 4.2 ซม. โดยใช้เครื่อง Gauss's meter ของ บริษัท YOKOGAVA รุ่น 325I มีหัววัดชนิด Hall's probe ได้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงสุด 9,600 เกาส์ ที่ค่ากระแสสูงสุด 20 A ในการวัดค่าของสนามแม่เหล็กจะจัดวางหัววัดไว้กึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.7 ส่วนในรูปที่ 5.8 และ 5.9 แสดงการวัดจริงโดย Gauss's meter และในรูปที่ 5.10 เป็นกราฟ แสดงผลการวัดค่าของสนามแม่เหล็กเมื่อเทียบกับค่ากระแสต่างๆ

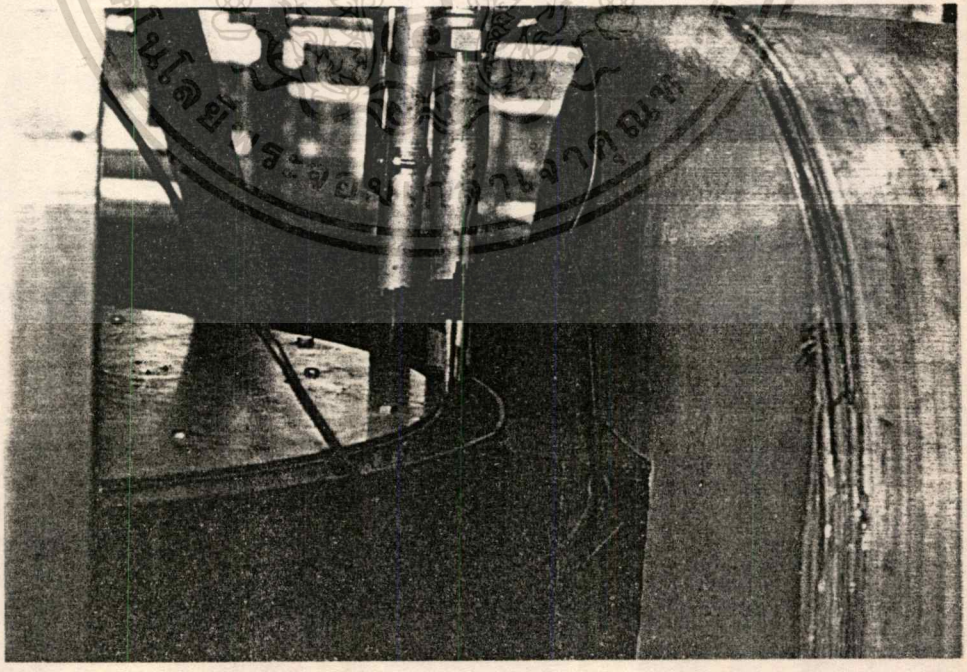


รูปที่ 5.7 ภาพแสดงตำแหน่ง หัววัด ของ Gauss's meter ในการวัดค่าสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

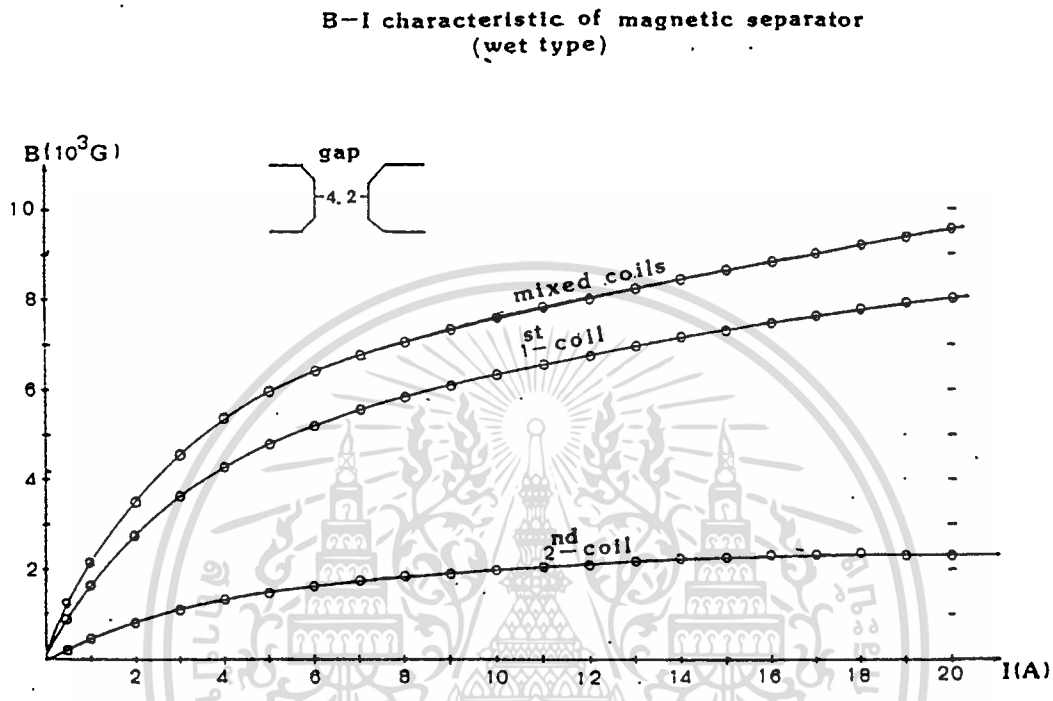


รูปที่ 5.8 แสดงการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง Gauss's meter



รูปที่ 5.9 หัววัด Hall's probe วัดระหว่างขั้วแม่เหล็กโดยถอดเอา Matrix ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

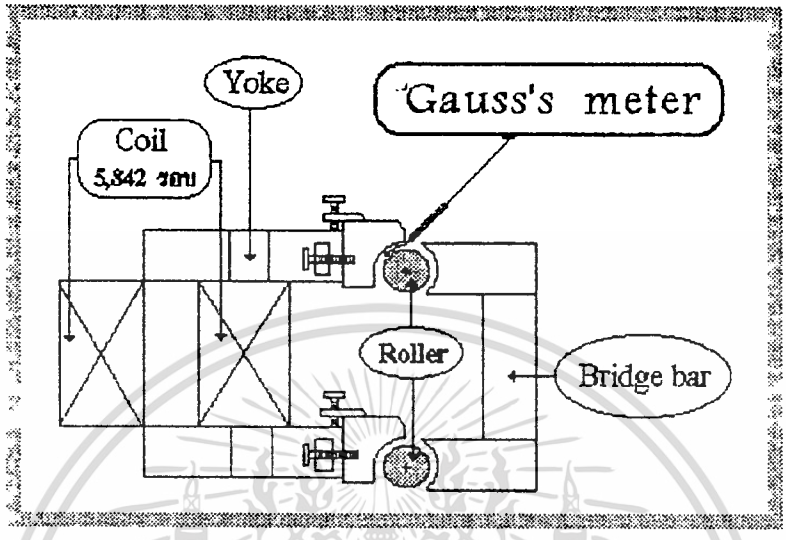


รูปที่ 5.10 ลักษณะของ B - I กราฟ ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก

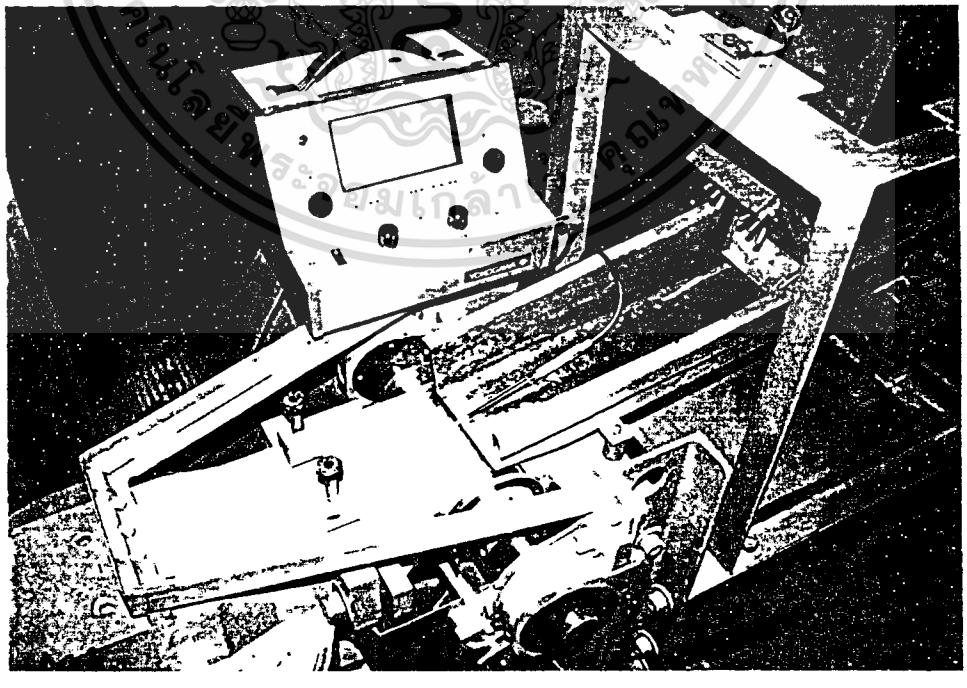
5.3 การวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง ที่ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2 มม. และ 3.5 มม. โดยเทียบกับค่าของกระแสตรง ค่าต่างๆ

ได้ทำการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง ที่ได้พัฒนาขึ้น ที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กกับตัวลูกกลิ้ง แสดงดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 ทำการวัดโดยใช้เครื่อง Gauss's meter เป็นเครื่องเดียวกันกับที่วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แบบเปียก โดยวัดที่ระยะห่างของขั้วแม่เหล็ก 2 มม. และ 3.5 มม. ได้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ระยะห่าง 2 มม. มีค่า 19,400 เกาส์ ส่วนที่ระยะห่าง 3.5 มม. ได้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด 15,800 เกาส์ และได้ทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของเครื่องต้นแบบด้วย ที่ระยะห่าง 2 มม. แสดงผลดังรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

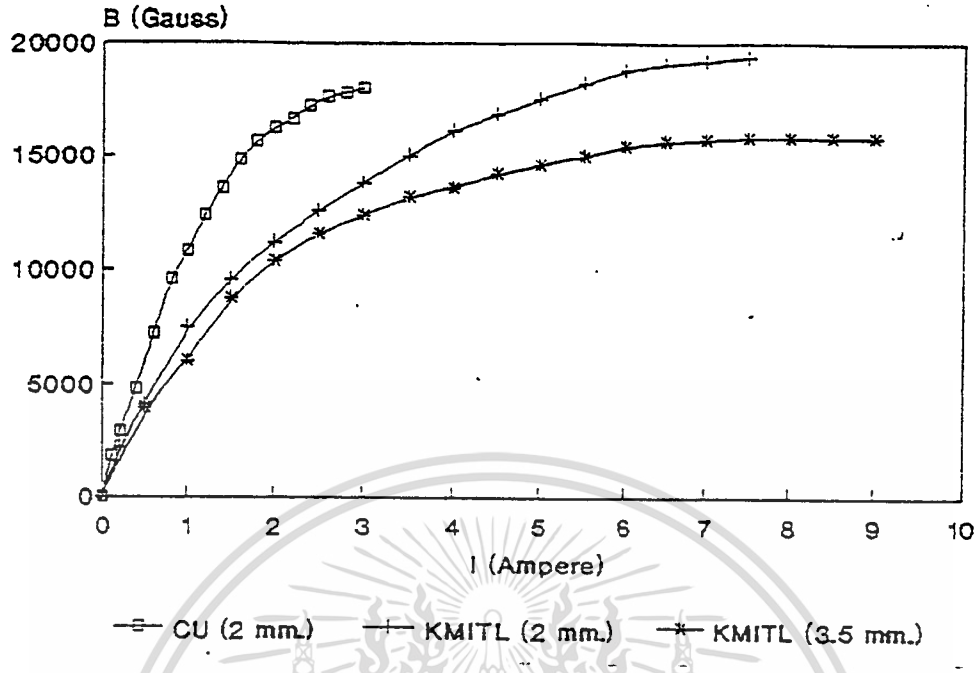


รูปที่ 5.11 แสดงตำแหน่ง หัววัด ของ Gauss's meter ในการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง



รูปที่ 5.12 รูปแสดงการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง Gauss's meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ลักษณะ B - I กราฟ ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ(CU) และของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น(KMITL) แบบแห้ง

จากกราฟรูปที่ 5.10 และ 5.13 อธิบายได้ดังนี้

1. เมื่อทำการเพิ่มกระแสที่จ่ายให้กับขดลวด พบว่าค่าของสนามแม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น จนเมื่อเพิ่มค่ากระแสถึงช่วงหนึ่ง ค่าของสนามแม่เหล็กจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ แสดงว่าค่าสภาพซึมซาบทางแม่เหล็กของโลหะเริ่มอิ่มตัว

2. สำหรับเครื่องแยกแร่แบบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟระหว่าง B - I ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ(CU) กับ เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น(KMITL) ปรากฏว่าเส้นกราฟของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ จะมีค่าความชันมากกว่า เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากกราฟ คือ เมื่อจ่ายกระแสไฟที่ค่าเท่ากัน เครื่องแยกแร่ต้นแบบจะมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่ามาก แสดงว่าเครื่องแยกแร่ต้นแบบจะใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น นั่นหมายถึง คุณภาพเหล็กของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ มีสภาพเป็นแม่เหล็ก(μ) สูงกว่าเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น

ส่วนกราฟ B - I ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก ไม่ได้เปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เพราะว่าระยะห่างระหว่างขั้ว(air gap)ซึ่งไม่สามารถปรับตำแหน่งได้ มีค่าต่างกันมาก คือ ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบมีค่าระยะห่างระหว่างขั้ว 2.5 ซม. ส่วนของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น มีค่า 4.2 ซม.ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่า B - I ได้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

เมื่อประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง ทั้งแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล และแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำแล้ว จึงจำเป็นที่ต้องทดสอบการนำไปใช้งาน

เนื่องจาก เครื่องแยกแร่ดวัยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง เป็นเครื่องที่มีอำนาจในการดึงดูดสารแม่เหล็กสูง ถ้าทำการทดสอบด้วยสารแม่เหล็กเฟอร์โรแล้ว ก็จะไม่สามารถแสดงความแตกต่างในการแยกแร่ได้ ดังนั้นจึงต้องเลือกสารแม่เหล็กชนิดพารา มาทำการทดสอบ

6.1 การทดลองเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล

สำหรับเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ได้ทำการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพในการแยก Fe_2O_3 ออกจากดินขาว(Kaolin)นับว่าเป็นการประยุกต์ใช้งานอันหนึ่ง ของการใช้เครื่องแยกแรในด้านการปรับปรุงคุณภาพของแร่ดินขาว (ดู คุณสมบัติของดินขาวจาก ภาคผนวก ฉ.) ในการทดสอบเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียก ที่ใช้แยกดินขาว มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่ที่สร้างขึ้น เมื่อเดินเครื่องเต็มที่ และหาจุดบกพร่องในการทำงานของเครื่อง แล้วทำการแก้ไข
2. เพื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ที่สร้างขึ้น และเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เมื่อแร่ที่ต้องการแยกมีเปอร์เซ็นต์ของผสมต่างๆ กัน และด้วยอัตราการป้อนแร่(Feed Rate) ที่ต่างๆ กัน

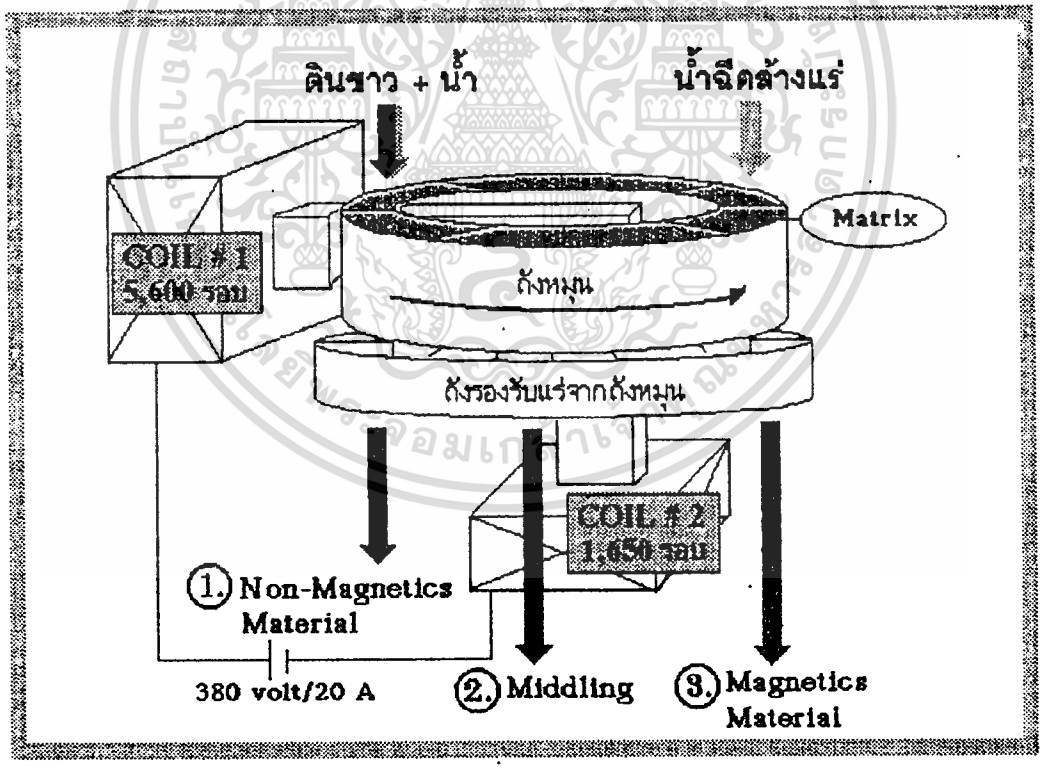
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

ได้ทำการทดสอบความสามารถของเครื่องแยกแร่ที่สร้างขึ้น และเครื่องแยกแร่ต้นแบบ ในการดักจับสารแม่เหล็กเจือปนคือ Fe_2O_3 ในแร่ดินขาว ซึ่งได้นำมาจากเหมืองบ้านปู จังหวัดระนอง ก่อนการทดสอบหาประสิทธิภาพ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของดินขาว พบว่ามีคุณสมบัติทางแม่เหล็กดังนี้

1. เป็นสารไม่ติดแม่เหล็ก(Non - magnetic material) คือ ดินขาว
2. เป็นสารที่มีความเป็นแม่เหล็กพารา(Para - magnetic material) ซึ่งตอบสนองกับสนามแม่เหล็กอย่างอ่อน คือ Fe_2O_3

ทำการทดสอบดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงการทำงานของเครื่อง ขณะทำการแยกแร่ จะได้แร่ทั้ง 3 ส่วนคือ (1.) ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (2.) ส่วนแร่คละ (3.) ส่วนแร่ติดแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น มีทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ

1. การแยกแร่
2. การแปรสภาพแร่
3. การวิเคราะห์ผล

ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

6.1.1. การแยกแร่

6.1.1.1 <u>ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ</u>

ในการทดสอบความสามารถในการแยก Fe_2O_3 ออกจากดินขาว ซึ่งจัดให้เป็นแร่ทดสอบจากแหล่งเดียวกัน โดยแยกเป็น 2 ส่วน แบ่งส่วนหนึ่งไปทดสอบกับเครื่องต้นแบบที่ จุฬาฯ และดินขาวอีกส่วนหนึ่งทำการทดสอบกับเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยเน้นการให้สนามแม่เหล็กสูงสุด และความจุของการป้อนแร่สูงสุด มีขั้นตอนดังนี้

1. นำดินขาว 3000 กรัม ผสมกับน้ำ 7000 กรัม รวมเป็น 10,000 กรัม กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน
2. นำดินขาวที่ผสมกันดีแล้ว ป้อนเข้าเครื่องแยกแร่ ชนิดเปียก

ขั้นตอนการทดสอบของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ ก็ทำลักษณะเดียวกัน โดยเวลาที่อัตราการป้อนแร่สูงสุดของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ คือ 25 วินาที ดังนั้นอัตราการป้อนแร่ของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้นก็ต้องใช้เวลาเดียวกัน

โดยที่ตั้งค่า
- ความเร็วของถังหมุน 2.4 รอบต่อนาที
- สำหรับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ จะใช้กระแส สูงสุดที่ 10 A เพื่อให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ 8,400 เกาส์
- สำหรับเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น จะใช้กระแส สูงสุดที่ 20 A เพื่อให้เกิด ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ 9,600 เกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1.2 <u>ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยเพิ่มเปอร์เซนต์ของผสมที่ค่าต่างๆ ด้วยอัตราการป้อนแร่ที่ค่าต่างๆ กัน</u>

ในการทดสอบความสามารถในการแยก Fe_2O_3 ออกจากดินขาว ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น จะทำการทดสอบแยกแร่ดินขาวที่มี Fe_2O_3 ผสม ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ด้วยอัตราการป้อนแร่ที่ต่างๆ กัน เพื่อหาประสิทธิภาพในการแยกแร่สูงสุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำดินขาวผสมกับ Fe_2O_3 ที่เตรียมไว้ แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้
   1.1 ใช้ดินขาว 2900 กรัม ผสมกับ Fe_2O_3 100 กรัม รวมกันเป็น 3000 กรัม
   1.2 ใช้ดินขาว 2800 กรัม ผสมกับ Fe_2O_3 200 กรัม รวมกันเป็น 3000 กรัม
   1.3 ใช้ดินขาว 2730 กรัม ผสมกับ Fe_2O_3 270 กรัม รวมกันเป็น 3000 กรัม
   ซึ่งดินขาวทั้งสามส่วนนี้ หลังจากแต่ละส่วนผสมกันอย่างดีแล้ว ให้แบ่งไว้ทั้งหมด 3 ชุด เพื่อจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง
2. นำดินขาว 3000 กรัม ที่ได้ทั้ง 3 ส่วน ผสมกับน้ำ 7000 กรัม รวมเป็น 10000 กรัม กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำดินขาวทั้ง 3 ส่วน ที่ผสมกันดีแล้ว ป้อนเข้าเครื่องแยกแร่ ชนิดเปียก ด้วยอัตราการป้อนแร่ 514 kg /hr(solid) และ 216 kg /hr(solid)

โดยที่ตั้งค่า - ความเร็วของถังหมุน 2.4 รอบต่อนาที
- กระแส สูงสุดที่ 20 A เพื่อให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด

6.1.2. การแปรสภาพแร่

หลังจากการแยกแต่ละครั้งเสร็จแล้ว ต้องนำแร่ที่ได้ใส่ภาชนะเพื่อที่จะนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 วัน แร่ถึงจะแห้งสนิท(แสดงดังภาคผนวก ค.) ในการทดลองครั้งแรกๆ จะเก็บแร่ที่แยกได้มาบันทึกทั้งหมด เพื่อที่จะได้เห็นผลการแยกแร่ทั้งหมด แต่การทดลองครั้งหลังจะบันทึกน้ำหนักที่แยกได้เฉพาะค่า NON-Magnetic เท่านั้น คือ ดินขาว เพราะเป็นส่วนเดียวที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ในส่วนของ Middling และ MAG ไม่นำไปใช้ประโยชน์จึงไม่นำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 การวิเคราะห์ผล

ทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของ Fe_2O_3 ทั้งก่อน และหลังแยกแร่ เพื่อที่จะมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ และเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น (ดู ผลการวิเคราะห์ % Fe_2O_3 ที่ ภาคผนวก ง.)

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ และเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น

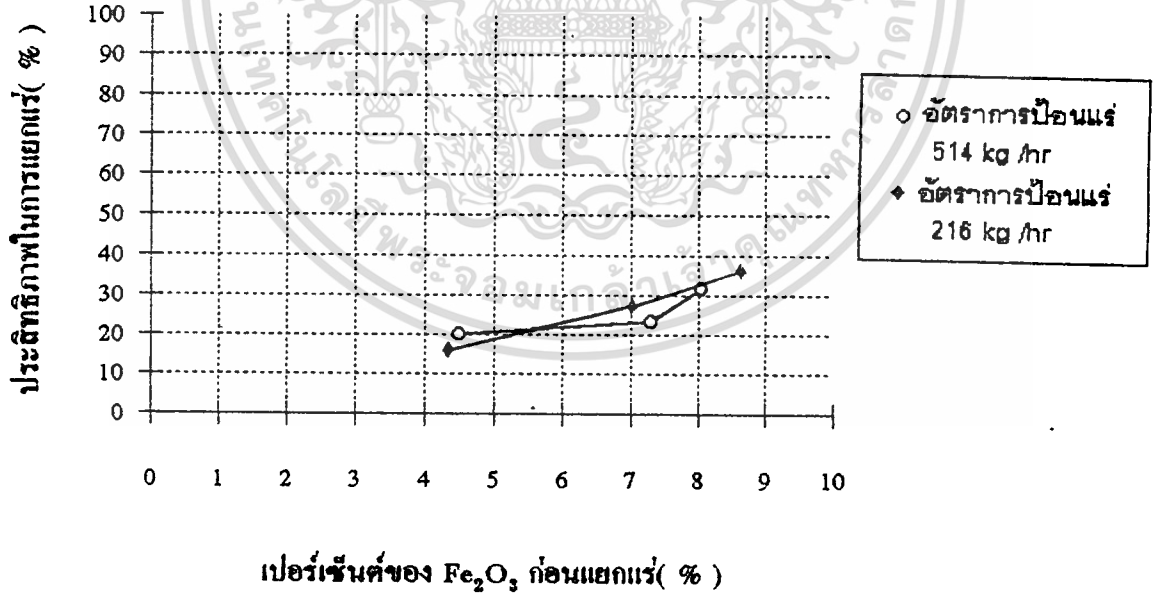
	เครื่องแยกแร่ต้นแบบ	เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น
น้ำหนักของแร่ดินขาวที่ใช้แยก(Solid)	3,000 กรัม	3,000 กรัม
อัตราการป้อนแร่ (วินาที)	25	25
% Fe_2O_3 ก่อนแยก	1.6	1.6
% Fe_2O_3 หลังแยก		
Non - Magnetic meterial	0.802 %	0.789 %
Middling	0.803 %	0.794 %
Magnetic - meterial	0.944 %	0.907 %
ปริมาณการเก็บแร่ได้หลังแยก(Solid)		
Non - Magnetic meterial	569.6 กรัม	1800 กรัม
Middling	2088.8 กรัม	400 กรัม
Magnetic - meterial	141.3 กรัม	10 กรัม
ประสิทธิภาพในการแยก Fe_2O_3 ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก	49.9 %	50.7 %

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้นเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของผสมที่ค่าต่างๆ ด้วยอัตราการป้อนแร่ที่ค่าต่างๆ กัน แสดงดังตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ เทียบกับเปอร์เซ็นต์ของผสมที่ค่าต่างๆ ด้วยอัตราการป้อนแร่ที่ค่าต่างๆ กัน

อัตราการป้อนแร่ (kg / hr)	เปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3		น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็กหลังแยกแร่	ประสิทธิภาพในการแยก(%)
	ก่อนแยก	หลังแยก		
514 (Solid)	4.50 %	3.6 %	1998 กรัม	20.00
	7.30 %	5.6 %	2016 กรัม	23.29
	8.05 %	5.5 %	2108 กรัม	31.67
216 (Solid)	4.30 %	3.5 %	1756 กรัม	18.60
	7.00 %	5.0 %	1665 กรัม	28.57
	8.60 %	5.5 %	1455 กรัม	36.05



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้นในการแต่งแร่ดินขาว เมื่อมีส่วนผสมของ Fe_2O_3 ต่างๆ กัน ด้วยอัตราการป้อนแร่ต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ ดูรูปที่ 6.2 ที่อัตราการป้อนแร่ 514 kg /hr เมื่อ เปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 ก่อนแยกแร่มีค่าเพิ่มขึ้น จะได้น้ำหนักของแร่ไม่ติดแม่เหล็กเพิ่มขึ้น และได้ประสิทธิภาพในการแยกสูงขึ้น แต่เมื่อลดอัตราการป้อนแร่ให้ช้าลงจะได้น้ำหนักของแร่ไม่ติดแม่เหล็กลดลง แต่จะมีประสิทธิภาพในการดึง Fe_2O_3 ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงอัตราการป้อนแร่ จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการลด Fe_2O_3 ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก พบว่าประสิทธิภาพในการแยกจะสูงขึ้นเมื่อลดอัตราการป้อนแร่ให้ช้าลง

สามารถสรุปได้ว่า อัตราการป้อนของผสม จะมีผลต่อแรงต้านของของไหล($\vec{F}_d$) ได้คือ เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการป้อนแร่ ก็จะเป็นการเปลี่ยนแปลงความเร็ว(V)ของเม็ดแร่ในของผสม ทำให้แรงต้านของของไหลเปลี่ยนแปลงไป ตามสมการ 3.24 แต่เมื่อพิจารณาตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อ เปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 ก่อนแยกแร่มีค่าน้อยแต่หลังจากการแยกแร่แล้วได้ประสิทธิภาพในการแยกแร่สูงกว่า เปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 ก่อนแยกแร่ที่มีค่าสูง ซึ่งมีความขัดแย้งกับผลการทดลองตามกราฟที่ 6.2 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อป้อนแร่ที่มีค่าผสมของ Fe_2O_3 น้อย ผ่านเมทริกซ์ของถังหมุนด้วยความเร็วของการหมุนคงที่ นั่นหมายถึงความหนาแน่นของแร่ป้อนต่อพื้นที่เมทริกซ์มีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อ Fe_2O_3 ปริมาณน้อยๆ เคลื่อนที่ผ่านเมทริกซ์ เมทริกซ์ก็สามารถดักจับ Fe_2O_3 ได้มาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Fe_2O_3 มากขึ้น ความหนาแน่นของ Fe_2O_3 ที่ถูกดักจับโดยเมทริกซ์ก็มีค่ามากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดน้อยลง ดังนั้นถ้าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับ Fe_2O_3 ของเมทริกซ์ ก็จะต้องเพิ่มพื้นที่เมทริกซ์ในการแยกแร่ให้มากขึ้น

ในการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล สามารถดำเนินการสร้างได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี

การทำงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบเปียก ชนิด ถังคารูเซล ที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ ได้สรุปอยู่ในตารางที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ตารางสรุปการทำงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ที่ได้พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ

		เครื่องที่ได้พัฒนาขึ้น (KMITL)	เครื่องแยกแร่ต้นแบบ
ความต่างศักย์สูงสุด		380 volt	110 Volt
กระแสสูงสุด		20 A	10 A
กำลังไฟฟ้าสูงสุด		7.6 kW	1.1 kW
ช่องว่างระหว่างขั้ว		4.2 ซม.	2.5 ซม.
สนามแม่เหล็กสูงสุด.		9,600 เกาส์	8400 เกาส์
อัตราสูงสุดในการ	slurry	1.7 ton /hr	1.56 ton/hr
ป้อนแร่ (Capacity)	solid	514 kg /hr	468 kg /hr
ประสิทธิภาพสูงสุดในการแยก Fe_2O_3 ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก		51 %	50 %

6.2 การทดสอบเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนียวนำ

สำหรับเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ได้ทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ โดยการแยก**แร่อิลเมไนต์**(ilmenite) ออกจากทราย เป็นการเพิ่มคุณภาพของทราย (คุณสมบัติของแร่อิลเมไนต์จากภาคผนวก ฉ.) ในการทดสอบความสามารถของเครื่องแยกแร่ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่ที่สร้างขึ้น เมื่อเดินเครื่องเต็มที่ และหาจุดบกพร่องในการทำงานของเครื่อง แล้วทำการแก้ไข
2. เพื่อพิจารณาหาประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ที่สร้างขึ้น และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เมื่อแร่ป้อนมีเปอร์เซ็นต์ ของผสมค่าต่างๆ และเทียบกับความเร็วของลูกกลิ้งที่ค่าต่างๆ

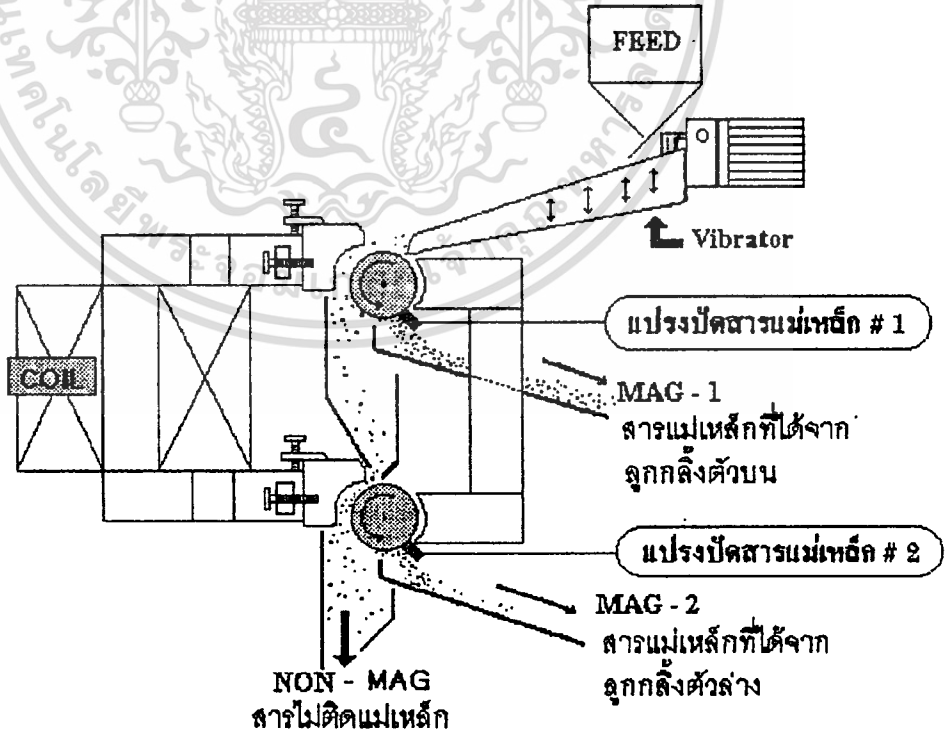
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

ได้ทำการทดสอบความสามารถของเครื่องแยกแร่ที่ได้สร้างขึ้น และเครื่องแยกแร่ต้นแบบ ในการดักจับสารแม่เหล็กเจือปนคือ แร่อิลเมไนต์(Ilmenite) ในทรายแก้ว ซึ่งแร่ที่ใช้ทดสอบนี้ เตรียมโดยนำทรายแก้วที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งนำมาจากโรงงานผลิตแก้ว ผสมกับ แร่อิลเมไนต์(Ilmenite) ซึ่งเตรียมมาจาก ภาควิชาเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ก่อนการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของสารที่ใช้ทดสอบนี้ มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กดังนี้

1. เป็นสารไม่ติดแม่เหล็ก(Non-magnetic material) คือ **ทราย**
2. เป็นสารที่มีความเป็นแม่เหล็กพารา(para-magnetic material) ซึ่งตอบสนองกับสนามแม่เหล็กปานกลาง คือ **แร่อิลเมไนต์**

ทำการทดสอบดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการทำงานของเครื่อง ขณะทำการแยกแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการแยกแร่ มีทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ

6.2.1 ขั้นตอนที่ 1

มี 3 ส่วน คือ

1. หาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เทียบกับเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น
2. หาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น เมื่อ ความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน
3. หาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น เมื่อ เปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กัน

6.2.1.1. หาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ เทียบกับเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแร่อิลเมไนต์ 700 กรัม และทรายแก้ว 300 กรัม ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนละเท่าๆ กัน ส่วนแรก จะนำไปทดสอบกับเครื่องต้นแบบที่ จุฬาฯ ส่วนที่สอง จะใช้ทดสอบกับเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น
2. นำทรายแก้ว 150 กรัม(30 %) ผสมกับแร่อิลเมไนต์ 350 กรัม(70 %) จากนั้นก็ทำการคนแร่ทั้งสองชนิดให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำทรายที่ผสมกันดีแล้ว ป้อนเข้าเครื่อง

โดยตั้งค่า - ช่องว่างระหว่างขั้ว 2 mm

- ความเร็วของลูกกลิ้ง 88 รอบต่อนาที(rpm)
- สำหรับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ ใช้กระแส 3 A สูงสุด เพื่อให้ได้สนามแม่เหล็กสูงสุดที่ 18,000 เกาส์
- สำหรับเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น ใช้กระแส 7.5 A เพื่อให้ได้สนามแม่เหล็กสูงสุดที่ 19,000 เกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.2. หาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น เมื่อความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำทรายแก้วทรายแก้ว 450 กรัม(90%) ผสมกับแร่อิลเมไนต์ 50 กรัม(10%) โดยเตรียมไว้ 5 ชุด
2. นำทรายที่ผสมกันดีแล้ว ป้อนเข้าเครื่อง โดยได้ปรับเปลี่ยนความเร็วของลูกกลิ้งดังนี้ 20 rpm ,30 rpm ,50 rpm ,88 rpm และ 100 rpm

ในการทดสอบ จะปรับช่องว่างระหว่างขั้ว 1 mm และ ใช้กระแส 7 A ผ่านขดลวด

6.2.1.3. หาประสิทธิภาพเมื่อ เปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กัน

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำทรายแก้วผสมกับแร่อิลเมไนต์ที่เปอร์เซ็นต์ 5% 10% 30% และ 50% โดยน้ำหนัก ดังนี้
   - ทดสอบครั้งที่ 1. ใช้ทรายแก้ว 475 กรัม ผสมกับแร่อิลเมไนต์ 25 กรัม(5%)
   - ทดสอบครั้งที่ 2. ใช้ทรายแก้ว 450 กรัม ผสมกับแร่อิลเมไนต์ 50 กรัม(10%)
   - ทดสอบครั้งที่ 3. ใช้ทรายแก้ว 350 กรัม ผสมกับแร่อิลเมไนต์ 150 กรัม(30%)
   - ทดสอบครั้งที่ 4. ใช้ทรายแก้ว 250 กรัม ผสมกับแร่อิลเมไนต์ 250 กรัม(50%)
2. นำทรายที่ผสมกันดีแล้ว ป้อนเข้าเครื่อง

โดยใช้ความเร็วลูกกลิ้ง 88 rpm ,ที่ช่องว่างระหว่างขั้ว 1 มม.และใช้กระแส 7 A ผ่านขดลวด

6.2.2 ขั้นตอนที่ 2

หลังจากการแยกแต่ละครั้งจะบันทึกน้ำหนักที่แยกได้(ดู ภาคผนวก จ.)ในแต่ละส่วนทั้ง 3 ส่วน คือ

1) MAG - 1 สารที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กที่ได้จากลูกกลิ้งตัวบน
2) MAG - 2 สารที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กที่ได้จากลูกกลิ้งตัวล่าง
3) NON - MAG สารที่ไม่ติดแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 ขั้นตอนที่ 3

นำแร่ที่แยกได้ในแต่ละส่วน มาทำการนับจำนวนเม็ด(Grain counting) โดยกล้องจุลทรรศน์ โดยพิจารณาว่า ในทรายผสม 100 เม็ด มีแร่อิลเมไนต์กี่เม็ด การนับเม็ดแร่ผ่านกล้องจุลทรรศน์นี้ สามารถที่จะคัดเลือกเม็ดแร่ได้เป็นอย่างดี เพราะมองเห็นได้ชัดเจน เมื่อได้ข้อมูลแล้วจึงนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพ(ดู ภาคผนวก จ.)

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ แสดงอยู่ในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น กับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ (แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ)

		เครื่องแยกแร่ต้นแบบ	เครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น
ระยะห่างระหว่างขั้ว (มม.)		2	2
ความเร็วของลูกกลิ้ง (rpm)		88	88
ผลวิเคราะห์แร่ก่อนแยก	แร่อิลเมไนต์	70 %	70 %
	ทราย	30 %	30 %
ผลการวิเคราะห์แร่ หลังผ่านการแยกแร่			
MAG - 1 (%)	แร่อิลเมไนต์	81	87
	ทราย	19	13
NON - MAG (%)	แร่อิลเมไนต์	8	12
	ทราย	92	88
ประสิทธิภาพในการดึงแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย		36.7	56.6
ประสิทธิภาพในการดึงทรายออกจากแร่อิลเมไนต์		88.6	82.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น เมื่อความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน แสดงอยู่ในตารางที่ 6.5 และรูปที่ 6.4

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ เมื่อความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน

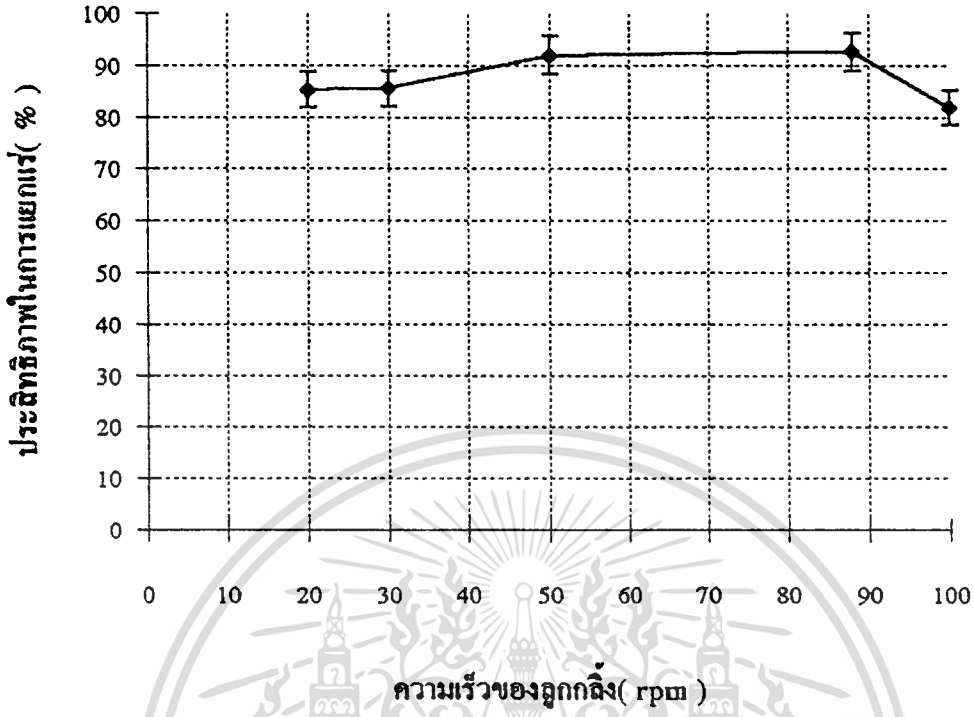
ความเร็วลูกกลิ้ง (rpm)	เปอร์เซ็นต์ของทราย		ประสิทธิภาพในการดึงแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย
	ก่อนแยก	หลังแยก MAG - 1	
20	90	13.3	85.2 %
30	90	13	85.5 %
50	90	7.33	91.9 %
88	90	6.66	92.6 %
100	90	16.33	81.8 %

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กันแสดงในตารางที่ 6.6 และรูปที่ 6.5

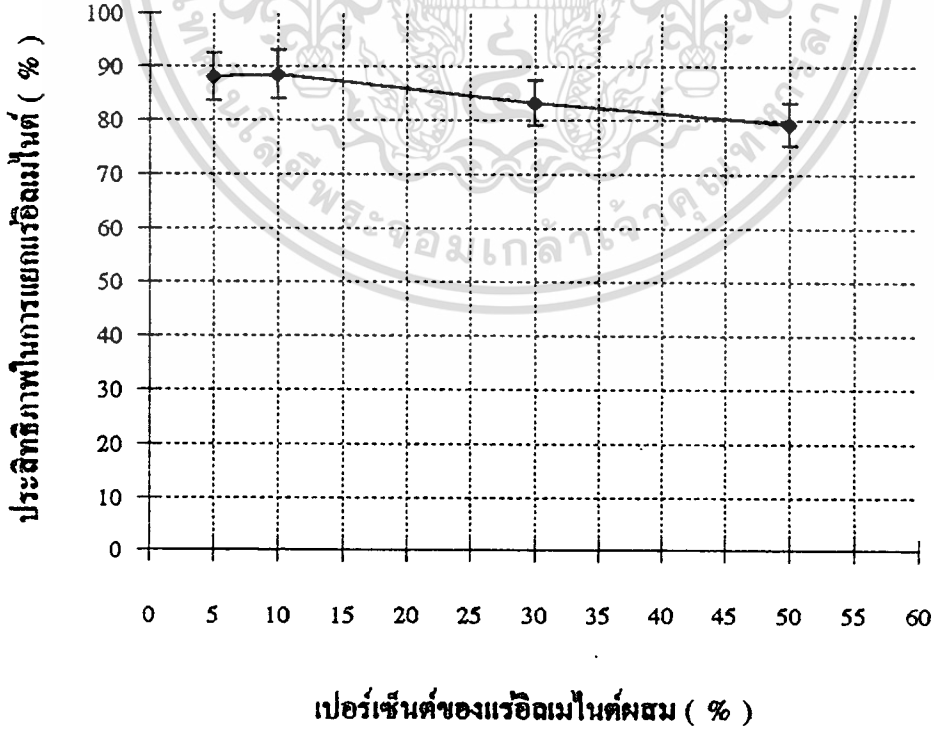
ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กัน

เปอร์เซ็นต์ของแร่อิลเมไนต์ผสม	เปอร์เซ็นต์ของทราย		ประสิทธิภาพในการดึงแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย
	ก่อนแยก	หลังแยก MAG - 1	
5 %	95	11.3	88.11 %
10 %	90	10.33	88.52 %
30 %	70	11.66	83.34 %
50 %	50	10.33	79.34 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องกับความเร็วของลูกกลิ้ง



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการแยกแร่ของเครื่องกับ เปอร์เซ็นต์ผสมของแร่อิลเมไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง ดูกราฟรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าในการแยกแร่อิลเมไนต์ ออกจากทรายที่ความเร็วของลูกกลิ้ง 88 rpm ประสิทธิภาพในการแยกมีค่าสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มความเร็วของลูกกลิ้งเป็น 100 rpm ประสิทธิภาพในการแยกเริ่มจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางเริ่มมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดแม่เหล็กบนเม็ดแร่ ส่วนกราฟในรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์ผสมของแร่อิลเมไนต์ในทราย 10% เครื่องแยกแร่มีประสิทธิภาพในการแยกสูงสุด แต่เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ผสมของแร่อิลเมไนต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก ความหนาแน่น ของแร่อิลเมไนต์ บนผิวของลูกกลิ้งมีค่าสูงขึ้น

ในการสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำสามารถดำเนินการสร้างได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 6.7 ตารางสรุปการทำงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ

	เครื่องแยกแร่ต้นแบบ	เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น
ความต่างศักย์สูงสุด	110 volt	220 volt
กระแสสูงสุด	3 A	9 A
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	0.33 kW	2 kW
สามารถปรับช่องว่างระหว่างขั้วได้	1 - 10 มม.	1 - 10 มม.
สนามแม่เหล็กสูงสุดที่ช่องว่างระหว่างขั้ว 2 มม.	18,000 เกาส์	19,000 เกาส์
ความจุสูงสุด (kg / hr)	18	20
ประสิทธิภาพในการแยกแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย	37 % (ที่ % แร่อิลเมไนต์ผสม 70 %)	57 - 93 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผล และวิจารณ์

ในการสร้างเครื่องแยกแร่ทั้งสองนี้ แบ่งขั้นตอนของงานวิจัยได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ *ขั้นตอนแรก* เป็นการศึกษาเครื่องต้นแบบที่ภาควิชาเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย *ขั้นที่สอง* คือการสร้างส่วนโครงสร้าง *ขั้นตอนที่สาม* คือ การสร้างส่วนควบคุมการทำงาน และ *ขั้นตอนสุดท้ายคือ* การทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่ที่สร้างขึ้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงาน พอที่จะสรุปและวิจารณ์ผลแต่ละขั้นตอนได้ตามลำดับดังนี้

1.) จากการศึกษาตัวเครื่องต้นแบบ จะเห็นว่ามีการจ่ายกระแสให้ขดลวดน้อย สามารถให้สนามแม่เหล็กที่แรงมากเนื่องจากประสิทธิภาพของเหล็กดีมาก สำหรับเครื่องที่สร้างพยายามใช้เหล็กที่หาได้ในประเทศ ซึ่งต้องใช้กระแสจ่ายให้กับขดลวดเป็นจำนวนมากกว่าประมาณ 2 เท่า เพื่อที่จะได้สนามแม่เหล็กค่าที่เท่ากัน

2.) ลักษณะการป้อนแร่

- ในกรณีของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง ชุดสั่นวัสดุป้อนเข้าเครื่อง เพื่อที่ช่วยเร่งให้แร่เคลื่อนที่ไปยังตัวลูกกลิ้งเหนี่ยวนำให้เร็วขึ้น สร้างโดยการประยุกต์การทำงานของมอเตอร์ โดยไปหมุนลูกเบี้ยว จึงได้ประสิทธิภาพของการสั่น ไม่ดีนัก

- ในกรณีของเครื่องแยกแร่แบบเปียก จะป้อนแร่สู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กโดยตรง

3.) ประสิทธิภาพในการแยกแร่ขึ้นอยู่กับ

- ในกรณีของเครื่องแยกแร่แบบเปียก พบว่าประสิทธิภาพในการแยกแร่ ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนแร่ และเปอร์เซ็นต์ของผสมในแร่ป้อน

- ในกรณีของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง พบว่าประสิทธิภาพในการแยกแร่หลังจากที่ตรวจสอบแล้วขึ้นกับ ความเร็วรอบของตัวลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ และความหนาแน่นของแร่ติดแม่เหล็กบนผิวลูกกลิ้ง

4.) เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้นจนสำเร็จ

- สำหรับเครื่องแยกแร่แบบเปียกจะมีความจุสูงสุด 1.7 ตัน /ชม.(ของเหลว) และประมาณ 514 กก. /ชม.(ของแข็ง)ส่วนเครื่องที่เป็นเครื่องต้นแบบที่จุฬาฯ มีความจุในการแยกสูงสุด 1.56 ตัน /ชม.(ของเหลว) และประมาณ 468 กก. /ชม.(ของแข็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับเครื่องแยกแร่แบบแห้งมีความจุสูงสุด 20 กก./ชม. ส่วนเครื่องที่เป็นเครื่องต้นแบบที่จุฬาฯ มีความจุในการแยกสูงสุด 18 กก./ชม.

ข้อเสนอแนะ

- **สำหรับเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล**

เครื่องแยกแร่ชนิดนี้ที่ได้พัฒนาขึ้น เป็นเครื่องแยกแร่ที่มีขนาดใหญ่ ถ้าเลือกวัสดุที่ใช้มาทำเป็นแกน CORE ให้มีค่าความซึมซาบของสารสูง ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ Double Coil และในการออกแบบถังหมุนคารูเซล จะต้องคำนึงถึงความหนาของถังและจุดยึดถังแข็งแรงพอควร เพราะในขณะที่มีการให้สนามแม่เหล็กกับสารที่ต้องการแยกจะมีแรงดึงดูดสูงมาก อาจจะทำให้ถังหมุนขยับ และเกิดการติดขัดได้ ในส่วนการออกแบบชุดจ่ายกระแสควรคำนึงถึงแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าด้วย เช่น 220 V ชนิดเฟสเดี่ยว จะใช้ง่ายกว่า 380 V ชนิดสามเฟส ซึ่งขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดลวด และขนาดของวัสดุที่ใช้ทำเป็นแกนขั้วแม่เหล็ก

- **สำหรับเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ**

เนื่องจากเครื่องแยกแร่ชนิดนี้ เป็นเครื่องแยกแร่ที่แยกได้ในแร่ที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก เพราะฉะนั้น ในการใช้งาน ควรที่จะบดแร่ หรือทำให้แร่ให้เหมาะแก่การใช้งานของเครื่องเสียก่อน และถ้าสามารถหาเหล็กที่มีคุณภาพที่ดี คือมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำมากๆ มาทำแกน CORE ก็จะช่วยในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กสูงๆ โดยไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการจ่ายกระแสมากเกินไป

ในการแยกแร่ชนิดอื่น ที่ไม่ใช่แร่อิลเมไนต์ ควรจะทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกแร่ชนิดนั้นๆ ก่อนที่จะทำการแยกจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ภิญโญ มีชำนะ ," เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ " โลหะ วัสดุ และแร่ ,ปีที่ 2 ,ฉบับที่ 2(สิงหาคม 2533) ,หน้า 29
2. ภิญโญ มีชำนะ ," เครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ " โลหะ วัสดุ และแร่ ,ปีที่ 2 ,ฉบับที่ 3 (กันยายน 2533) ,หน้า 25
3. J. SVOBODA ,MAGNETIC METHODS FOR THE TREATMENT OF MINERALS , (SOUTH AFRICA : ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. ,1987) CHAPTER 2.4.2.4 ,p.174
4. ร.ศ. ไพโรจน์ ตีรณธนากุล ,ไฟฟ้าแม่เหล็ก ,(กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพฯ., 2521) หน้า 210 - 212
5. ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนการ " การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก และการลอยแร่ " (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2533) หน้า 58 - 59
6. JOHN A OBERTEUFFER " Magnetic Separation : A Review of Principles ,Devices and Applications " IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS , June ,1974 , pp. 223 - 237
7. D. J. KROON , LABORATORY MAGNETS , Philiptechnical Library ,N.V. Philips , Gloeilampenfabricken , Eindhoven(Nethertland) ,1968
8. Kelley , E.G. and Spootiswood , D. J. ,Introduction to Mineral Processing , (A Wiley - Inter Science Publication John - Wiley & Sons Inc.,New York, 1982) CHAPTER 14 ,pp. 274 - 290
9. J. SVOBODA ,MAGNETIC METHODS FOR THE TREATMENT OF MINERALS , (SOUTH AFRICA : ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V.,1987) CHAPTER 4.5 ,pp. 372 - 415

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. มงคล ทองสงคราม ,หม้อแปลงไฟฟ้า ,พิมพ์ครั้งที่ 2. (กรุงเทพมหานคร : บริษัทรามาการพิมพ์ จำกัด) ,หน้า 13

11. ร.ศ. ไพโรจน์ ตีรณธนากุล ,ไฟฟ้าแม่เหล็ก ,(กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพฯ., 2521) ,หน้า 204

12. กรมทรัพยากรธรณี กองเศรษฐกิจ และการเผยแพร่ " อิลเมไนต์ " , แร่ , พิมพ์ครั้งที่ 3. ,หน้า 88 - 89 ,2526

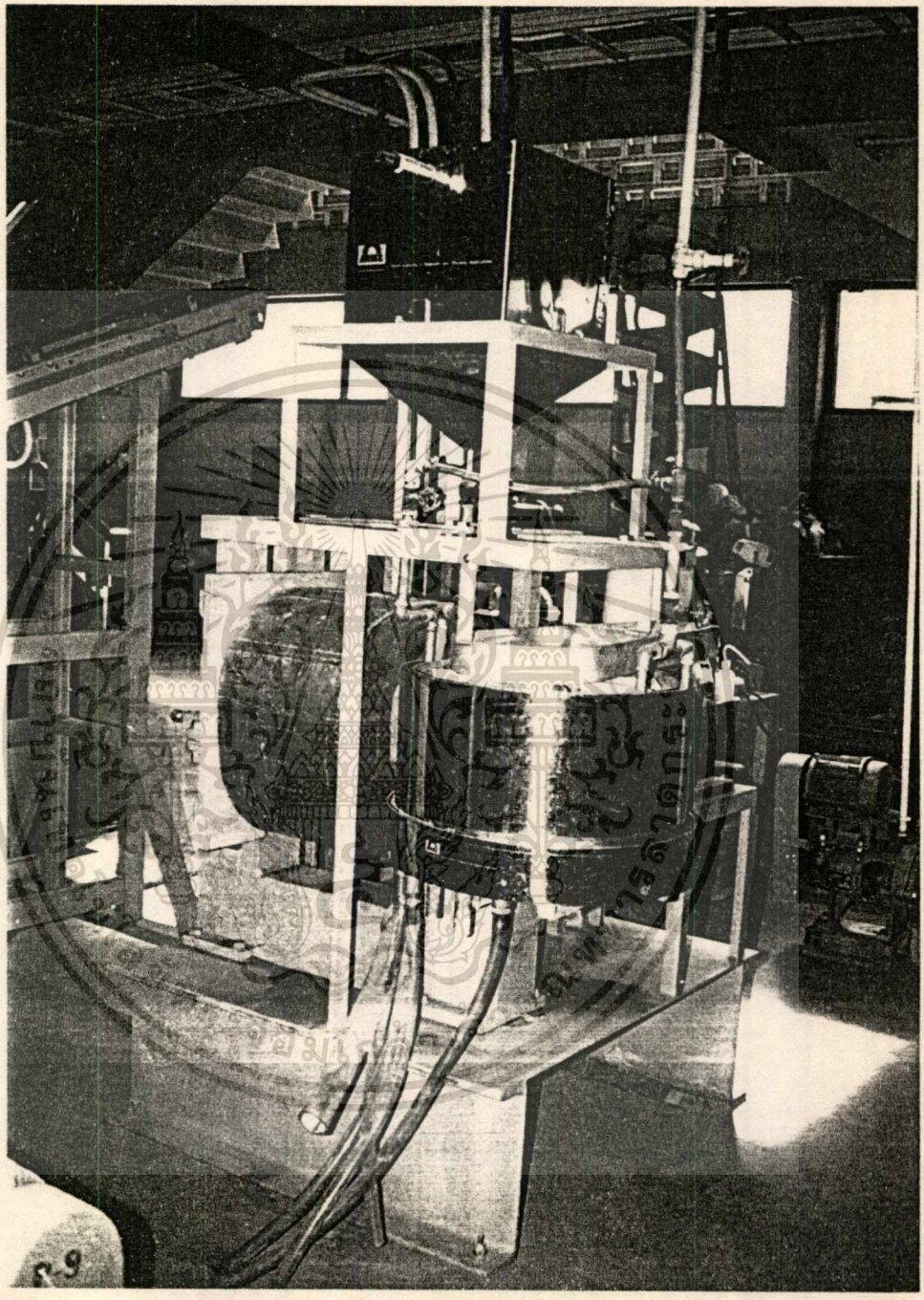
13. หนังสือพิมพ์ข่าวพานิชย์ " ดินขาวทรัพย์ในดิน " , เหมืองแร่ , ปีที่ 6. ,ฉบับที่ 14 (ตุลาคม 2535) , หน้า 28 - 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

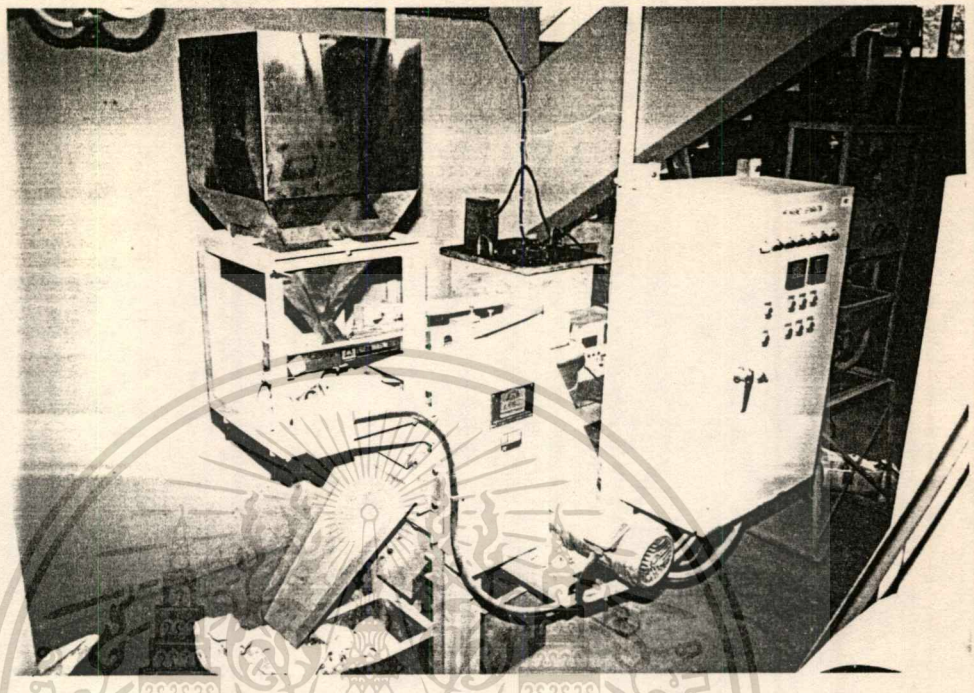
แสดงรูปของ เครื่องแยกแร่ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

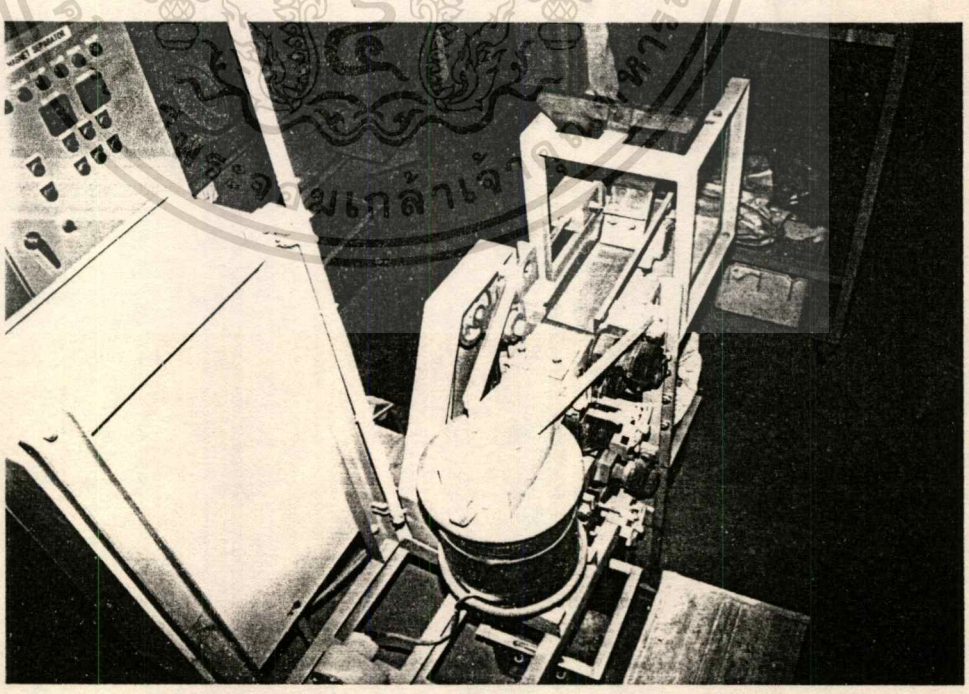


รูป ก.1 เครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก
กำลังสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ของ ERIEZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

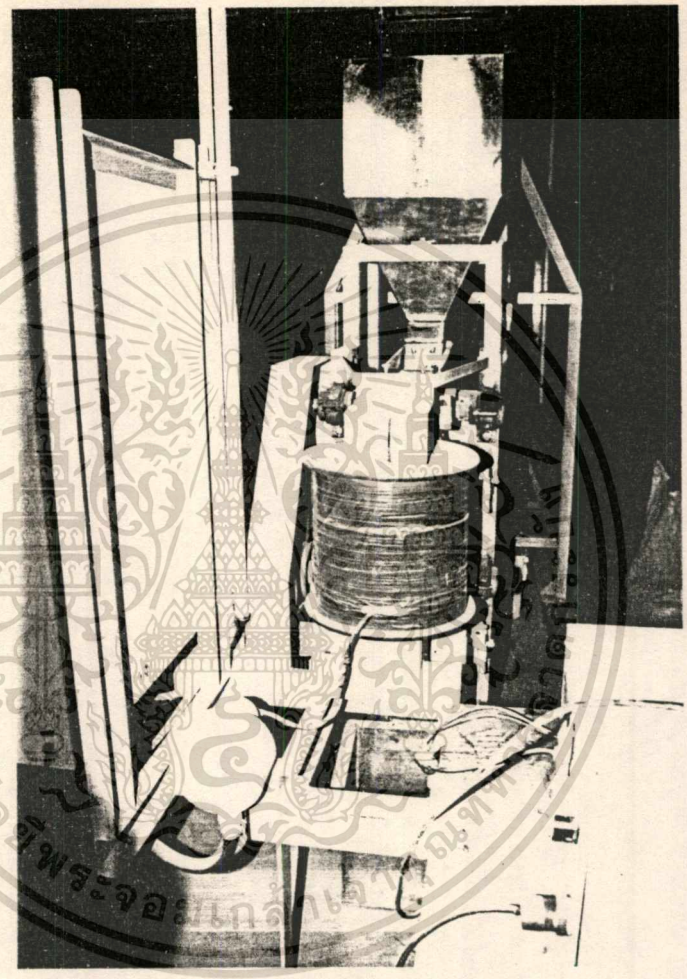


รูป ก.2 เครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก กำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (ด้านหน้า)



รูป ก.3 เครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็ก กำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.4 เครื่องแยกแร่ต้นแบบ เป็นเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงค่า Magnetic Susceptibility ของสารแม่เหล็กไดอา และพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า Magnetic Susceptibility ของสารแม่เหล็กไดอา และพารา

Magnetic susceptibilities of selected diamagnetic materials

Material	State[a]	Temperature (K)	Magnetic susceptibility (SI units)
Helium	Gas	273	-1.1×10^{-9}
Hydrogen	Gas	273	-2.2×10^{-9}
Nitrogen	Gas	273	-6.7×10^{-9}
Argon	Gas	273	-1.1×10^{-8}
Water	Liquid	273–373	-9.1×10^{-6}
Copper	Solid	293	-9.6×10^{-6}
Lead	Solid	290	-1.6×10^{-5}
Lead	Liquid	330	-1.1×10^{-5}
Gold	Solid	293	-3.5×10^{-5}
Gold	Liquid		-4.2×10^{-5}
Aluminum oxide	Solid	273	-1.8×10^{-5}
Bismuth	Solid	273	-1.7×10^{-4}

[a] All data are for 1 atm pressure and weak field strengths.

Magnetic susceptibilities of selected paramagnetic materials

Material	State[a]	Temperature (K)	Magnetic susceptibility (SI units)
Oxygen	Gas	293	1.9×10^{-6}
Oxygen	Liquid	90.1	3.5×10^{-3}
Oxygen	Liquid	70.8	4.1×10^{-3}
Oxygen	Solid	54.3	6.3×10^{-3}
Sodium	Solid	273	8.5×10^{-6}
Aluminum	Solid	273	2.1×10^{-5}
Platinum	Solid	293	2.8×10^{-4}
Molybdenum	Solid	298	1.2×10^{-4}
Molybdenum	Solid	64	1.4×10^{-4}
Molybdenum	Solid	20	2.0×10^{-4}
Cupric oxide	Solid	300–800	2.6×10^{-4}
Cupric oxide	Solid	120	1.6×10^{-4}
Gadolinium sulfate	Solid	293, obeys Curie's law	9.4×10^{-4}
Cobalt iodide	Solid	293, obeys Curie's law (50–300)	2.5×10^{-3}

[a] All data are for 1 atm pressure and weak field strengths.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การอบแร่ และการชั่งน้ำหนักแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการอบแห้ง

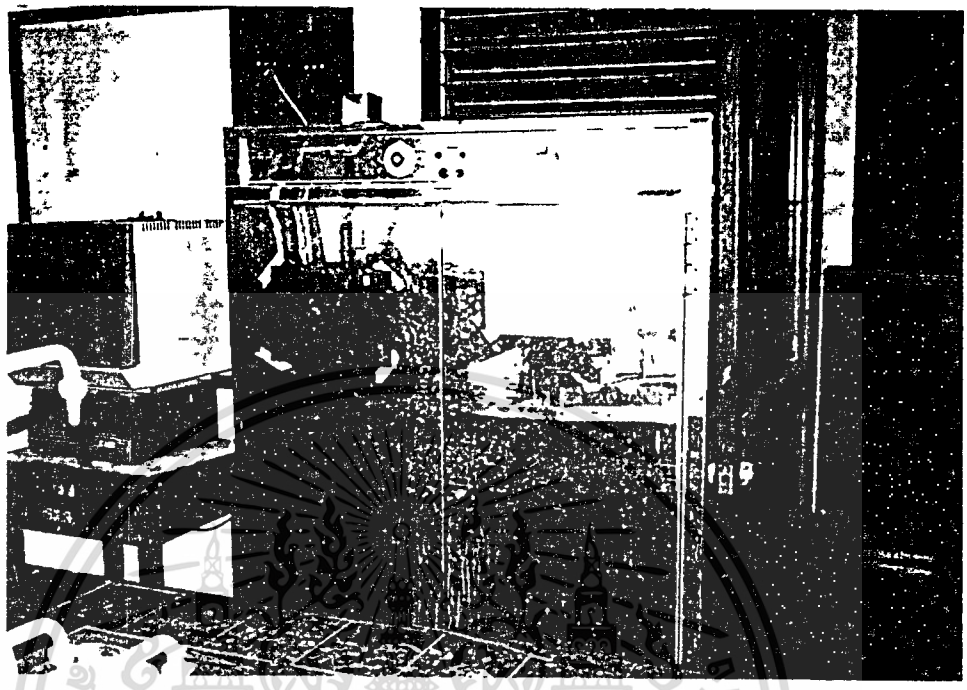
มีทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ

1. นำแร่ที่ผ่านการแยกโดยเครื่องแยกแร่แบบเปียก ใส่ในภาชนะทนความร้อน แสดงดังรูป ค.1
2. นำภาชนะเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป ค.2 และ ค.3
3. รอทิ้งไว้ ประมาณ 2 วัน
4. นำแร่ที่แห้งแล้วออกจากเตาอบ แสดงดังรูป ค. 4
5. นำไปชั่งหาน้ำหนักที่แยกได้ แสดงดังรูป ค. 5

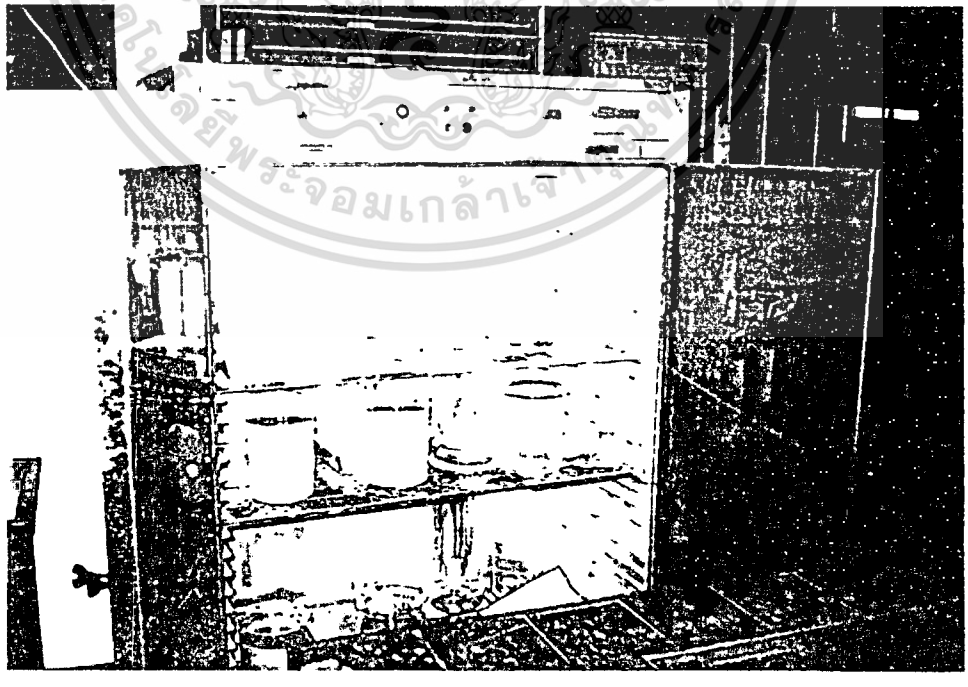


รูปที่ ค. 1 แสดงการนำแร่ที่แยกได้ ใส่ในภาชนะทนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

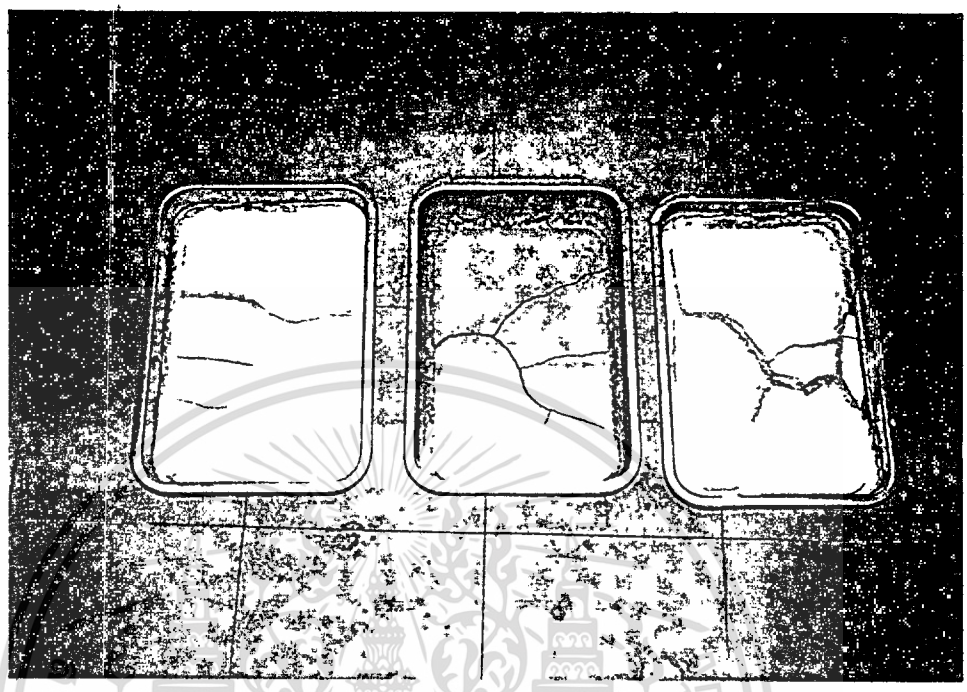


รูปที่ ค. 2 แสดงรูปของ เตาอบ

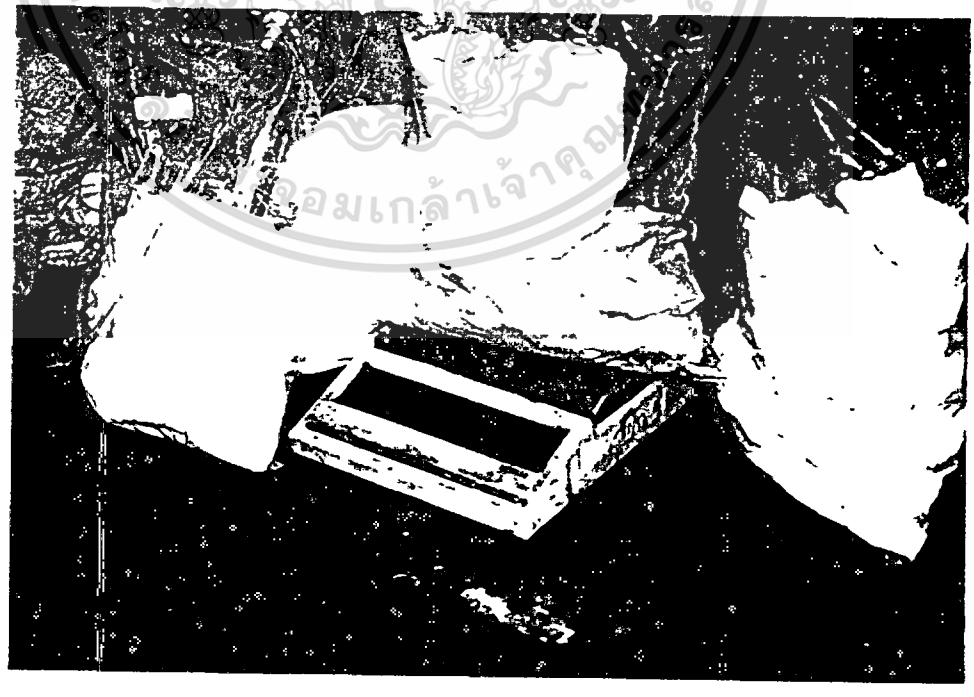


รูปที่ ค. 3 แสดงการนำแร่ที่แยกได้ ใส่ในเตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค. 4 แสดง แร่ที่ได้หลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 วัน



รูปที่ ค. 5 แสดงการนำแร่ที่ผ่านการอบ ชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ผลการวิเคราะห์ % Fe_2O_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ วว 0502/7032

ถึง ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง ลงวันที่ 7 เมษายน 2538 เลขรับ 2390 วันที่ 7 เมษายน 2538 ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 7 เมษายน 2538

กรมวิทยาศาสตร์บริการ DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE 27 เมษายน 2538

กอง การวิจัย
โทร. 2459159

รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย ตรา ฯลฯ	หมายเลข	Ferric oxide (Fe_2O_3), %
ตามที่ผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	
ดินขาว	เบอร์ 1 (ก่อนแยก)	SC.24	1.6

(นางชลัย ศรีสุข)
นักวิทยาศาสตร์ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

ที่ วว 0502/ 5991

ถึง ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 10 มีนาคม 2538 เลขรับ 1642 วันที่ 10 มีนาคม 2538

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2538

กรมวิทยาศาสตร์บริการ 10 มีนาคม 2538 DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

กอง การวิจัย

โทร. 2459159

30

รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง ตามที่ผู้ส่งเรียก	เครื่องหมาย ตรา ฯลฯ ที่ระบุตัวอย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	Ferric oxide, (Fe_2O_3) %
ดินขาว	No.1	SA.610	4.5
	No.2	SA.611	3.6
	No.3	SA.612	7.3
	No.4	SA.613	5.6
	No.5	SA.614	4.3
	No.6	SA.615	3.5
	No.7	SA.616	7.0
	No.8	SA.617	5.0
	No.9	SA.618	1.6
	No.10	SA.619	1.6
	No.11	SA.620	1.6
	No.12	SA.621	1.2
	No.13	SA.622	88.0

(นางชลัย ศรีสุข)

นักวิทยาศาษสตร์ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานนี้ - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดลอบ เท่านั้น

- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 พญาไท กรุงเทพฯ 10330 โทร. 251-4516, 254-0211 โทรสาร (662) 254-0211

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH EQUIPMENT CENTRE CHULALONGKORN UNIVERSITY
CHULALONGKORN SOI 62 PHAYA-THAI ROAD BANGKOK 10330 THAILAND TEL. 251-4516, 254-0211 FAX : (662) 254-0211

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง Fe_2O_3

เจ้าของตัวอย่าง นายทิวา เพ็ญสุข
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

วัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ Fe_2O_3

วิธีวิเคราะห์ x-ray fluorescence analysis

เครื่องมือวิเคราะห์ Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer
Model EDXRF XR-200

วันที่วิเคราะห์ 22 กรกฎาคม 2536

ผลการวิเคราะห์

NO.	Fe_2O_3
1-1	0.789 %
1-2	0.794 %
1-3	0.907 %
2-1	0.802 %
2-2	0.803 %
2-3	0.944 %

ผู้วิเคราะห์
(นางสาวสาหร่าย เล็กชะลุ่น)

หมายเหตุ ผลการทดสอบที่ได้รับนี้ เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำการทดสอบจาก
ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สล/สน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ วว 0901/1453

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
ถนนวิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

หนังสือแจ้งผลการวิเคราะห์

วันที่ 4 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2537

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้ดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ ตามคำร้องขอของ คุณทิวา เน็ญสุข ลงวันที่ 4 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2537 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ปรากฏผลดังนี้

ตัวอย่างเลขที่	ผลการวิเคราะห์ (%)
	% Fe_2O_3
1-1	5.48
2-1	5.54
3-1	4.88
1-2	10.35
2-2	8.52
3-2	6.53

ตัวอย่างเลขที่	ผลการวิเคราะห์ (%)
	% Fe_2O_3
1-3	43.48
2-3	37.83
3-3	50.44
1(A)	8.08
2(A)	8.60
3(A)	8.50

ลงชื่อ .....
(นายสุรพงษ์ พิมพ์จันทร์)
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ 7ว.

ลงชื่อ .....
(นายสมพร จองคำ)
ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์ ปฏิบัติราชการแทน
เลขาธิการสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารฉบับนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้ามนำผลการวิเคราะห์นี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านการโฆษณา

ตารางที่ ง.1 ความหมายของ หมายเลขปฏิบัติการในใบรายงานผลการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ (ใช้ในตารางที่ 6.1)

หมายเลขปฏิบัติการ	ความหมาย
1 - 1	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Non-Magnetic (ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น แบบเปียก)
1 - 2	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Middling (ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น แบบเปียก)
1 - 3	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Magnetic (ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น แบบเปียก)
2 - 1	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Non-Magnetic (ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ แบบเปียก)
2 - 2	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Middling (ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ แบบเปียก)
2 - 3	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Magnetic (ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ แบบเปียก)

ตารางที่ ง.2 ความหมายของ หมายเลขปฏิบัติการในใบรายงานผลการวิเคราะห์ของสำนักงานพลังงานปรมณูเพื่อสันติ (ใช้ในตารางที่ 6.2)

หมายเลขปฏิบัติการ	ความหมาย
1 (A)	% Fe_2O_3 ของแร่ก่อนแยก เมื่ออัตราการป้อน 21 วินาที
1 - 1	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Non-Magnetic เมื่ออัตราการป้อน 21 วินาที
2 (A)	% Fe_2O_3 ของแร่ก่อนแยก เมื่ออัตราการป้อน 50 วินาที
2 - 1	% Fe_2O_3 ของแร่หลังแยกในส่วนของ Non-Magnetic เมื่ออัตราการป้อน 50 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ความหมายของ หมายเลขปฏิบัติการในใบรายงานผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (ใช้ในตารางที่ 6.1 และ 6.2)

หมายเลขปฏิบัติการ	ความหมาย
SA.610	ผลของแร่ก่อนการแยก + 100 กรัม Feed Rate 21 s
SA.611	ผลของแร่หลังการแยก + 100 กรัม Feed Rate 21 s
SA.612	ผลของแร่ก่อนการแยก + 200 กรัม Feed Rate 21 s
SA.613	ผลของแร่หลังการแยก + 200 กรัม Feed Rate 21 s
SA.614	ผลของแร่ก่อนการแยก + 100 กรัม Feed Rate 50 s
SA.615	ผลของแร่หลังการแยก + 100 กรัม Feed Rate 50 s
SA.616	ผลของแร่ก่อนการแยก + 200 กรัม Feed Rate 50 s
SA.617	ผลของแร่หลังการแยก + 200 กรัม Feed Rate 50 s
SA.622	ผลของ % Fe_2O_3 ที่นำไปผสมกับแร่ดินขาวก่อนการแยก
SC.24	ผลของ % Fe_2O_3 ก่อนทำการแยก

หมายเหตุ ส่วนในหมายเลขปฏิบัติการ SA.618 - SA.621 เป็นผลอย่างอื่นที่ไม่เกี่ยวกับการทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

เป็นผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแยกแร่ทั้งสองแบบ ที่ได้พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการทดสอบของเครื่องแยกแร่แบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ

1.1 ผลการทดลอง หาประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแร่ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องแยกแร่ต้นแบบ

1.1.1 ชั่งน้ำหนักของแร่หลังการทดลอง

ตารางที่ จ.1 น้ำหนักของแร่หลังการทดลอง

		ปริมาณ (g)				
		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
		เครื่องแยกแร่ต้นแบบ				
Gap	rpm	ทราย	ilmenite	MAG-1	MAG-2	NON
2 มม.	88	150	350	369.8	28.8	96.5
		เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น				
2 มม.	88	150	350	196.8	143.2	173.2

1.1.2 ผลการนับเม็ดแร่ (Grain counting)

ตารางที่ จ.2 จำนวนเม็ดแร่ หลังการแยกแร่ของเครื่องแยกแร่ต้นแบบ

	MAG - 1 (%)		MAG - 2 (%)		NON (%)	
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	18	80	80	20	90	7
2	20	80	87	13	94	8
3	20	82	88	12	91	10
เฉลี่ย	19.33	80.66	85	15	91.66	8.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 จำนวนเม็ดแร่ของ เครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น

	MAG - 1 (%)		MAG - 2 (%)		NON (%)	
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	12	85	89	11	84	14
2	12	86	91	9	89	11
3	7	90	91	9	90	10
เฉลี่ย	10.33	87	90.33	9.66	87.66	11.66

1.2 <u>ผลการทดลองหาประสิทธิภาพในการแยก ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น เทียบกับ ความเร็วของลูกกลิ้ง</u>

1.2.1 ชั่งน้ำหนักของแร่หลังการทดลอง

ตารางที่ จ.4 น้ำหนักของแร่หลังการทดลอง

		ปริมาณ (g)				
		ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		
ทดลองครั้งที่	rpm	ทราย	ilmenite	MAG - 1	MAG - 2	NON
1	20	450	50	51.1	28.4	397.0
2	30	450	50	55.4	36.6	400.1
3	50	450	50	52.1	60.5	371.7
4	88	450	50	50.5	63.8	375.8
5	100	450	50	50.8	26.3	414.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 ผลการนับเม็ดแร่ (Grain counting)

ตารางที่ จ.5 แสดงผลการนับจำนวนเม็ดแร่ ของการทดลองหลังแยกแร่

	MAG - 1 (%)		MAG - 2 (%)		NON (%)	
	การทดลองครั้งที่ 1 (Roller speed = 20 rpm)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	16	84	95	5	100	-
2	12	88	97	3	99	1
3	12	88	98	2	100	-
เฉลี่ย	13.3	86.6	96.66	3.33	99.66	0.33
	การทดลองครั้งที่ 2 (Roller speed = 30 rpm)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	10	90	98	2	100	-
2	18	82	97	3	99	1
3	11	89	100	-	100	-
เฉลี่ย	13	87	98.33	1.66	99.66	0.33
	การทดลองครั้งที่ 3 (Roller speed = 50 rpm)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	5	95	98	2	100	-
2	7	93	99	1	100	-
3	10	90	98	2	100	-
เฉลี่ย	7.33	92.66	98.33	1.66	100	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 (ต่อ)

	MAG - 1 (%)		MAG - 2 (%)		NON (%)	
	การทดลองครั้งที่ 4 (Roller speed = 88 rpm)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	4	94	99	1	100	-
2	6	96	97	3	100	-
3	10	90	99	1	100	-
เฉลี่ย	6.66	93.66	98.33	1.66	100	-
	การทดลองครั้งที่ 5 (Roller speed = 100 rpm)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	12	88	97	3	100	-
2	20	80	95	5	100	-
3	17	83	100	-	100	-
เฉลี่ย	16.33	83.66	97.33	2.66	100	-

1.3 <u>ผลการทดลองหาประสิทธิภาพในการแยก ของเครื่องแยกแร่ที่ได้พัฒนาขึ้น เทียบกับเปอร์เซ็นต์ของผสม</u>

1.3.1 ชั่งน้ำหนักของแร่หลังการทดลอง

ตารางที่ จ.6 น้ำหนักของแร่หลังการทดลอง

	ปริมาณ (g)				
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		
ครั้งที่	ทราย	ilmenite	MAG - 1	MAG - 2	NON
1	475	25 (5%)	27.5	52.5	416.6
2	450	50 (10%)	52.8	41.6	408.2
3	350	150 (30%)	148.6	56.7	288.0
4	250	250 (50%)	244.8	41.4	193.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 ผลการนับเม็ดแร่ (Grain counting)

ตารางที่ จ.7 แสดงผลการนับจำนวนเม็ดแร่ ของการทดลองหลังแยกแร่

	MAG - 1 (%)		MAG - 2 (%)		NON (%)	
	การทดลองครั้งที่ 1 (เปอร์เซ็นต์ของแร่อิลเมไนต์ผสม = 5 %)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	10	90	99	1	100	-
2	12	88	100	-	100	-
3	12	88	99	1	100	-
เฉลี่ย	11.3	88.66	99.3	0.66	100	-
	การทดลองครั้งที่ 2 (เปอร์เซ็นต์ของแร่อิลเมไนต์ผสม = 10 %)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	13	87	97	3	98	2
2	8	92	100	-	100	-
3	10	90	95	5	100	-
เฉลี่ย	10.33	89.66	97.33	2.66	99.33	0.66
	การทดลองครั้งที่ 3 (เปอร์เซ็นต์ของแร่อิลเมไนต์ผสม = 30 %)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	7	93	97	3	100	-
2	13	87	99	1	100	-
3	15	85	97	3	100	-
เฉลี่ย	11.66	88.33	97.66	2.3	100	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 (ต่อ)

	MAG - 1 (%)		MAG - 2 (%)		NON (%)	
	การทดลองครั้งที่ 4 (เปอร์เซ็นต์ของแร่อิลเมไนต์ผสม = 50 %)					
นับครั้งที่	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite	ทราย	ilmenite
1	8	92	94	6	99	1
2	13	87	90	10	100	-
3	10	90	93	7	98	2
เฉลี่ย	10.33	92.33	92.33	7.66	99.00	1

ตารางที่ จ.8 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเมื่อ ความเร็วของลูกกลิ้งมีค่าต่างๆ กัน

ความเร็วลูกกลิ้ง (rpm)	เปอร์เซนต์ของทราย		ประสิทธิภาพในการดึงแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย
	ก่อนแยก	หลังแยก MAG - 1	
20	90	13.3	85.2 %
30	90	13	85.5 %
50	90	7.33	91.9 %
88	90	6.66	92.6 %
100	90	16.33	81.8 %

ตารางที่ จ.9 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเมื่อ เปอร์เซ็นต์ของผสมมีค่าต่างๆ กัน

เปอร์เซนต์ของแร่อิลเมไนต์ผสม	เปอร์เซนต์ของทราย		ประสิทธิภาพในการดึงแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย
	ก่อนแยก	หลังแยก MAG - 1	
5 %	95	11.3	88.11 %
10 %	90	10.33	88.52 %
30 %	70	11.66	83.34 %
50 %	50	10.33	79.34 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาประสิทธิภาพในการแยกแร่อิลเมไนต์ออกจากทราย ของเครื่องแยกแร่แบบแห้ง

ก่อนแยกแร่

% ทรายผสมก่อนแยก X %



ผลการทดลอง หลังแยกแร่

% ทรายผสมหลังแยก(MAG - 1) Y %

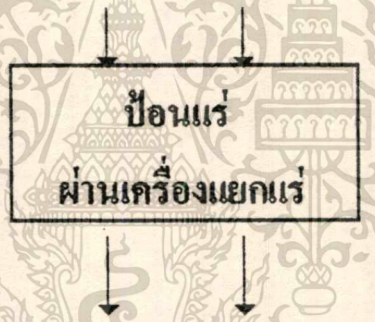
ประสิทธิภาพ $\frac{X - Y}{X} \times 100$ = ... %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาประสิทธิภาพในการแยก Fe_2O_3 ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ของเครื่องแยกแร่แบบเปียก

ก่อนแยกแร่

$\%\ Fe_2O_3$ = X %



ผลการทดลอง หลังแยกแร่

$\%\ Fe_2O_3$ (NON) = Y %

ประสิทธิภาพ $\frac{X - Y}{X} \times 100$ = ... %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

คุณสมบัติของแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิลเมไนต์ (Ilmenite)[12]

อิลเมไนต์ มาจากชื่อภูเขาอิลเมน(Ilmen)ในรัสเซีย ไกดีไลต์ $MgTiO_3$ มาจากชื่อของ Sir Archibalb Geikie เป็นนักธรณีชาวอังกฤษ ไพโรไนต์ $MnTiO_3$ มาจากภาษากรีกว่า Pyro หมายถึง fire และ Phane หมายถึง appear เป็นแร่ที่ปรากฏเป็นสีแดงราวกับไฟ

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ - **รูปผลึกระบบเฮกซะโกนาล** ผลึกมักจะเป็นแผ่นหนาหรือเป็นชั้นผลึกมักจะใกล้เคียงกับฮีมาไทต์ อาจพบเป็นแผ่นบางๆ ซ้อนๆ กัน ปกติจะมีเนื้อสมานแน่น หรือเป็นมวลเมล็ดเท่าเม็ดทราย **แข็ง 5.5-6 ถ.พ.4.7** ความวาวคล้ายโลหะหรือกึ่งโลหะสีดำแบบเหล็ก สีผงละเอียดดำหรือแดงน้ำตาล อาจจะมีคุณสมบัติแม่เหล็กได้สูงโดยไม่ต้องเผาให้ร้อน เนื้ออับแสง(Opaque)

คุณสมบัติทางเคมี - **สูตรเคมี $FeTiO_3$ มี Fe 36.8 % Ti 31.6 % และ O 31.6%** อัตราส่วนระหว่างไทเทเนียมกับเหล็กแปรเปลี่ยนได้มาก ถ้ามีเหล็กออกไซด์มากไป อาจจะเป็นเพราะมีฮีมาไทต์เป็นมลทิน แมกนีเซียม และแมงกานีสอาจพบในอิลเมไนต์ เนื่องจากสามารถแทนที่เหล็กในแร่นี้ได้

ลักษณะเด่นและวิธีตรวจ - มักพบเป็นผลึกแบนๆ มาก และบางครั้งอาจเห็นหกเหลี่ยมได้ อิลเมไนต์ต่างจากฮีมาไทต์ตรงสีผงละเอียด และต่างจากแมกนีไทต์ตรงที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กอ่อนกว่า แต่ในกรณีที่มีแมกนีไทต์เกิดซ้อนอยู่ด้วย ก็จำเป็นต้องตรวจดูคุณสมบัติทางเคมี โดยละลายผงป่นในกรดเกลือแล้วใส่ดีบุกจะได้ตะกอนสีม่วง อิลเมไนต์ไม่หลอมตัวถ้าเผาจะมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำเนิด - เกิดเป็นตัวเคลือบในลักษณะเป็นชั้นหรือรูปเลนส์ ในหินไนส์ และหินแปรชนิดผลึกอื่นๆ พบได้ในสายแร่หรือมวลสารที่เป็นผลการแยกตัวของหินหนืด มีส่วนสัมพันธ์กับ แมกนีไทต์ และเป็นแร่ไม่สำคัญในหินอัคนี ปนอยู่ในทรายร่วมกับ แมกนีไทต์ รูไทล์ เซอร์คอน และ โมนาไซต์ พบเสมอในแหล่งแร่ดีบุก

แหล่งกำเนิด - ในประเทศไทย ขนาดเล็กเท่าเม็ดทราย พบในแหล่งดีบุกทั่วๆ ไป เช่นที่ จ.กาญจนบุรี สีคล้ายดีบุกจนทำให้เข้าใจผิดกันมาก พวกทำเหมืองแร่ดีบุกมักเรียกว่าขี้แร่(อามัง) ชนิดที่เป็นแผ่นบางๆ ซ้อนๆ กัน พบในแหล่งพลอยที่ จันทบุรี และตราด

- ต่างประเทศพบมากที่ Kragero และแหล่งอื่นๆใน นอรเว ฟินแลนด์ ในลักษณะเป็นผลึกพบที่ Miask ในภูเขาอิลเมน รัสเซีย ในอินเดีย และบราซิล มีการทำเหมืองจากทรายชายฝั่งเป็นปริมาณมาก

ประโยชน์ - เป็นต้นกำเนิด ให้ไทเทเนียม สารประกอบไทเทเนียมออกไซด์ นำมาใช้เป็นแม่สีเป็นจำนวนมากแทนแม่สีเก่า ซึ่งเป็นสารประกอบตะกั่ว เนื่องจากมีคุณสมบัติดีพิเศษ สามารถเป็นวัตถุในการสร้างเครื่องบินทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้าง และเครื่องยนต์ อิลเมไนต์ไม่สามารถจะใช้เหมือนสินแร่เหล็กได้ เพราะถลุงยาก แต่ของผสมอิลเมไนต์ แมกนีไทต์ และอิลเมไนต์-ฮีมาไทต์ นำมาแยกก็จะได้ทั้งไทเทเนียมและเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินขาว (Kaolin)[13]

ดินขาวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า " เคโอลิน "(Kaolin) มีประวัติชื่อเดิมมาจากภาษาจีนว่า " กูหลิง "(Kauling) ซึ่งเป็นชื่อภูเขาลูกหนึ่งที่ค้นพบดินขาว อยู่ทางภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศจีน ชาวจีนได้นำเอาดินขาวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำภาชนะเครื่องปั้นดินเผานับเป็นเวลาหลายร้อยปีมาแล้ว และทำชื่อเสียงให้แก่ ประเทศจีนเป็นอันมาก

ดินขาวยังมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า " ไชนาเคลย์ "(China clay) และมีชื่อในทางแร่ว่า " แร่เคโอลิไนต์ " องค์ประกอบทางเคมี เป็นสารประกอบไฮดรัสอะลูมิเนียมซิลิเกต ประกอบด้วย SiO_2 46.5 % AL_2O_3 39.5 % และน้ำ 14 %

การกำเนิด - ดินขาว เกิดจากการสลายตัว หรือการผุพังของแร่ตระกูลอะลูมิเนียมซิลิเกตที่สำคัญคือ แร่เฟลด์สปาร์ แร่นี้พบอยู่ในหินเกรนิต หินไรโอไลต์ การสลายตัวของแร่แร่เฟลด์สปาร์จะทำให้โซเดียมโพแทสเซียม และแร่เจือปนอื่นๆ ถูกชะแยกออกไป เหลือแต่อะลูมินาซิลิเกตเกิดเป็นแหล่งดินขาวขึ้นมา

ลักษณะทางกายภาพ - ดินขาวมีลักษณะสีขาว ร่วน เมื่อเผาจะทนไฟ และหดตัวน้อยแม้จับเป็นก้อนแข็งแล้ว ดินขาวที่พบตามธรรมชาติ มิได้ประกอบด้วยดินขาวล้วนๆ ส่วนมากมักมีแร่ชนิดอื่นๆ ปะปนกันอยู่ ซึ่งการที่มีแร่ชนิดอื่นปะปนอยู่นั้นทำให้ดินขาวจากแหล่งต่างๆ มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี ความขาวสว่าง ความคม ความหยาบ ละเอียดของดินขาว เป็นต้น. แร่ที่พบปะปนกับดินขาว เกือบทุกแห่ง ได้แก่ ควอตว์ ทราย ไมกา เหล็กออกไซด์ ไททาเนียมออกไซด์ เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ เซรามิกส์ จะได้ผลิตภัณฑ์ เซรามิกส์ที่สีไม่ขาว ถ้าใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษก็จะทำให้ได้กระดาษไม่ขาว ดังนั้นก่อนที่จะนำดินขาวไปใช้จึงต้องทำการแต่งแร่ดินขาวก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิด - ในประเทศไทย พบแหล่งดินขาวมีอยู่ทั่วไป ทั้งทางภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ เช่น จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ อุตรดิตถ์ ระนอง สุราษฎร์ธานี นราธิวาส เป็นต้น.

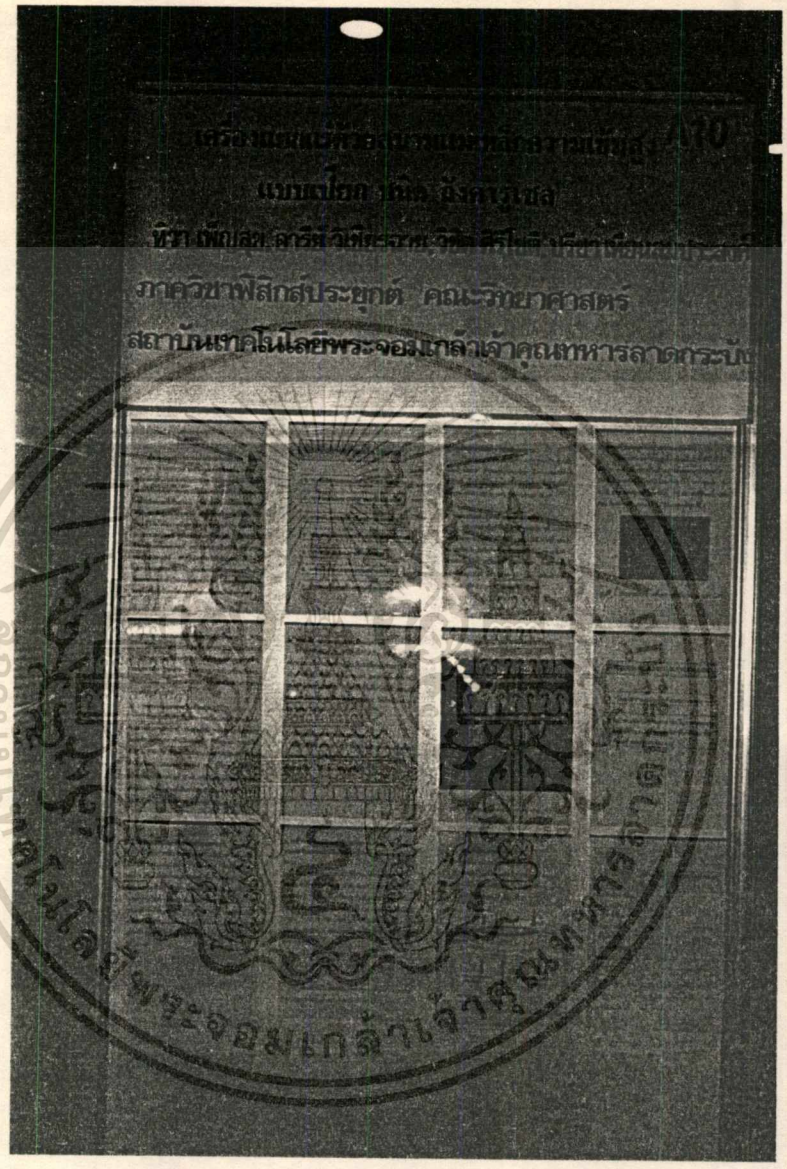
ประโยชน์ - ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมเซรามิกส์ อุตสาหกรรม-กระดาษ อุตสาหกรรมยาง เป็นต้น. ซึ่งในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ดินขาวมากที่สุด แต่ดินขาวที่ผลิตในประเทศ ยังมิได้รับการปรับปรุงให้มีคุณภาพมาตราฐานเหมาะแก่อุตสาหกรรมแต่ละประเภท ดังนั้นจึงยังต้องซื้อดินขาวที่มีคุณภาพดีจากต่างประเทศเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก.ซ

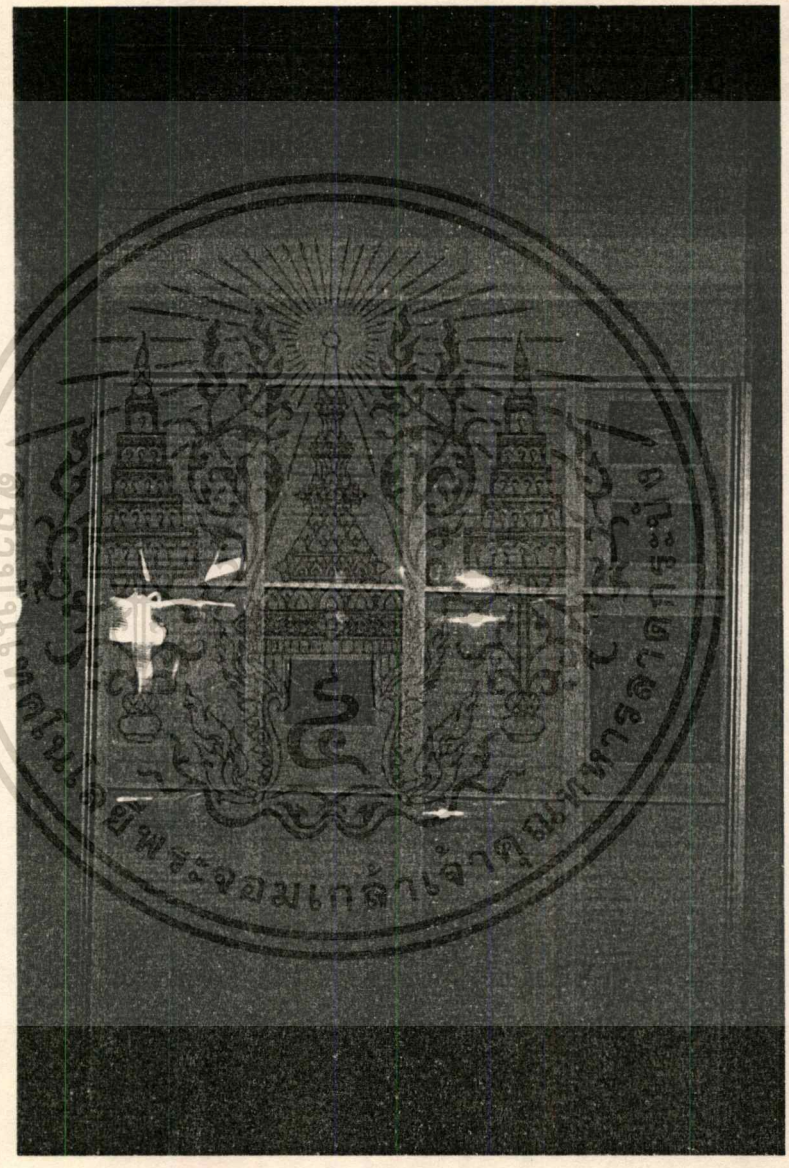
แสดงผลงาน การสร้างเครื่องแยกแร่ทั้งสอง
ในงาน การประชุมทางวิชาการวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20
ณ บางกอกคอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ โรงแรม
เซลทรัลพลาซา กรุงเทพฯ พ.ศ. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ช.1 แสดงผลงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ชนิดถังคารูเซล ในงาน วทท.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ช.2 แสดงผลงานของเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กความเข้มสูงแบบแห้ง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ ในงาน วทท.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก.ซ

แสดงคู่มือการใช้ Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท สยามอินเวอร์เตอร์ จำกัด
SIAM INVERTER CO., LTD.
48/66 บ้านพานถม พระนคร กรุงเทพฯ 10200
48/66 BANPHANTHOM PHRANAKORN BANGKOK 10200 THAILAND.
TEL. 281-7532, 282-0448 FAX. 281-1195



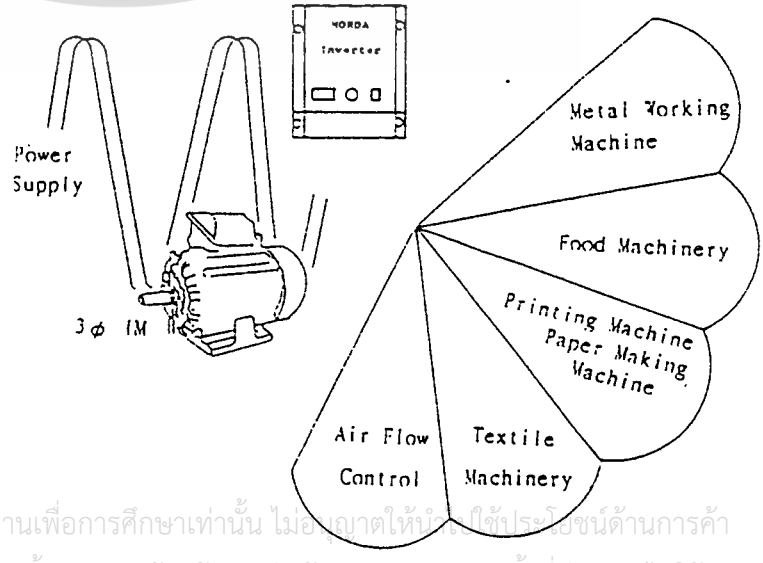
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Display by seven segment LED (3 figures)
- High stability frequency control
- High performance DC brake (option to dynamic brake)
- Complete protective functions
- Sub-frequency setting and jogging operation
- Single (up to 5 HP) or three phase input
- Motor control center compatibility
- Maximum frequency up to 120 HZ
- Maintenance free with the use of the induction motor
- Isolated control circuitry
- Two seperately terminated references
- Easy to interface with P.C and P.L.C
- Lower current and high torque with soft start
- Adjustable acceleration/deceleration
- Wide assortment of options is available in software form for installation

APPLICATION:

- Metal working machine
- Food machinery
- Printing machine
- Paper making machine
- Textile machinery
- Air flow control



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Specification

RM2-220V Series

SIMAX		001/2	001	002	003	005	7.5	010	015	020	025	030	040	050	060	075	100	150
Nominal motor rating (Max. HP)		1/2	1	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100	150
Continuous output capacity (Max. KVA)		1.1	1.7	3.1	4.2	6.5	9.2	12.6	17.6	23.3	28	34	44	55	67	84	115	160
Continuous output RMS current (Max. A)		3	4.5	8	11	17	24	33	46	61	75	90	115	145	175	220	295	405
input power supply and tolerations	Voltage	AC220V±10% , 200V±10%																
	Frequency	50/60Hz±3Hz																
Output voltage(Max.)		3φ 220V/200V																

RM2-380V/440V Series

		001	002	003	005	7.5	010	015	020	025	030	040	050	060	075	100	150
Nominal motor rating (Max. HP)		1	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100	150
Continuous output capacity (Max. KVA)		1.6	3.3	4.6	7	9.1	13	18	24	29	33	46	56	66	84	104	165
Continuous output RMS current (Max. A)		2	4	6	9	12	17	24	31	38	43	61	73	87	110	137	204
input power supply and tolerations	Voltage	AC380V±10% , 440V±10%															
	Frequency	50/60Hz±3Hz															
Output voltage(Max.)		3φ 380V/440V															

Frequency control range	1Hz~120Hz
Frequency accuracy	±0.5% for Max. frequency.
Control method	Sinusoidal PWM control.
Overload capacity (current)	150% for 60 seconds, inverse time characteristics.
Acceleration/Deceleration time	0.2—150 seconds(50/60Hz), 0.6—150 seconds(100/120Hz), independent adjustable
Voltage/Frequency ratio	32 Patterns selectable, 5.01—5.16(50/100Hz), 6.01—6.16(60/120Hz)
Analog frequency setting signal	DC 0—5V and 0—10V, DC 4—20mA
Indication(Seven-segement digital display, 3 Figures)	Output frequency, V/F Ratio, frequency setting signal, accel./decel. time, synchronous speed is indicated and first fault display by cause.
Inverter trip and error message	O.C.1:Overcurrent-accel. O.C.2:Overcurrent-const speed O.C.3:Overcurrent-decel. O.E.1:Overvoltage-accel O.E.2:Overvoltage-const. speed O.E.3:Overvoltage-decel O.L :Overload-motor O.L.1:Overload-inverter O.H :Inverter heatsink overheating. FR :Freerun LE :Power source undervoltage HE :Power source overvoltage P.O :Momentary power failure over 15ms C.P.U:Microprocessor error. cuO :Analog frequency setting signal error. --- :Forward/Reverse operation error.
Auxiliary Protective functions	Accel./Decel. stall prevention, short circuit for output terminal.
Speed setting	Main-frequency and subfrequency independent setting
jogging operation	Setting frequency is kept at 5Hz(50Hz)and 6Hz(60Hz)
Ambient condition	Place of installation:Indoors Altitue:Not more than 1000m above sea level. Ambient temperature:—10°C to 40°C Vibration:Less than 0.5G Relative humidity:90% RH or less(non-condensing atmosphere) Atmpophere:non-corrosive or non-explosive gases, nonsteams or nondusty. and don't install in direct rays of the sun.
Construction	Enclosed box type(noondust proof construction)
Cooling method	Self-cooling type(up to 5KVA),Forced air-Cooling type(over 7.5 KVA)

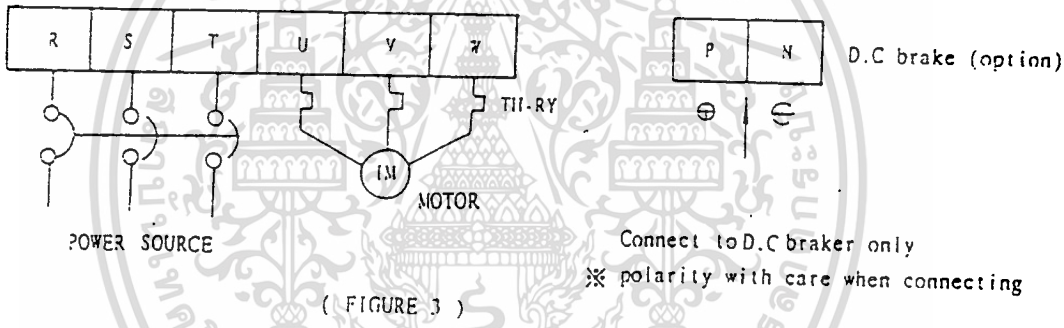
เอกสารทุกประเภทที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TERMINALS

The following figures and descriptions are given to help the user decide what inputs and control circuit to incorporate into the overall system and identify the appropriate connecting points of terminals.

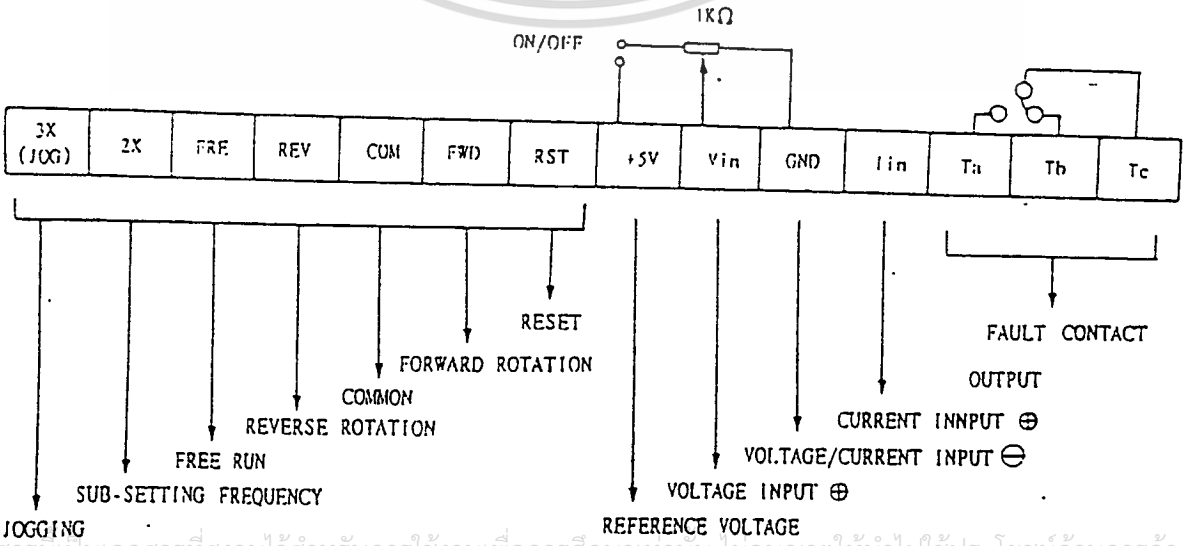
6.1 Main circuit and Control circuit (Function of connecting points of terminals refer to table 1)

(1) Main circuit : Refer to figure 3



(FIGURE 3)

(2) Control circuit : Refer to figure 4



(Figure 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1 DESCRIPTION OF MAIN CIRCUIT AND CONTROL CIRCUIT

	MARK	FUNCTION	D E S C R I P T I O N
MAIN CIRCUIT	R.S.T	Power Source	3 Phase power source (1 Phase Power Supply Connect to R.S.UP to 5HP)
	P.N.	D.C. brake Terminal	dynamic brake (option)
CONTROL CIRCUIT	3X(JOG)	Jogging	3x-COM connected, setting frequency is kept at 5/6 Hz
	2X	Sub-setting Frequency	2x-COM connected, sub-frequency is setted by VR4
	FRE	Free Run	FRE-COM connected, free run operation
	REV	Reverse Rotation	REV-COM connected, reverse rotation
	COM	Common	WHEN DELIVERY FWD-COM has connected
	FWD	Forward Rotation	FWD-COM connected, forward rotation
	RST	RESET	RST-COM connected, INVERTER reset
	+5V	Reference Voltage	Reference voltage +5V Max. output current 10 mA
	Vin	Voltage Input +	Analog frequency setting signal DC 0 ~ 5V or DC 0 ~ 10V
	GND	Voltage / Current Input −	Ground
	Iin	Current Input +	Iin-GND DC 4 ~ 20 mA
	Ta-Tb-Tc	Fault Contact Output	Normal running Tb-Tc:close Ta-Tc:open Fault operation Tb-Tc:open Ta-Tc:close Contact Capacity AC 120V 5A

NOTE : ANALOG CONTROL SIGNAL PRIVILEGE : FRE > 3X > 2X > Vin or Iin

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 5 SYSTEM WIRING DIAGRAM

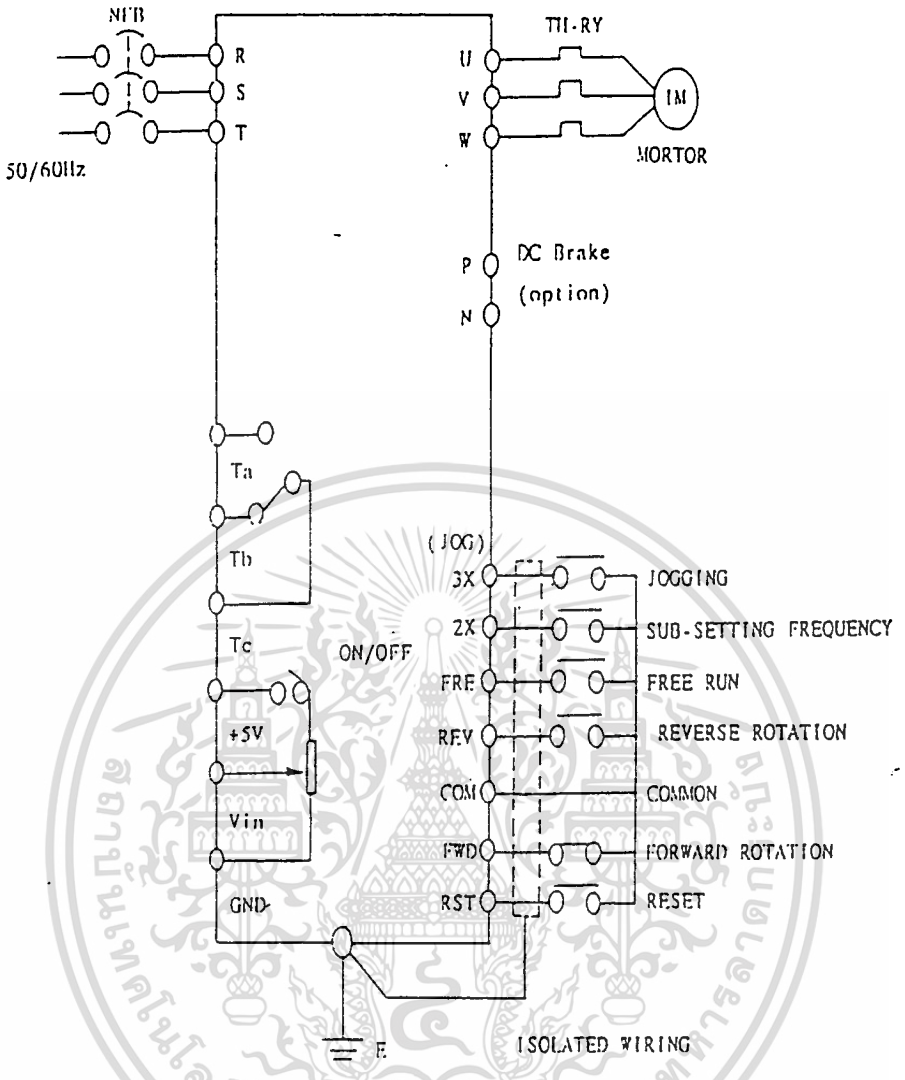


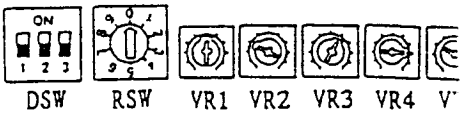
TABLE 2 RECOMMENDED WIRING SIZE

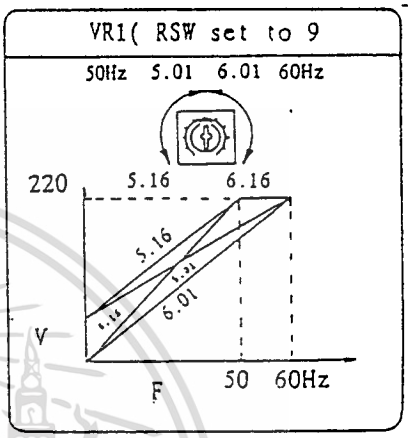
(HP)	RM2 220V SERIES(mm^2)			RM2 380/440V SERIES(mm^2)		
	MAIN CIRCUIT	CONTROL CIRCUIT	GROUNDING WIRE	MAIN CIRCUIT	CONTROL CIRCUIT	GROUNDING WIRE
1	2	0.75	3.5	2	0.75	3.5
2	2			2		
3	2			2		
5	3.5			3.5		
7.5	5.5			3.5		
10	8			5.5		
15	14			8		
20	22			8		
25	30			14		
30	38			22		
40	60			30		
50	80			30		
60	100			38		
75	100			60		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

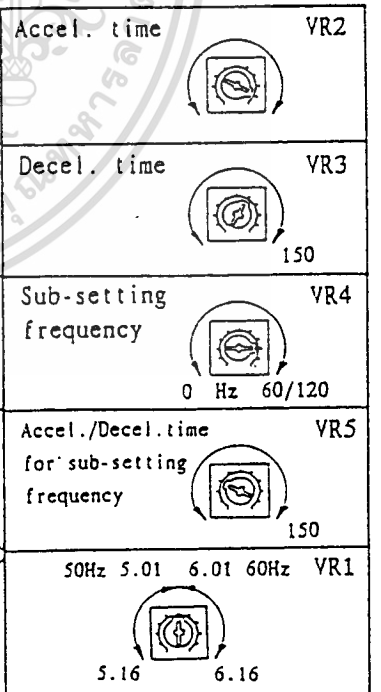
ADJUSTMENT

DSW	Setting	Function
ON 1 2 3	Input Signal	0 - 5V DC
ON 1 2 3		0 - 10V DC
ON 1 2 3		4 - 20mA DC
ON 1 2 3	Output Signal	1 - 60Hz
ON 1 2 3		1 - 120Hz





RSW	Display Funtion
0	Output frequency : 0 - 60/120(Hz)
1	Accel. time 0.2(0.6/120Hz) - 150(sec)
2	Decel. time : 0.2(0.6/120Hz) - 150(sec)
3	Sub-setting frequency : 0-60/120(Hz)
4	Accel./Decel.time for sub-setting frequency : 0.2(0.6/120Hz) - 150(sec)
5	Rotation of 4-poles motor: 0-180/360(x1/10 rpm)
6	Rotation of 6-poles motor: 0-120/240(x1/10 rpm)
7	Rotation of 2-poles motor: 0-360/720(x1/10 rpm)
8	Input signal level: 1.(DSW2 OFF) 0-5.0(V) 2.(DSW2 ON) 0-20.0(mA)
9	V/F Mode 5.01-5.16 6.01-6.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.0 INDICATING CONDITIONS/DISPLAY

INDICATING CONDITIONS					
RSW	D S W	FWD COM REV	DISPLAY	ADJ	CONTENT
0		CLOSE	0 - 60/120	—	FREQUENCY
			0 - 50/60		
		OPEN	— — —	—	NO COMMAND FOR FWD/REV ROTATION
			LE	—	POWER SOURCE UNDER VOLTAGE
	2→ON	OPEN	cuO	—	LESS THAN 2mA OF CURRENT INPUT
1		—	0.2 - 150	VR2	ACCELERATION TIME
2		—	0.2 - 150	VR3	DECELERATION TIME
3			0 - 60/120	VR4	SUB-SETTING FREQUENCY
4			0.2 - 150	VR5	ACCELERATION/DECELERATION TIME SUB-SETTING FREQUENCY
5		CLOSE	0 -180/360	—	ROTATION OF 4-POLES MOTOR
		OPEN	4P.O.		NO COMMAND FOR FWD/REV ROTATION
			4P		POWER SOURCE UNDER VOLTAGE
	2→ON	CLOSE	cuO		LESS THAN 2mA OF CURRENT INPUT
6		CLOSE	0 -120/240	—	ROTATION OF 6-POLES MOTOR
		OPEN	6P.O.		NO COMMAND FOR FWD/REV ROTATION
			6P		POWER SOURCE UNDER VOLTAGE
	2→ON	CLOSE	cuO		LESS THAN 2mA OF CURRENT INPUT
7		CLOSE	0 -360/720	—	ROTATION OF 2-POLES MOTOR
		OPEN	2P.O.		NO COMMAND FOR FWD/REV ROTATION
			2P		POWER SOURCE UNDER VOLTAGE
	2→ON	CLOSE	cuO		LESS THAN 2mA OF CURRENT INPUT
8	2→OFF	—	0 - 5.0	—	VOLTAGE SIGNAL INPUT LEVEL
	2→ON	—	0 - 20.0		CURRENT SIGNAL INPUT LEVEL
9		—	5.01-6.16	VR1	V/F MODE
FAULT DISPLAY					PROTECTIVE FUNCTIONS
O.C.1,O.C.2,O.C.3					OVER CURRENT
O.E.1,O.E.2,O.E.3					OVER VOLATAGE
O.L O.L.1					OVERLOAD
O.H					INVERTER HEATSINK OVERHEATING
FR					FREE RUN
LE					POWER SOURCE UNDER VOLTAGE
HE					POWER SOURCE OVER VOLTAGE
C.P.U					MICROPROCESSOR ERROR
cuO					ANALOG FREQUENCY SETTING SIGNAL ERROR
— — —					FORWARD/REVERSE OPERATION ERROR
P.O					MOMENTARY POWER FAILURE OVER 15ms

NOTE : Display value multiplied by two equals real voltage level when DSW-1 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAULT DISPLAY AND TROUBLE SHOOTING

M O R D A inverter - RM2 series equips with the complete protective functions.

If fault display is actuated, inherent device functions are missed by trouble occurrence.

Correctly comprehend the probable cause by referring the below listed checking methods, and then apply appropriate countermeasures.

DISPLAY OR PROTECTION	CONDITIONS	PROBABLE CAUSES AND TROUBLE SHOOTING
(1) O.C.1 (2) O.C.2 (3) O.C.3	OVER CURRENT (1) ACCEL. (2) CONST.SPEED (3) DECEL.	1.Inverter capacity does not match the motor rating. 2.Accel. or decel. time is too short. 3.Inverter fault. (accel. and decel. time is adjusted by VR3 and VR4 respectively.)
(1) O.E.1 (2) O.E.2 (3) O.E.3	OVER VOLTAGE (1) ACCEL. (2) CONST.SPEED (3) DECEL.	1.Power supply voltage is too high. 2.Decelerating time is too short. Decelerating time is adjusted by VR3. 3.Installing dynamic brake.
(1) O.L. (2) O.L.1	OVERLOAD (1) MOTOR. (2) INVERTER	Overload capacity is approximately 150% load of current for 1 minute. 1.Adjust boost(V/F) to match your motor if trip at low speed. 2.Check the current of motor, change a bigger capacity inverter if over rated current.
O.H.	INVERTER HEAT SINK OVERHEATING	1.Cleaning the heat sink. 2.Check cooling fan is still working. 3.Change a cool place to operate, if the ambient temperature is too high.
LE	POWER SOURCE UNDER VOLATAGE	Power supply voltage is unsufficient. Check the input voltage, if over the rated voltage.
HE	POWER SOURCE OVER VOLATAGE	Power supply voltage is too high. Check the input voltage, if over the rated voltage.
C.P.U.	MICROPROCESSOR ERROR	RESET the inverter, or check grounding
— — —	FORWARD/REVERSE OPERATION ERROR	Correct the setting
cuO		Analog frequency setting signal error. Less than 2mA of current input.
P.O.	MOMENTARY POWER FAILURE OVER 15 ms	Then cheok and correct the power supply RESET the inverter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฌ.

แสดงคู่มือการใช้ตัวตรวจวัดความเร็วรอบ

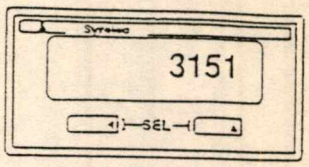
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATEMETER

315
Dimensions 36 x 72 mm

Usine et siège social : BOURGUEBUS
N° Tel. : (33) 31-85-80-00
Direction Commercial et Service Export
BP 144
77315 MARNE LA VALLEE
Cedex 02
N° Tél. : (33) 60-17-53-53

Syrelec



SPECIFICATIONS :

Power supply Un ..... 3 VDC lithium battery - interchangeable - 5 years life depending on the applications.
Display ..... 5 digits - liquid crystal - height : 10 mm
Inputs ..... 1 slow counting input (terminals 1 and 2) with voltage free contact
Minimum time for closed contact : 10 ms
Minimum time for open contact : 20 ms
Frequency 20 Hz maximum with de-bounce
1 high speed counting input (terminals 1 and 3)
by NPN transistor 10KHz maximum or
by PNP transistor 1.2 KHz maximum.

Note : if scale factor > 1, max. frequency = $\frac{10KHz}{coef.}$

high level : from 1 to 15VDC
low level : from 0 to 0,7VDC
Input impedance ..... Slow counting : 100 KΩ / + 3VDC
High speed counting : 27 KΩ / + 3VDC
Measurement ..... Type $\frac{1}{Tau}$
Sample time : 0,7s
Limit time of measure : 10s
Scale factor ..... 0,001 to 9999.
Decimal point ..... 4 programmable positions
Rate ..... x1 or x10
Time base ..... Crystal controlled

Note : A power supply must be provided for a sensor

PRESENTATION AND ENVIRONMENT :

Material ..... CYCOLAC X 17
Protection class ..... Nema 4 x
Mounting ..... Clips with screw
Connection ..... 5 screw terminals on back side
Operating temperature ..... 0°C + 55°C
Storage temperature ..... 0°C to + 70°C

PROGRAM MODE :

- To enter the program mode, a connection must be made between terminals 1 and 5.
- To select the programming :
  - press and hold the ◄ key,
  - press the ▲ key to select the steps (scale factor, decimal point, rate x1 or x10).

. Rate scale factor programming

NOTE : the scale factor must be different from 0.

Rate scale factor calculating

$$Coef. = \frac{Rpx \times Dec.}{n}$$

Rpx : multiplicator
Rpx = 1 → items/second
Rpx = 60 → items/minute
Rpx = 3600 → items/hour

Dec. : decimal point factor determined by the desired decimal point position.

Decimal point position	Value
XXXX	1
XXX.X	10
XX.XX	100
X.XXX	1000

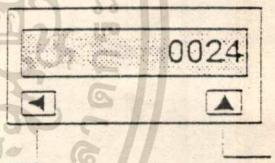
n : is the number of pulses per item from the sensor.

Example

Pulley rotation in rev. / min.
A sensor gives 250 pulses by revolution

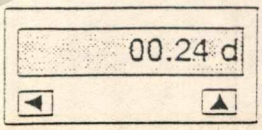
$$Coef. = \frac{60 \times 1}{250} = 0,24$$

. Scale factor programming



Digit selection
Digit increment

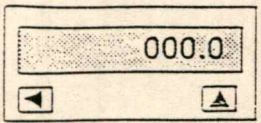
After incrementating the selected digits still press ◄ till the apparition "d" on the right of the display, then press ▲ to select the position of t decimal point.



Decimal point movement

- press the ◄ key, and then the ▲ key to reach next screen.

. Programming of decimal point assigned to display

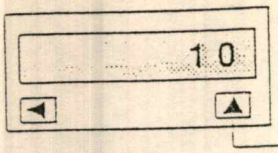


Decimal point movement

- press the ◄ key, and then the ▲ key to reach next screen.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลง ทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rate x1 or rate x10

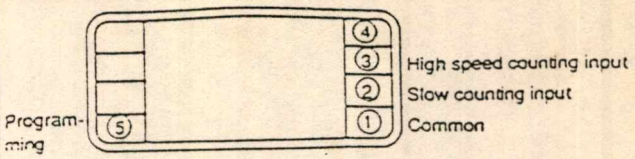


Selecting x10 will add a zero on the far right of the display and does not change the decimal point position.

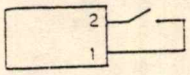
. Program validation

To exit the program mode, open the connection between terminals 1 and 5. Display of "R" on the left.

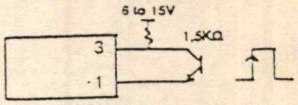
CONNECTION DRAWINGS :



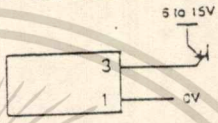
Slow counting
free contact closure



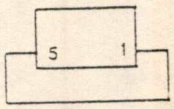
High speed counting
NPN transistor or voltage level



High speed counting
PNP transistor



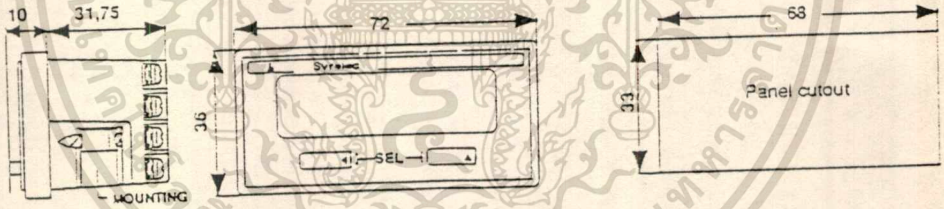
Front reset enable



USER PRECAUTIONS :

To improve the battery life we recommand to use a high unput voltage level in the limits indicated

DIMENSIONS :



09/01/92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายทิวา เพ็ญสุข
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2511
สถานที่เกิด	อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	ศึกษาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2532

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้