



บทที่ 4

การแยกแร่เฟลด์สปาร์ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคาร์บูเซล

การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก จะใช้คุณสมบัติที่แตกต่างทางด้านการติดแม่เหล็กของแร่ชนิดต่าง ๆ ทำการแยกแร่มีค่าที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่มลทินที่ไม่ติดแม่เหล็ก หรือในทางกลับกัน อาจจะทำแม่เหล็กที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่มีค่าที่ไม่ติดแม่เหล็กก็ได้ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กเป็นเครื่องแยกแร่ที่รู้จักใช้กันมาเกือบ 200 ปีแล้ว ซึ่งนอกจากจะนำเอาไปใช้แยกสินแร่เหล็ก (Iron Ore) แล้ว ยังนำเอาไปใช้ในการแยกเศษโลหะเหล็ก (Tramp Iron) ออกมาได้ ก่อนปี ค.ศ. 1901 มีเครื่องแยกแร่แม่เหล็กซึ่งสร้างขึ้นมาใช้ประโยชน์อยู่หลายแบบ^(72,73,74) และบางแบบก็ยังมีใช้อย่างกว้างขวาง จนกระทั่งทุกวันนี้ แต่เมื่อ 80 กว่าปีที่ผ่านมาได้มีการปรับปรุง พัฒนาการออกแบบเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้ ซึ่งสามารถนำเอาไปใช้แยกแร่ได้หลายชนิด⁽⁷⁵⁾ ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดต่าง ๆ สามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิงอื่น ๆ ได้^(76,77,78)

4.1 กลุ่มของแร่ตามคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก

แร่ชนิดต่าง ๆ นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็ก

คือ

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

แร่ไม่ติดแม่เหล็กนั้น ความจริงหากมันอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจะถูกผลักออกไปจากสนามแม่เหล็กด้วยซ้ำ (ดูหัวข้อที่ 4.2.1) แต่ที่ว่าแรงผลักนี้จะอ่อนมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ โดยมันจะถูกผลักออกไปจากบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ไปยังบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่า แต่เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นนั้นน้อยมากจนไม่อาจใช้คุณสมบัติในการผลักของแร่ชนิดนี้มาใช้ในการแยกแร่ได้ยกเว้นในกรณีพิเศษเท่านั้น ตัวอย่างแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กได้แก่ แร่ควออตซ์

(Quartz) และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

ส่วนแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น จะถูกดึงดูดเข้าสู่สนามแม่เหล็กไปตามเส้นแรงแม่เหล็กเข้าสู่บริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่า ด้วยแรงอย่างอ่อน ดังนั้นจึงสามารถแยกแร่เหล่านี้ออกมาได้ ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูง (High Intensity Magnetic Separator) ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนได้แก่ แร้อิลเมไนต์ (Ilmenite), ฮีมาไทต์ (Haematite), วุลแฟรมไต์ (Wolframite), โมนาไซด์ (Monazite), ซิเดอไรต์ (Siderite), ไพร์ไรท์ (Pyrrhotite), โครไมต์ (Chromite), แมงกานีส (Manganese Ore) ฯลฯ

มีธาตุบางชนิดที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนเช่น นิกเกิล (Ni), โคบอลต์ (Co), แมงกานีส (Mn), โครเมียม (Cr), ซีเรียม (Ce), ไทเทเนียม (Ti), ออกซิเจน (O) และธาตุโลหะกลุ่มแพลทินัม⁽⁷⁰⁾

ส่วนแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนั้น จัดว่าเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนชนิดพิเศษ กล่าวคือมันสามารถติดแม่เหล็กได้แรงกว่า เนื่องจากมันมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) สูงกว่า และมันจะคงความเป็นแม่เหล็กหลังจากที่เอาสนามแม่เหล็กออกไปแล้ว (Remanence) (ดูหัวข้อที่ 4.2.1) ดังนั้นจึงสามารถแยกมันออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มต่ำ (Low Intensity Magnetic Separator) ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนี้ ได้แก่ แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) และแร่ซิเดอไรต์ (Siderite) ที่ผ่านการย่างเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแม่เหล็กมาแล้ว (Magnetic Roasting) ซึ่งทำให้มันกลายเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงได้ (ปกติแร่ซิเดอไรต์เป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน) ส่วนโลหะเหล็กก็จัดว่าเป็นพวกที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง

คุณสมบัติการดูดติดแม่เหล็กของแร่อาจเปลี่ยนแปลงได้ หากมีมลทินที่ติดแม่เหล็กอื่น ๆ ปนอยู่ในแร่เหล่านั้น มลทินที่สำคัญได้แก่ เหล็ก (Fe) และไนโอเบียม (Nb) ยกตัวอย่างเช่น แร่การ์เนต (Garnet) และแร่สเฟาเลอไรต์ (Sphalerite) จะมีคุณสมบัติในการติดแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเหล็ก ซึ่งเจือปนในแร่ทั้งสองชนิดนี้ ส่วนแร่ดีบุกชนิดแคสซิเทอไรต์ (Cassiterite) และแร่รูไทล์ (Rutile) นั้น จะมีคุณสมบัติในการติดแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณเจือปนของธาตุไนโอเบียม ทำให้แร่เหล่านี้สามารถติดแม่เหล็กได้เช่นกัน

ภาคผนวก ญ. แสดงการแบ่งแร่ออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้ว และได้แสดงให้เห็นค่าสัมพัทธ์ของการติดแม่เหล็ก (Relative Attractability)

4.2 ทฤษฎีและกลไกในการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก (89, 78)

การแยกแร่ติดแม่เหล็กเป็นกระบวนการแยกแร่ทางฟิสิกส์หรือกายภาพ ที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่อิสระ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อเม็ดแร่อิสระนั้น ซึ่งได้แก่

- 1) แรงดึงดูดแม่เหล็ก (Tractive Magnetic Force)
- 2) แรงต่อต้าน (Competing Force) ซึ่งได้แก่ : แรงโน้มถ่วงโลก (Gravity Force), แรงเหวี่ยง (Centrifugal Force), แรงเสียดทาน (Frictional Force), แรงอุทกจลน์ (Hydrodynamic Force), แรงเฉื่อย (Inertial Force) เป็นต้น⁽⁷⁹⁾
- 3) แรงระหว่างเม็ดแร่ (Interparticle Force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูด หรือแรงผลักระหว่างเม็ดแร่ก็ได้

แรงดึงดูดแม่เหล็กและแรงต่อต้าน มีแนวโน้มที่จะช่วยให้เกิดการแยกระหว่างแร่ได้ดีขึ้น ในขณะที่แรงระหว่างเม็ดแร่มีแนวโน้มที่จะลดประสิทธิภาพของการแยก ดังนั้นแรงทั้ง 3 ดังกล่าวข้างต้นจะเป็นตัวตัดสินว่าการแยกแร่ที่เกิดขึ้นหรือไม่ แรงที่เกิดขึ้นเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแร่ป้อนและลักษณะของเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ธรรมชาติของแร่ป้อนนั้นจะรวมไปถึงการกระจายของขนาดแร่ (Size Distribution), ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) หรือคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของแร่ซึ่งอาจจะมีผลต่อแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น, ลักษณะของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กจะรวมไปถึงการออกแบบและตัวแปรอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มของสนามแม่เหล็ก และอัตราการป้อนแร่

4.2.1 การเป็นแม่เหล็กของวัสดุ (Magnetisation of Material)⁽⁸⁰⁾

เมื่อวัสดุวางตัวอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก (Applied Magnetic Field) ซึ่งในที่นี้จะแทนด้วย H ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux Density) หรือความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Induction) ในที่นี้จะแทนด้วย B ของวัสดุนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$B = H + \psi \quad \dots(4.1)$$

โดยที่ ψ คือ ความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่แท้จริง (Intrinsic Magnetic Induction)

ปกติแล้วมักจะใช้ ความเข้มของการเป็นแม่เหล็ก (Intensity of Magnetisation) ซึ่งเรียกง่าย ๆ ว่า การเป็นแม่เหล็ก (Magnetisation) ซึ่งแทนค่าด้วย J มากกว่าการใช้ ψ โดยความสัมพันธ์ระหว่าง ψ และ J ในหน่วยระบบอีเอ็มยู (emu System) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\psi = 4\pi J \quad \dots(4.2)$$

ดังนั้นสมการ (4.1) สามารถจะเขียนในรูปแบบที่นิยมทั่วไปได้เป็น

$$B = H + 4\pi J \quad \dots(4.3)$$

การเป็นแม่เหล็ก (J) ของวัสดุ อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่ามันคือโมเมนต์แม่เหล็ก 2 ขั้วต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น (Magnetic Dipole Moment per Unit Volume of Material) ซึ่งในหน่วย อีเอ็มยู (emu) B นั้นจะมีหน่วยเป็น เกาส์ (Gauss) ในขณะที่ H นั้นแสดงหน่วยเป็นเออสเต็ด (Oersted) จะเห็นว่าจากสมการ (4.1) และ (4.3) หน่วยของ H และของ B นั้นเป็นหน่วยเดียวกันนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อที่จะแสดงความแตกต่างจะเรียกหน่วยของ H และ B ให้ต่างกัน ซึ่งจะทำให้ทราบว่ามันเป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) หรือว่ามันเป็นความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (B) จะไม่ได้สับสน ปกติในอากาศนี้ค่าของ ψ หรือ $4\pi J$ นี้จะมีค่าน้อยจนทำให้ B มีค่าเท่ากับ H และเพื่อความสะดวก ความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศมักถูกเรียกว่าเป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยมักไม่ระบุว่ามันเป็นความเข้มของสนาม H หรือความเข้มของสนาม B แต่ถ้าหากว่าเป็นสนามแม่เหล็กภายในวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในวัสดุที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Material) แล้ว ควรจะต้องระบุให้ชัดเจนว่ามันเป็นความเข้มของสนาม H หรือความเข้มของสนาม B

ส่วนโมเมนต์แม่เหล็กสองขั้ว (Magnetic Dipole Moment) ซึ่งเกิดขึ้นในที่นี้สามารถกล่าวได้ว่า เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในลักษณะเป็นวงจรรอบนิวเคลียส (Orbital Motion) และในลักษณะหมุนควง (Spin) ภายในอะตอมซึ่งประกอบเป็นวัสดุนั้น ปกติเพื่อความสะดวกมักจะให้มันมีหน่วยเป็น อีเอ็มยู (emu) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโมเมนต์แม่เหล็กระบบ อีเอ็มยู โดย 1 อีเอ็มยูของโมเมนต์แม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 1 เออร์ก/เออสเต็ด (Erg/Oersted) ดังนั้น J สามารถแสดงหน่วยเป็น อีเอ็มยู/เซ็นติเมตร³ (emu/Cm³)

มีอีกปริมาณหนึ่ง ซึ่งมักจะพบในเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของแม่เหล็กก็คือ การเป็นแม่เหล็กจำเพาะ (Specific Magnetisation) ซึ่งแทนค่าด้วย τ โดยมีนิยามดังนี้

$$\tau = J/\rho \quad \dots(4.4)$$

ρ เป็นความหนาแน่นของวัสดุมีหน่วยเป็น กรัม/ซม.³ (Gram/Cm³,) ซึ่ง จะเห็นว่า τ มีหน่วยเป็น อีเอ็มยู/กรัม (emu/Gram, emu/g) ซึ่งมักแสดงค่าเป็นโมเมนต์แม่เหล็กต่อหน่วยมวลอัตราส่วนระหว่าง J และ H ซึ่งจะไม่มิตหน่วย (Dimensionless) จะเรียกว่ามันเป็นความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ซึ่งแทนด้วย k และ นิยามมันว่า

$$k = J/H \quad \dots(4.5)$$

ในบางครั้งมันจะสะดวกมากกว่าที่จะใช้ ค่าความไวต่ออำนาจแม่เหล็กเชิงมวล (Mass Susceptibility) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความไวต่ออำนาจแม่เหล็กจำเพาะ (Specific Susceptibility) ซึ่งเขียนแทนด้วย X และมีนิยามดังนี้

$$X = \tau/H \quad \dots(4.6)$$

จากสมการ (4.4), (4.5) และ (4.6) นั้น จะได้ว่า

$$X = k/\rho \quad \dots(4.7)$$

ดังนั้น X จะมีหน่วยเป็น เซนติเมตร³/กรัม (Cm³/Gram, cm³/g) และ เพื่อที่จะให้เกิดความแตกต่างในการเรียกชื่อ ความไวต่ออำนาจแม่เหล็กจำเพาะ (X) อาจจะ เรียก k ว่าเป็นความไวต่ออำนาจแม่เหล็กเชิงปริมาตร (Volume Susceptibility) ใน ขบวนการแยกแรงแทคแม่เหล็กนั้น ขนาดของแรงแทคจะเป็นตัวกำหนดความไวต่ออำนาจแม่เหล็กเชิง ปริมาตรของเม็ดแร่ และแร่เม็ดเล็กจะมีความไวต่อสนามแม่เหล็กได้น้อยกว่าแร่เม็ดโต ความ ไวต่อสนามแม่เหล็กเชิงโมลาร์ (Molar Susceptibility) เขียนแทนด้วย X_m ส่วนความ ไวต่ออำนาจแม่เหล็กเชิงอะตอม หรือไอออน หรือสารประกอบจะมีค่าเท่ากับ ความไวต่ออำนาจ

แม่เหล็กเชิงมวลคูณด้วยน้ำหนักกรัมอะตอม (Gram Atomic Weight) หรือน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) หรือน้ำหนักสูตร (Formula Weight) ตามลำดับ

หมายเหตุ : ในระบบ SI นั้นสนามแม่เหล็ก (H) อาจจะแสดงหน่วยในรูปของกำลังสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อเมตร (Ampere/Metre, A/m) หรืออาจจะแสดงในรูปความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ซึ่งมีหน่วยเป็นเทสลา (Tesla หรือ T) ซึ่งมันมีความสัมพันธ์⁽⁸¹⁾ ว่า 1 A/m เท่ากับ $4\pi \times 10^{-7} \text{ T}$ ความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่แท้จริง (ψ) นั้น โดยปกติจะแสดงหน่วยเป็นแอมแปร์/เมตร ในขณะที่ความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (B) จะแสดงหน่วยเป็นเทสลาแต่จากสมการ (4.1) จะเห็นว่า H และ B นั้น สามารถจะแสดงหน่วยเป็น แอมแปร์/เมตร หรือเทสลา แต่เพื่อให้สมการถูกต้องทั้งหมดจะต้องมีหน่วยเดียวกัน ซึ่งทั้งหมดนี้ได้อธิบายมาแล้วในตอนต้น

อีกปริมาณหนึ่งซึ่งใช้ในเรื่องแม่เหล็กก็คือ เส้นแรงแม่เหล็กซึ่งแสดงในหน่วยเวบเบอร์ (Weber, Wb) เวบเบอร์เป็นหน่วยเส้นแรงแม่เหล็ก ส่วนเทสลาซึ่งเป็นหน่วยความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเป็นหน่วยของเส้นแรงแม่เหล็ก (หน่วยเวบเบอร์ต่อหน่วยพื้นที่ (เมตร²) ซึ่งการแปลงหน่วยมีดังนี้

เส้นแรงแม่เหล็ก :

$$1 \text{ เวบเบอร์ (Wb)} = 10^8 \text{ แมกซ์เวลล์ (Maxwell)}$$

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก :

$$1 \text{ เทสลา (T)} = 1 \text{ เวบเบอร์/เมตร}^2 \\ (\text{Weber/Metre}^2, \text{Wb/m}^2)$$

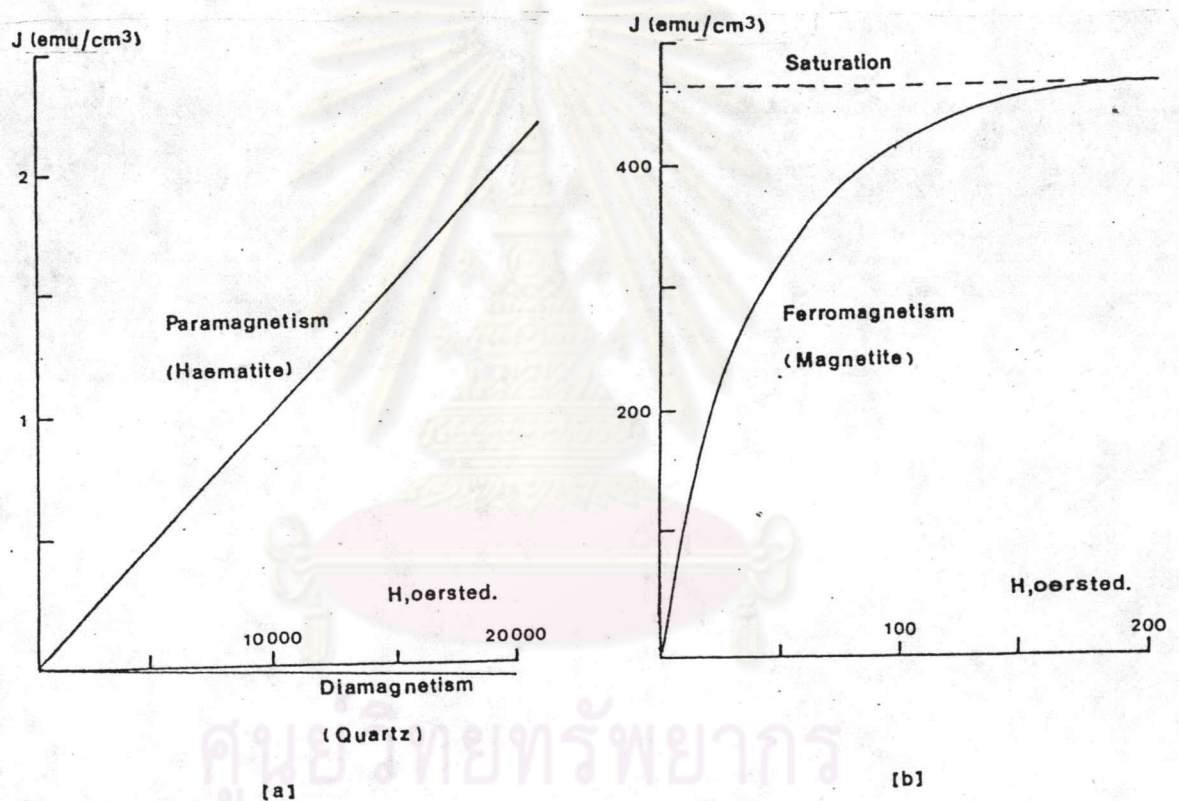
$$= 10^4 \text{ เกาส์ (Gauss, G)}$$

$$1 \text{ แอมแปร์/เมตร (A/m)} = 0.01256 \text{ เอสเต็ด}$$

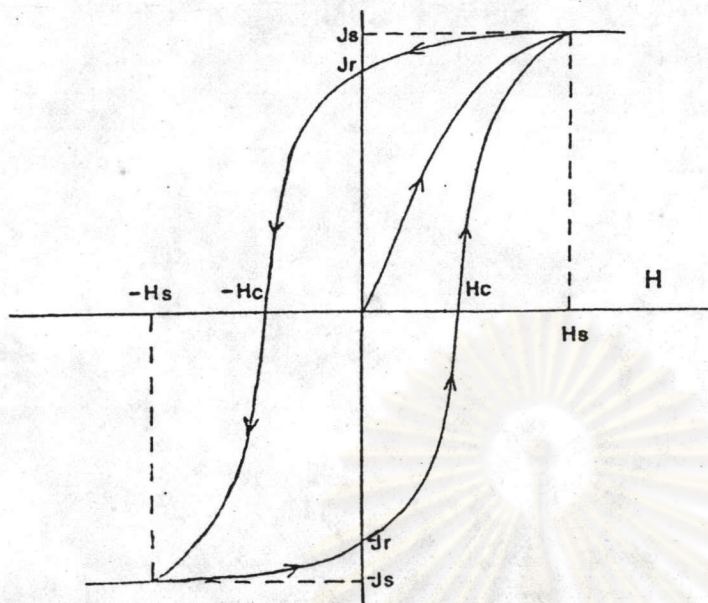
(Oersted, Oe)

ความสัมพันธ์ระหว่างการเป็นแม่เหล็ก (J) และความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (Diamagnetics), แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetics) และแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetics) ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 สำหรับแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (แร่ควออตซ์) และแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (แร่เหล็กฮีมาไทต์) ซึ่งแสดงตามรูปที่ 4.1 (a) จะเห็นว่า J และ H จะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ในขณะที่แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง

(แร่เหล็กแมกนีไทต์) จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง J และ H ค่อนข้างชันขึ้นตามรูป 4.1 (b) แร่ไม่ติดแม่เหล็กและแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนนั้น จะแสดงการเป็นแม่เหล็ก (J) อย่างอ่อน ๆ ในขณะที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก (H) และจะสูญเสียสภาพการเป็นแม่เหล็กเมื่อนำเอาสนามแม่เหล็กออกไป ในขณะที่แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง จะแสดงการเป็นแม่เหล็ก (J) ที่มากกว่าเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก และจะรักษาการเป็นแม่เหล็กเอาไว้บ้าง (Remanence) ภายหลังจากที่สนามแม่เหล็กถูกนำออกไป ซึ่งขบวนการเป็นแม่เหล็กแบบไม่หวนกลับ (Irreversible) เช่นนี้ เรียกว่า ฮิสเตอรีซิส (Hysteresis) และแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2⁽⁸¹⁾



รูปที่ 4.1 เส้นโค้งแสดงการเป็นแม่เหล็กของวัสดุไม่ติดแม่เหล็ก (แร่ควออตซ์) วัสดุติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (แร่ฮีมาไทต์) และวัสดุติดแม่เหล็กอย่างแรง (แร่แมกนีไทต์) จะสังเกตเห็นความแตกต่างของมาตราส่วน แกน Y (ค่า J) ระหว่าง (a) กับ (b)⁽⁸¹⁾



- J_s = Saturation magnetisation
- H_s = Saturated applied magnetic field
- J_r = Remanent magnetisation
- H_c = Coercive force

รูปที่ 4.2 Magnetic Hysteresis ของวัสดุติดแม่เหล็กอย่างแรง จะสังเกตเห็นว่าการเป็นแม่เหล็ก (Magnetisation) ของวัสดุนี้จะถึงจุดอิ่มตัว J_s ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก H_s ⁽⁸¹⁾

4.2.2 แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดบนเม็ดวัสดุ (Tractive Magnetic Force on Particle of Material) ^(70,78,80)

ในกรณีทั่ว ๆ ไปแล้ว มันยากที่จะสามารถคำนวณแรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดบนอนุภาคหนึ่ง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีการตั้งสมมติฐานอย่างง่าย ซึ่งจะทำให้การคำนวณแรงดึงดูดแม่เหล็กมีความแม่นยำพอควร และไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก ถ้าหากว่าอนุภาคมีความเล็กเพียงพอจนทำให้สนามแม่เหล็กภายนอกมีความสม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับอาณาบริเวณที่ถูกรอบครองโดยอนุภาคดังกล่าว เมื่อเป็นเช่นนี้แล้ว ก็อาจจะพิจารณาได้ว่า โมเมนต์แม่เหล็กที่เกิดบนอนุภาคนั้น อยู่ตรงบริเวณใจกลางของอนุภาค แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดบนอนุภาคจึงสามารถเขียนได้เป็นสมการเวกเตอร์ ดังนี้

$$\vec{F}_m = (\vec{V} \cdot \nabla) \cdot \vec{B} \quad \dots (4.8)$$

- โดยที่ \vec{V} = โมเมนต์แม่เหล็กบนอนุภาคที่มีปริมาตร V
- \vec{B} = สนามแม่เหล็กที่เกิดภายนอกอนุภาค หรือความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดบนอนุภาคที่มีมวล m

จากสมการ (4.5) การเป็นแม่เหล็ก (J) จะมีค่าเท่ากับ $(k_s - k_m) H$ โดยที่ k_s และ k_m คือความไวต่ออำนาจแม่เหล็กของอนุภาค และตัวกลางที่อนุภาคนั้นอยู่ (Carrying Medium) ตามลำดับ ดังนั้นสมการ (4.8) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปพิกัดคาร์เตเซียน (Cartesian Co-ordinate) คือ

$$F_{m,x} = V(k_s - k_m) (H_x \frac{\partial B_x}{\partial x} + H_y \frac{\partial B_y}{\partial x} + H_z \frac{\partial B_z}{\partial x}) \dots (4.9)$$

$$F_{m,y} = V(k_s - k_m) (H_x \frac{\partial B_x}{\partial y} + H_y \frac{\partial B_y}{\partial y} + H_z \frac{\partial B_z}{\partial y}) \dots (4.10)$$

$$F_{m,z} = V(k_s - k_m) (H_x \frac{\partial B_x}{\partial z} + H_y \frac{\partial B_y}{\partial z} + H_z \frac{\partial B_z}{\partial z}) \dots (4.11)$$

สมการ (4.9), (4.10) และ (4.11) เป็นแรงดึงดูดแม่เหล็กในแนว x-, y- และ z- ตามลำดับ สมการ (4.8) โดยปกติแล้วมักจะนิยมเขียนในรูป พิกัดรัศมี (Radial Co-ordinate) มากกว่า คือ

$$F_{m,r} = V(k_s - k_m) (H_r \frac{\partial B_r}{\partial r} + H \frac{\partial B_r}{\partial r}) \dots (4.12)$$

$$F_{m,\theta} = V(k_s - k_m) (H_r \frac{\partial B_r}{\partial \theta} + H \frac{\partial B_\theta}{\partial \theta}) \dots (4.13)$$

(r, θ แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าแรงแม่เหล็ก และแรงดึงดูดแม่เหล็กอย่างอ่อนนั้น การเป็นแม่เหล็ก (J) จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป แต่มันจะไม่เหมือนกรณีของแรงดึงดูดแม่เหล็กอย่างแรง ดังนั้นในกรณีของแรงแม่เหล็ก และแรงดึงดูดแม่เหล็กอย่างอ่อนนั้น B อาจจะกล่าวได้ว่ามีขนาดเท่ากับ H (ยกเว้นในกรณีที่แรงแม่เหล็กมีพวกแรงดึงดูดแม่เหล็กอย่างแรง

ปอยู่ด้วย) ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการข้างต้น (ซึ่งใช้ได้กับแร่ไมติดแม่เหล็ก และแร่ติดแม่-เหล็กอย่างอ่อน) ให้เป็นแบบง่าย ๆ ดังนี้

$$F_m = V(k_s - k_m)H_r \frac{\partial H_r}{\partial r} \quad \dots (4.14)$$

จากสมการ (4.14) นี้ แรงแม่เหล็กบนอนุภาคหนึ่ง ๆ นั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค, ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก, ความเข้มข้นแม่เหล็กและความชัน (Gradient) ของสนามแม่เหล็ก เครื่องแยกแร่แม่เหล็กซึ่งใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนนั้น รู้จักกันดีในนามเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแรงสูง (High Intensity Magnetic Separator) หรือเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความชันสนามแม่เหล็กสูง (High Gradient Magnetic Separator) เครื่องแยกแร่ชนิดนี้จะมีความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่แปรได้ โดยมีค่าความเข้มสูงสุด ระหว่าง 10,000 ถึง 20,000 เอสเต็ด แต่ความเข้มข้นแม่เหล็กสูงแต่เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ มันจะต้องมีความชันของสนามแม่เหล็ก (Field Gradient) สูงด้วย ในการสร้างให้มีความชันของสนามสูงนั้น จะต้องมีการทำให้สนามแม่เหล็กมีลักษณะลู่เข้าหากัน (Converging Field) และการที่จะเพิ่มความชันในลักษณะนี้นั้น จะใช้คุณสมบัติของโลหะเหล็กซึ่งสามารถติดแม่เหล็กได้อย่างแรงเข้ามาช่วย นั่นคือ เมื่อโลหะเหล็กถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กนั้น มันจะสามารถสร้างความเข้มข้นแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นไปจนถึง 20,000 เกาส์ ซึ่งความเข้ม 20,000 เกาส์ นี้จะเกี่ยวข้องกับความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation Magnetisation) ของเหล็กอ่อน (Soft Iron) ธรรมดา⁽⁸⁰⁾ (ดูรูปที่ 4.2 ประกอบ) และความชันของสนามแม่เหล็กจะสูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการออกแบบให้เหล็กอ่อนดังกล่าวเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งมีรูปร่างที่เหมาะสม ซึ่งเหล็กควรจะมีค่าความอ่อนทางแม่เหล็ก (Magnetic Softness) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือมันควรจะมีการรักษาความเป็นแม่เหล็ก (Magnetisation) ให้เหลือน้อยที่สุดเมื่อสนามแม่เหล็กถูกนำออกไปแล้ว ถ้าหากเมทริกซ์ ยังคงรักษาการเป็นแม่เหล็กอยู่ค่อนข้างมากแล้ว มันจะทำให้แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงติดค้างอยู่บนเมทริกซ์มากเมื่อเกิดแยกแร่ ซึ่งอาจก่อความยุ่งยากในการนำเอาเม็ดแร่ที่ติดอยู่ออก โดยอาจจะต้องถึงขั้นรื้อเอาเมทริกซ์ออกเลยก็ได้

ในเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator) จะใช้เมทริกซ์ซึ่งติดแม่เหล็กอย่างแรงในการแยกเอาเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กออกซึ่งมันจะติดค้างอยู่บนเมทริกซ์นั้น เมทริกซ์ดังกล่าวอาจจะสร้างให้มีหลายรูปแบบ เช่น

รูปทรงกลม (Ball หรือ Sphere), แท่งกลม (Rod) แผ่นเป็นร่อง (Grooved Plate), เส้นใย (Fibre), ตะแกรงลวด (Wire Mesh) ๑ ในที่นี้จะทำการวิเคราะห์เพียง 2 รูปแบบ ซึ่งนิยมใช้กันคือ เมทริกซ์รูปทรงกลมเหล็กกล้า (Steel Ball หรือ Steel Sphere) และ เมทริกซ์รูปร่างเป็นลวดเส้นเล็ก หรือรูปร่างทรงกระบอก^(๘๐) ดังตัวอย่างเช่น เส้นใยเหล็กกล้า (Steel Wool) ที่ใช้ในเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแรงสูงบางแบบ

4.2.2.1 แรงในเมทริกซ์รูปทรงกลม เพื่อที่จะทำให้การคำนวณง่ายเข้า เมทริกซ์เหล็กทรงกลมซึ่งติดแม่เหล็กอย่างแรงและมีเส้นผ่าศูนย์กลาง d_0 ลูกหนึ่ง ซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก (H) ซึ่งมีความเข้มสม่ำเสมอจะถูกพิจารณาแยกออกมา การเป็นแม่เหล็กที่สม่ำเสมอจะเกิดขึ้นบนลูกเหล็กทรงกลมนั้น อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กดังกล่าวและเนื่องจากอนุภาคซึ่งจะถูกดูดติดกับทรงกลมนี้เป็นวัสดุที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน การเป็นแม่เหล็กจะเกิดขึ้นน้อยจนทำให้ความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (B) มีค่าประมาณเท่ากับความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) นั้น จากทฤษฎีแม่เหล็กเบื้องต้น จะสามารถแสดงได้ว่าส่วนประกอบของความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอกลูกเหล็กทรงกลมนั้น คือ

$$H_r = \frac{[H + \frac{\pi}{3} J \frac{d_0^3}{r^3}] \cos \theta}{r^3} \quad \dots (4.15)$$

$$H_\theta = \frac{[-H + \frac{\pi}{6} J \frac{d_0^3}{r^3}] \sin \theta}{r^3} \quad \dots (4.16)$$

(r, θ มีนิยามดังรูปที่ 4.3) ดังนั้นความเข้มสนามแม่เหล็กในระบบ
เรเดียนจึงเป็น

$$\frac{\partial H_r}{\partial r} = \frac{-\pi J \frac{d_0^3}{r^4} \cos \theta}{r^4} \quad \dots (4.17)$$

$$\frac{\partial H_\theta}{\partial r} = \frac{-\frac{\pi}{2} J \frac{d_0^3}{r^4} \sin \theta}{r^4} \quad \dots (4.18)$$

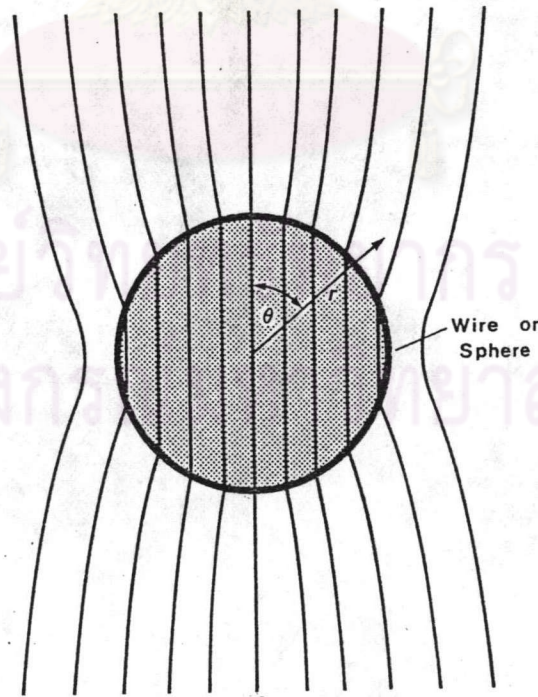
$F_{m,\theta}$ จากการคำนวณในสมการ (4.13) จะพยายามทำให้

อนุภาคเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ $\theta = 0$ หรือ $\theta = \pi$ บนลูกเหล็กกลมแล้วแต่ว่ามันจะใกล้ด้านไหนมากกว่ากัน แรง $F_{m,r}$ เป็นแรงที่ยึดอนุภาคให้ติดกับลูกเหล็กกลม และสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.12) เนื่องจากแรง $F_{m,\theta}$ จะพยายามทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ $\theta = 0$ หรือ $\theta = \pi$ ดังนั้นสมการสำหรับหาค่า $F_{m,r}$ จะคำนวณเฉพาะตำแหน่งดังกล่าวนี้ ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่ให้แรงมีค่าสูงสุด แรงแม่เหล็กในตำแหน่งนี้จะมีทิศทางพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของลูกเหล็กกลม ซึ่งมีค่าดังนี้

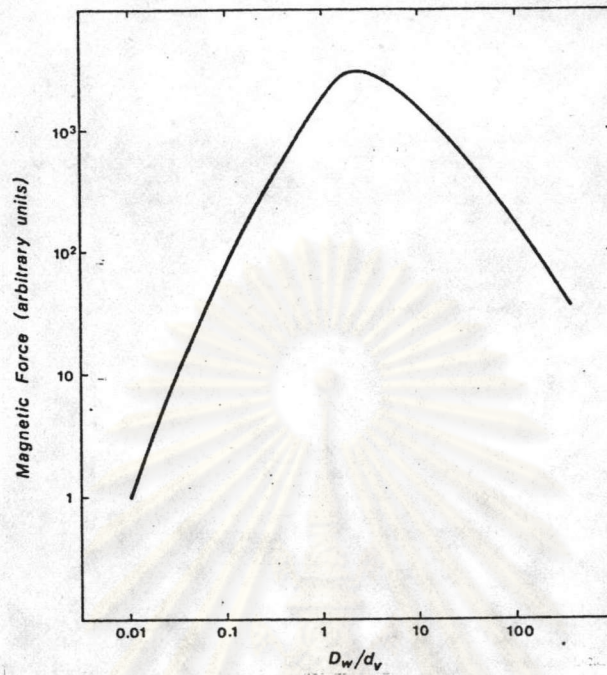
$$F_{m,r} = \frac{16\pi V(k_s - k_m)}{d_o^3} \underline{J}(H + \underline{8\pi J}) \quad \dots (4.19)$$

ปริมาตร V สามารถที่จะเขียนในรูปของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค d_v ได้ ดังนั้นสมการ (4.19) สามารถเขียนได้อีกแบบหนึ่งคือ

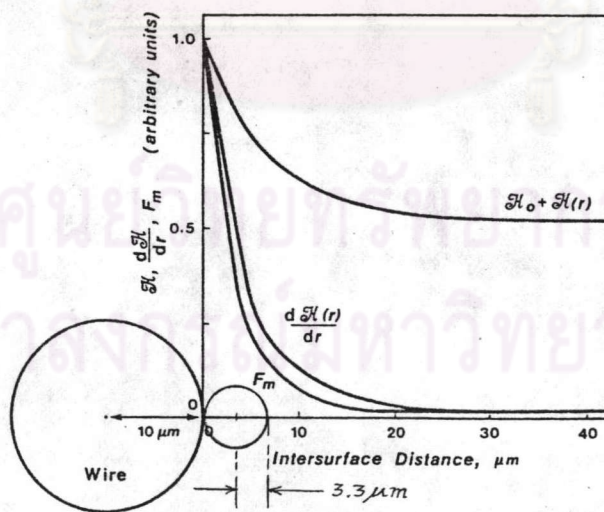
$$F_{m,r} = \frac{8\pi^2 d_v^3}{3} (k_s - k_m) \underline{J}(H + \underline{8\pi J}) \quad \dots (4.20)$$



รูปที่ 4.3 นิยามของ r และ θ ในระบบพิกัดรีตัม ซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ (69)



รูปที่ 4.4 แรงแม่เหล็กสัมพัทธ์ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเส้นลวดกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดแร่ทรงกลม⁽⁶⁹⁾



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็ก ความชันของสนามแม่เหล็ก และแรงซึ่งกระทำต่อเม็ดแร่ทรงกลม ซึ่งมีขนาด 1 ใน 3 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด⁽⁶⁹⁾

4.2.2.2 แรงในเมทริกซ์รูปทรงกระบอก ⁽⁸²⁾ ในกรณีของเส้นลวดที่ติดแม่เหล็กได้อย่างแรง (Ferromagnetic Wire) ในสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ (Uniform Field) แรงที่เกิดขึ้นจะสามารถคำนวณได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับลูกเหล็กกลม สำหรับเส้นลวดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางคงที่ตลอดใน Matched System นั้น แรงบนอนุภาค จะเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสอง ซึ่งดูได้จากสมการ (4.21) (เปรียบเทียบกับเมทริกซ์รูปทรงกลม ซึ่งแรงบนอนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสามตามสมการ (4.20))

กราฟรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึงดูดแม่เหล็กที่คำนวณบนอนุภาคหนึ่งตรงบริเวณผิวของเส้นลวดรูปทรงกระบอก กับอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด d_w และเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค d_p , (d_w/d_p) จากกราฟจะเห็นว่า มีจุดหนึ่งซึ่งแรงดึงดูดแม่เหล็กมีค่าสูงสุด และ Oberteuffer ⁽⁷⁸⁾ ได้ แสดงให้เห็นว่าค่าสูงสุดดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค d_p มีค่าเท่ากับ $0.37d_w$ และหากว่าอนุภาคถูกทำให้ไถลออกไปจากผิวของเส้นลวด ขนาดของอนุภาคซึ่งมีแรงดึงดูดแม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้น จะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างจากศูนย์กลางของเส้นลวดสำหรับเส้นลวดหนึ่ง ๆ รูปที่ 4.5 ได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็ก ความชันของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Gradient) และแรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนอนุภาคซึ่งมีขนาดหนึ่งในสามของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก ตัวแปรทั้งสามสามารถแสดงให้เป็นฟังก์ชันของระยะทางจากผิวของเส้นลวด สังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความชัน (Gradient) นั้น เกิดขึ้นสูงที่สุดบริเวณใกล้ ๆ กับผิวของเส้นลวดเป็นระยะทางห่างจากผิวลวดประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ซึ่งถ้าห่างออกไปจากระยะทางดังกล่าวแล้ว แรงดึงดูดแม่เหล็กจะลดลงเหลือ ประมาณร้อยละ 10 ของค่าที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของเส้นลวดนั้น

ในระบบซึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค มีค่าประมาณหนึ่งในสามของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด (คือใน Matched System ที่ได้อธิบายข้างต้น) แรงดึงดูดแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดคือ

$$F_{m, \max} = 0.46(k_s - k_m)H^2d_p^2 \quad \dots (4.21)$$

โดยที่ $F_{m, \max}$ = แรงดึงดูดแม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้น
เมื่อ d_w/d_p มีค่าเท่ากับ 3

4.2.2.3 แรงที่เกิดขึ้นบนผิวของกระบอกกลม (Drum) ^(๘๓) เมื่อนำสมการ (4.12) และ (4.13) มาคิดในกรณีที่พื้นผิวของกระบอกกลม จะพบว่า $F_{m,e} = 0$ และแรงดึงดูดแม่เหล็กในแนวรัศมี r จะมีค่า

$$F_{m,r} = - 32\pi^2 \frac{H_d}{\theta_d R} \exp \left[\frac{-2\pi(r - R)}{\theta_d} \right] \quad \dots (4.22)$$

โดยที่ H_d = ความเข้มสนามแม่เหล็กบนผิวของกระบอกกลม
หน่วยเทสลา (Tesla, T)

R = รัศมีของกระบอกกลม หน่วยเมตร (Metre, m)

θ_d = ระยะในแนวเส้นรอบวงระหว่างขั้วแม่เหล็ก
หน่วยเมตร (Metre, m)

และที่บริเวณผิวของกระบอกกลม ($r = R$) แรงดึงดูดแม่เหล็ก
จะมีค่า

$$F_{m,r} = - 32\pi^2 \left[\frac{H_d}{\theta_d R} \right] \quad \dots (4.23)$$

ซึ่งสังเกตได้ว่าแรงดึงดูดแม่เหล็กจะไม่ขึ้นกับ ขนาดของอนุภาค

4.2.3 แรงต่อต้านที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุ (Competing Force on Particle of Material)

แรงโน้มถ่วง, แรงถ่วงออกจลน์, แรงเสียดทาน และแรงเฉื่อยเป็นแรงในขบวนการแยกแร่ด้วยแม่เหล็ก โดยจะต้านทานต่อแรงดึงดูดแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นบนอนุภาค ถ้าหากการแยกแร่เกิดขึ้นบริเวณผิวของกระบอกกลมหมดแล้ว แรงที่ศูนย์กลางก็จะเข้ามามีบทบาทด้วยความสำคัญของแรงแต่ละชนิดจะผันแปรไปตามวิธีการออกแบบเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก, แรงโน้มถ่วง และแรงถ่วงออกจลน์ จะมีความสำคัญมากและจะพิจารณาเป็นพิเศษดังต่อไปนี้

สำหรับอนุภาครูปทรงกลมซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ ρ_s แรงโน้มถ่วงโลกที่เกิดขึ้นมีค่า

$$F_g = \frac{\pi d_v^3 (\rho_s - \rho_f) g}{6} \quad \dots (4.24)$$

โดยที่ g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก
หน่วย เมตร/วินาที² (Metre/Second², m/s²)

ρ_f = ความถ่วงจำเพาะของมีชดิมที่ได้
หน่วย กิโลกรัม/เมตร³ (Kilogram/Metre³, kg/m³)

ในการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) แรงออกจลน์ (Drag Force) หาได้จาก

$$F_d = 3\pi d_v v \mu \quad \dots (4.25)$$

โดยที่ v = ความเร็วของอนุภาคเมื่อเทียบกับมีชดิม
หน่วย เมตร/วินาที (Metre/Second, m/s)

μ = ความหนืดของมีชดิมซึ่งเป็นของไหล
หน่วย นิวตัน.วินาที/เมตร² (Newton.Second/Metre², N.s/m²) หรือปาสคาล.วินาที (Pascal.Second, P.s)

ดังนั้น แรงโน้มถ่วงโลก จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคยกกำลังสาม และหากอนุภาคมีขนาดใหญ่ แรงโน้มถ่วงจะมีค่ามาก เพราะฉะนั้นในการแยกแร่ติดแม่เหล็กแบบแห้งที่ทำการแยกแร่ขนาดเม็ดโต แรงดึงดูดแม่เหล็กจะต้องมีขนาดพอที่จะยึดแร่ที่ติดแม่เหล็กจนสามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงโลกของเม็ดแร่ได้

4.2.4 แรงระหว่างเม็ดวัสดุ (Interparticle Force on Particle of Material)

แรงระหว่างเม็ดแร่ (วัสดุ) มักเป็นแรงระหว่างเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กกับเม็ดแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งจะเป็นตัวชี้ขาดว่าแร่ที่แยกออกมาจะมีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด⁽⁷⁸⁾ ถ้าหากว่าแรงระหว่างเม็ดแร่มีขนาดมากกว่าแรงดึงดูดแม่เหล็กรวมกับแรงต่อต้านแล้ว ก็จะทำให้แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กหลงเข้าไปอยู่ในส่วนของแร่ที่ติดแม่เหล็กหรือในกำนอนเดียวกันกับแร่ที่ติดแม่เหล็ก

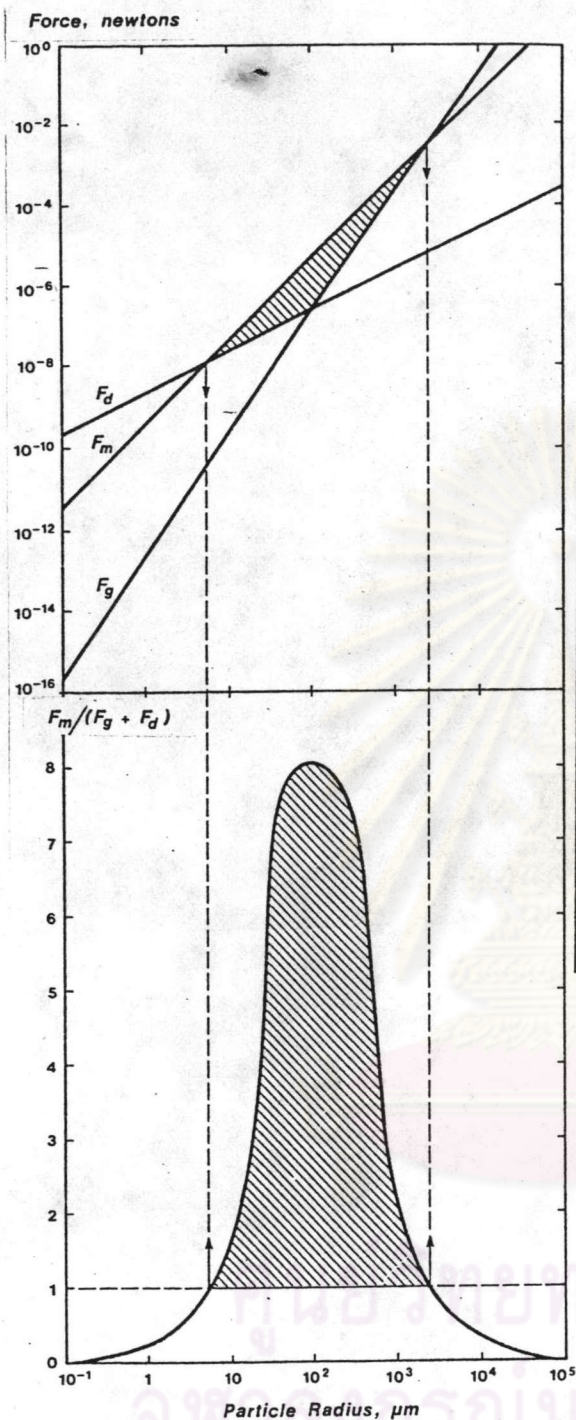
ก็หลงเข้าไปอยู่ในส่วนของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการแยกแร่ไม่ดี แรงระหว่างเม็ดแร่ ได้แก่ แรงเสียดทานระหว่างเม็ดแร่ แรงดึงดูดแม่เหล็กระหว่างเม็ดแร่ด้วยกันเอง, แรงไฟฟ้าสถิตระหว่างเม็ดแร่ ซึ่งรวมไปถึงแรงคูลอมบ์ (Coulomb Force), แรงแวน-เดอวาล (Van der Waals Force), แรงชั้นคู่ (Double Layer Force)

สำหรับการแยกแร่ด้วยวิธีแห้งนั้นหากเม็ดแร่มีขนาดโตแรงเสียดทานระหว่างเม็ดแร่และแรงเกาะกันของเม็ดแร่เนื่องจากความชื้น จะมีความสำคัญ ในขณะที่แร่แห้งเม็ดเล็กจะมีแรงเนื่องจากไฟฟ้าสถิต ส่วนการแยกแร่แบบเปียกทำการแยกแร่เม็ดเล็ก ๆ แรงที่เกิดขึ้นจะมีแรงเคมีของผิวแร่แบบชั้นคู่ (Surface Chemical Double Layer Force) เป็นแรงระหว่างเม็ดแร่ที่สำคัญ

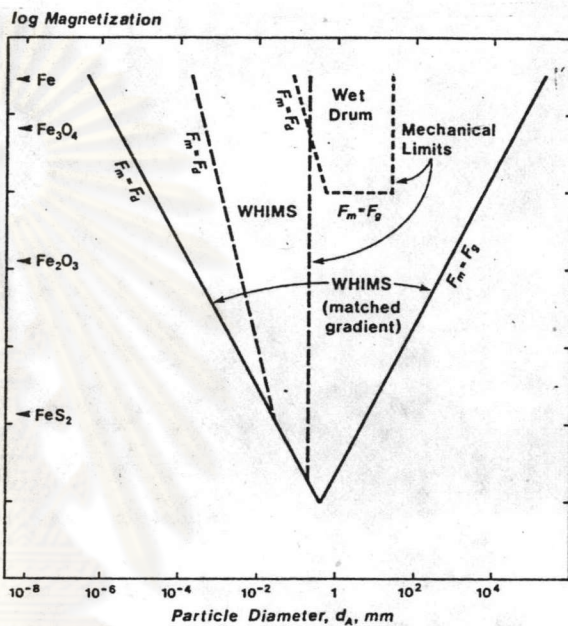
4.3 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในการแยกหัวแร่ และแยกแร่ให้สะอาดแบบเปียก (Wet Magnetic Separator)

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งที่กล่าวมาข้างต้น นิยมใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กมากกว่า 80 ปีมาแล้ว อย่างไรก็ตามการแยกแร่ติดแม่เหล็กแบบแห้งจะ ได้ผลดีก็ต่อเมื่อขนาดของเม็ดแร่ที่ทำการแยกมีขนาดโตกว่า 200 เมช (หรือ 74 ไมครอน) เนื่องจากประสิทธิภาพของการแยกแร่ติดแม่เหล็กแบบแห้งจะลดลง เป็นผลจากแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่ เช่น แรงต้านทานอากาศต่อเม็ดแร่เล็ก ๆ นั้น, แรงระหว่างเม็ดแร่ด้วยกันเองและแรงอื่น ๆ ดังนั้น ถ้าหากต้องการแยกแร่ติดแม่เหล็กซึ่งมีขนาดเล็กแล้วก็สมควรแยกแบบเปียก ในแง่ของเศรษฐศาสตร์แล้ว การแยกแร่แบบเปียกจะดีกว่า ในแง่ที่ว่าแร่ต่าง ๆ ที่เกิดตามธรรมชาติ หรือแร่ที่ผ่านขบวนการแยกแร่ด้วยวิธีอื่นมาก่อนแล้วมักจะเปียก ดังนั้นหากสามารถแยกแร่ในสภาพเปียกได้ก็จะเป็นการประหยัด เพราะไม่ต้องทำการย่างแร่ให้แห้งก่อนการแยก

กลไกการแยกแร่ติดแม่เหล็กแบบเปียกนี้ ได้อธิบายมาบ้างแล้วในหัวข้อ 4.2 ในเรื่องของแรงดึงดูดแม่เหล็ก, แรงต่อต้าน และแรงระหว่างเม็ดแร่ที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่หนึ่ง ๆ จากสมการ (4.24) จะเห็นว่าแรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่จะขึ้นอยู่กับกำลังสามของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดแร่ ในขณะที่แรงอุทกจลน์ (Drag Force) ในการไหลแบบ Laminar Flow จะขึ้นอยู่กับกำลังหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดแร่ ตามสมการ (4.25) แรงอุทกจลน์จะมีความสำคัญมากในกรณีที่เม็ดแร่มีขนาดเล็ก ดังนั้นในการแยกแร่ติดแม่เหล็กที่มีขนาดเล็กแบบเปียก แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่จะต้องมากกว่าแรงอุทกจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของของไหล



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดแม่เหล็ก (F_m) แรงโน้มถ่วง (F_g) และแรงออกจลน์ (F_d) กับขนาดของอนุภาควัสดุติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (ในที่นี้เมทริกซ์ (Matrix) ที่ใช้มีรูปร่างทรงกระบอก เรียวทำจากวัสดุติดแม่เหล็กอย่างแรง มีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 3 เท่าของเม็ดทองแดงออกไซด์ (CuO) ซึ่งติดแม่เหล็กอย่างอ่อนภายใต้สนามแม่เหล็กความเข้ม 10 kOe และมีความเร็วของเม็ด CuO ผสมน้ำ 5 cm/s) และกราฟด้านล่างได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเกาะติดของเม็ดแร่กับขนาดของเม็ดแร่⁽⁸⁹⁾



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเป็นแม่เหล็กของเม็ดแร่กับขนาดของเม็ดแร่ซึ่งสามารถบอกได้ว่าจะสามารถแยกแร่ชนิดนั้นออกมาได้หรือไม่⁽⁸⁹⁾

รูปที่ 4.6⁽⁷⁸⁾ แสดงกราฟซึ่งวาดระหว่างแรงดึงดูดแม่เหล็ก (F_m) แรงโน้มถ่วง-โลก (F_g) และแรงออกจลน์ (F_d) กับขนาดของเม็ดทองแดงออกไซด์ (CuO) ซึ่งติดแม่เหล็กอย่างอ่อน โดยมีขนาดหนึ่งในสามของเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งมีคุณสมบัติติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Wire) มีรูปร่างเป็นเมทริกซ์รูปทรงกระบอก และวางตัวในสนามแม่เหล็กความเข้ม 10 กิโลเอสเต็ด (kOe) (เห็นคือ Matched System ซึ่งได้อธิบายมาแล้ว ในหัวข้อ 4.2.2.2) และกราฟรูปที่ 4.6 ด้านบนได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการเกาะติด (Entrapment Ratio) ของเม็ดแร่ คือ ($F_m / (F_g + F_d)$) กับขนาดของเม็ดแร่ (d_v) จะเห็นว่าบริเวณที่เขียนเส้นหลายทแยง ซึ่งมีอัตราส่วนของการเกาะติดมากกว่า 1 นั้น จะมีการแยกแร่ติดแม่เหล็กเกิดขึ้น โดยการแยกแร่จะเกิดขึ้นที่ช่วงขนาดของเม็ดแร่จำกัดหนึ่ง ๆ เท่านั้น เนื่องจากที่ขนาดเม็ดแร่โต ๆ นั้น แรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่จะมีค่ามาก และหากระบบไม่ได้อยู่ใน Matched System ที่ได้อธิบายมาแล้ว เส้น F_m ในรูปที่ 4.6 ด้านบนก็จะต่ำลงไปจากตำแหน่งเดิมอีก ทำให้ช่วงขนาดของแร่ติดแม่เหล็กที่สามารถแยกออกมาได้แคบลงไปอีก รูปที่ 4.6 ด้านล่าง ยังได้แสดงให้เห็นค่าอัตราส่วนของการเกาะติดมีค่าสูงสุดที่เม็ดแร่ขนาดหนึ่ง ซึ่งขนาดของเม็ดแร่จะสามารถแยกออกมาได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d_v = 3 \left[\frac{2v \mu}{(\rho_s - \rho_f) g} \right]^{1/2} \quad \dots (4.26)$$

ซึ่งขนาด d_v นี้ได้มาจากสมการ (4.24) = สมการ (4.25) (เห็นคือ $F_g = F_d$ นั้นเอง)

โดยที่ d_v = ขนาดของเม็ดแร่ซึ่งสามารถแยกออกมาได้ดีที่สุด
หน่วยเมตร (Metre, m)

v = ความเร็วของเม็ดแร่ (อนุภาค) เมื่อเทียบกับมัชฌิม
(ตัวกลาง) ที่ใช้ในการแยกเม็ดแร่นั้น หน่วยเมตร/วินาที
(Metre/Second, m/s)

μ = ความหนืดของมัชฌิมของไหล หน่วยนิวตัน.วินาที/เมตร²
(Newton.Second/Metre², N.s/m²)
หรือปาสคาล.วินาที (Pascal.Second, P.s)

$$g = \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก หน่วยเมตร/วินาที}^2 \\ (\text{Metre/Second}^2, \text{ m/s}^2)$$

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วความถ่วงจำเพาะของแร่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 และนิยมใช้น้ำเป็นสื่อในการแยก ซึ่งเมื่อแทนค่าต่าง ๆ เข้าไปในสมการ (4.26) แล้วพบว่าขนาดของเม็ดแร่ติดแม่เหล็ก (d_v) ซึ่งสามารถแยกออกมาได้ดีที่สุดจะมีค่าประมาณใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ด้วยวิธีเปียกจะสามารถแยกแร่ได้ที่ช่วงขนาดจำกัดหนึ่ง ๆ เท่านั้น (ไม่เหมือนในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral) ด้วยวิธีเปียกซึ่งสามารถแยกแร่ในขนาดช่วงกว้าง ๆ ได้) ซึ่งช่วงขนาดดังกล่าวขึ้นอยู่กับความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ของแร่หนึ่ง ๆ อย่างไรก็ตาม กลไกในการออกแบบเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก (Mechanical Effect) จะเป็นตัวกำหนดขนาดของเม็ดแร่โตสุด ซึ่งจะสามารถนำไปแยกได้ รูปที่ 4.7⁽⁶⁹⁾ แสดงกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเป็นแม่เหล็ก (Magnetisation) ของเม็ดแร่กับช่วงขนาดของเม็ดแร่ซึ่งสามารถแยกได้ในทางทฤษฎี (ใน Matched System) เปรียบเทียบกับช่วงขนาดเม็ดแร่ซึ่งสามารถแยกได้ในทางปฏิบัติ รวมทั้งแสดงสภาวะการแยกแร่ที่เกิดขึ้นจริงโดยใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกกระบอกกลมความเข้มต่ำ (Low Intensity Drum Magnetic Separator)⁽⁷⁸⁾ ซึ่งจะเห็นว่าในแต่ละกรณี (ใน Matched System) ขนาดเม็ดแร่จำกัดเล็กสุด (Lower Size Limit) จะหาได้ก็ต่อเมื่อแรงอุกกาภรณ์ (Drag Force) มีค่าเท่ากับแรงดึงดูดแม่เหล็ก และในทำนองเดียวกันขนาดเม็ดแร่โตสุด (Upper Size Limit) จะหาได้ก็ต่อเมื่อแรงโน้มถ่วงของเม็ดแร่มีค่าเท่ากับแรงดึงดูดแม่เหล็กที่กระทำบนเม็ดแร่นั้น แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้ว ขนาดเม็ดแร่โตสุดที่สามารถใช้ได้ทั้งในเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง และในเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกกระบอกกลมความเข้มต่ำนั้น จะเป็นขนาดซึ่งถูกจำกัดด้วยกลไกของการออกแบบเครื่องแยกแร่ (Mechanical Size Limit) นั่นคือเมื่อดูจากรูป 4.7 จะเห็นว่าเมื่อต้องการแยกแร่แมกนีไทต์ (Magnetite, Fe_3O_4) นั้นขนาดของเม็ดแร่ d_v ซึ่งสามารถแยกออกมาได้จะมีขนาดอยู่ระหว่างประมาณ 0.02 ไมครอน (10^{-5} mm) ถึง 10 เมตร (10^4 mm) ซึ่งจะเห็นว่าคงจะเป็นไปไม่ได้ที่จะแยกแร่ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้ง 10 เมตร ในทางปฏิบัติหากจะแยกแร่แมกนีไทต์โดยใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มต่ำแล้ว จะสามารถแยกแร่ที่มีขนาดโตสุดประมาณ 10 มม. หรือ 1 ซม. (10^1 mm) เท่านั้น (ทั้งนี้เนื่องจากมี Mechanical Limit นั้นเอง) ส่วนขนาดเล็กสุดก็จะหาได้ในทำนองเดียวกัน

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มต่ำ จะนิยมใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงเท่านั้น และจะใช้ได้ดีกับแร่ที่มีขนาดโตกว่า 74 ไมครอน ส่วนเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกแรงสูง (จะได้อธิบายต่อไป) จะสามารถแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนได้ในช่วงขนาดแร่ช่วงแคบช่วงหนึ่ง ความสามารถในการแยกแร่จะขึ้นอยู่กับความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) และขนาดของเม็ดแร่ นั้น เครื่องมือจะแยกแร่ที่มีการกระจายตัวของแร่ในช่วงหนึ่งได้ดี แต่จะไม่สามารถทำการเลือกแยก (Selecting) แร่ที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กซึ่งใกล้เคียงกันออกจากกันได้ ดังนั้นแร่ที่นำมาแยกควรมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่แตกต่างกันมาก ๆ จึงจะทำให้การแยกได้ผลดี

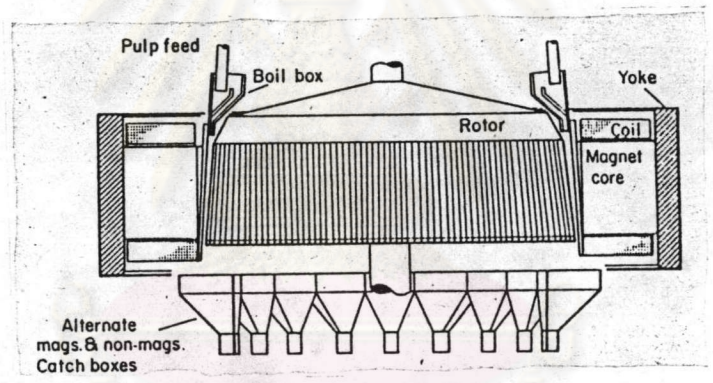
4.3.1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator เขียนย่อว่า WHIMS)

เนื่องจากปัญหาในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เม็ดละเอียดขนาดเล็กลงกว่า 74 ไมครอน ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ซึ่งในบางกรณีต้องบดแร่ให้ละเอียดเพื่อให้เม็ดแร่หลุดออกจากกันเป็นอิสระ ซึ่งการบดแบบแห้งอาจมีการสูญเสียแร่ที่เป็นฝุ่น จึงเปลี่ยนมาบดแบบเปียก หรือในบางแผนผังการแยกแร่วิธีการทำให้แร่แห้งทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก จึงมีการพัฒนาเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งมาเป็นแบบเปียก

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแบบเปียก ส่วนใหญ่ใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กในรูปของเหลว หรือพวกสารแขวนลอย เครื่องแยกนี้ในแบบแรกที่มีการพัฒนานี้มีรูปร่างคล้ายเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนียวนำ (Induced Roll Magnetic Separator) โดยทำการดัดแปลงให้สามารถรับแร่ป้อนในสภาพเปียกได้ โดยมีผู้รายงานไว้ในสหภาพโซเวียตได้มีการพัฒนา เครื่องแยกแร่แบบลูกกลิ้งเหนียวนำเพื่อทำการแยกเอาแร่เหล็ก^(80,86) ส่วนเครื่องแยกในรุ่นหลัง ๆ นี้ ได้พัฒนาให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเหนียวนำสูงถึง 20,000 เกาส์ ซึ่งเป็นค่าความเป็นแม่เหล็กอิมตัวของเหล็กอ่อนที่ใช้ทำเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ในเครื่องแยกโดยมีเมทริกซ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น เป็นลูกกลม, แท่งแผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) และแผ่นเหล็กรูปตาราง (Expanded Steel) และเป็นฝอย (Fibre) ในที่นี้จะได้อธิบายถึงเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กสูงที่ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้จากอดีตจนถึงปัจจุบัน

1) ชนิดกิลล์ (Gill Separator)^(70,87,88) เครื่องมือนี้สร้างขึ้นในปี ค.ศ 1964 เป็นแบบที่ได้พัฒนามาจากเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแรงสูงแบบลูกกลิ้งเหนียวนำ

(ดูรูปที่ 4.8) ประกอบด้วยถังหมุน (Rotor) ที่มีร่อง (Laminated Groove) เรียงกันโดยรอบ และหมุนรอบแกนตั้ง แร่ป้อนผสมน้ำ (Slurry) จะถูกป้อนไปตามร่องซึ่งอยู่ระหว่างซี่แม่เหล็กไฟฟ้า แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะผ่านออกไปยังถังเก็บแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ส่วนแร่ติดแม่เหล็กจะค้างอยู่บนร่องเหล่านี้นั้นและถูกพาออกไปจากสนามแม่เหล็ก และหล่นเข้าไปอยู่ในถังเก็บแร่ติดแม่เหล็ก การออกแบบเครื่องแยกในลักษณะนี้ทำให้มีแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กเข้าไปในส่วนแร่ติดแม่เหล็กได้น้อยที่สุด ถึงแม้ว่าเครื่องแยกแร่ชนิดนี้ไม่อาจจัดว่าเป็นเครื่องที่มีความเข้มข้นไฟฟ้าสูงมากนัก ซึ่งมีความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำต่ำกว่า 14,000 เกาส์ จึงใช้แยกแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนที่ติดแม่เหล็กได้ง่าย เช่น ใช้แยกแร่อิลเมนไนต์ (Ilmenite) จากเหมืองชายหาด เช่น ในประเทศออสเตรเลียและมาเลเซีย แต่ไม่เหมาะที่จะแยกเอาแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนที่ติดแม่เหล็กได้ยาก เช่น แร่ฮีมาไทต์ (Haematite) สำหรับเครื่องที่มีซี่แม่เหล็ก 10 ซี่ มีความจุ 0.8 ตันต่อชั่วโมงต่อซี่แม่เหล็ก



รูปที่ 4.8 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก ชนิดกิลล์⁽⁷⁰⁾

2) ชนิดถังคารูเซล (Carousel Separator) ^(89, 90, 91, 92, 93)

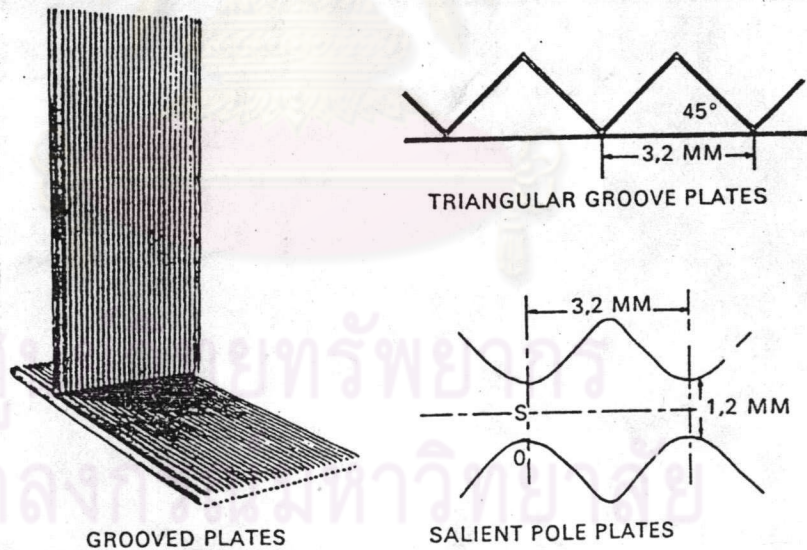
เป็นเครื่องแยกแร่ซึ่งมาจากความคิดของ G.H. Jones ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาจากชนิดกิลล์ (Gill Separator) ซึ่งในชนิดกิลล์นั้น แร่ติดแม่เหล็กจะถูกดูดให้ติดกับผิวของตัวหมุน (Rotor) ซึ่งทำให้พื้นที่ในการเก็บแร่น้อย เครื่องแยกแร่ของโจนส์ จึงออกแบบแผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate มาทำเป็นเมทริกซ์ (Matrix) โดยนำมาซ้อนกันเองเป็นชุด ๆ แทน (ดูรูปที่ 4.9 และ 4.14 (b)) ทำให้มีพื้นที่ในการเก็บแร่เพิ่มขึ้นหลายเท่า และความเข้มข้นแม่เหล็กก็สูงกว่าแบบกิลล์ เครื่องแยกแร่ของโจนส์ซึ่งทำงานเป็นจังหวะ 3 ขั้นตอน (Three-Stage Cyclic Jones Separator) ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.10 ซึ่งการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอนมีดังนี้

- ขั้นตอนแรก แร่ผสมน้ำจะถูกป้อนเข้าไปยังเครื่องในขณะที่เครื่องทำงานอยู่โดยมีความเข้มข้นแม่เหล็ก แร่ติดแม่เหล็กจะติดติดกับเมทริกซ์รูปร่าง เป็นแบบแผ่นที่เป็นร่อง ในขณะที่แร่ไม่ติดแม่เหล็กจะผ่านออกไปยังถังเก็บ

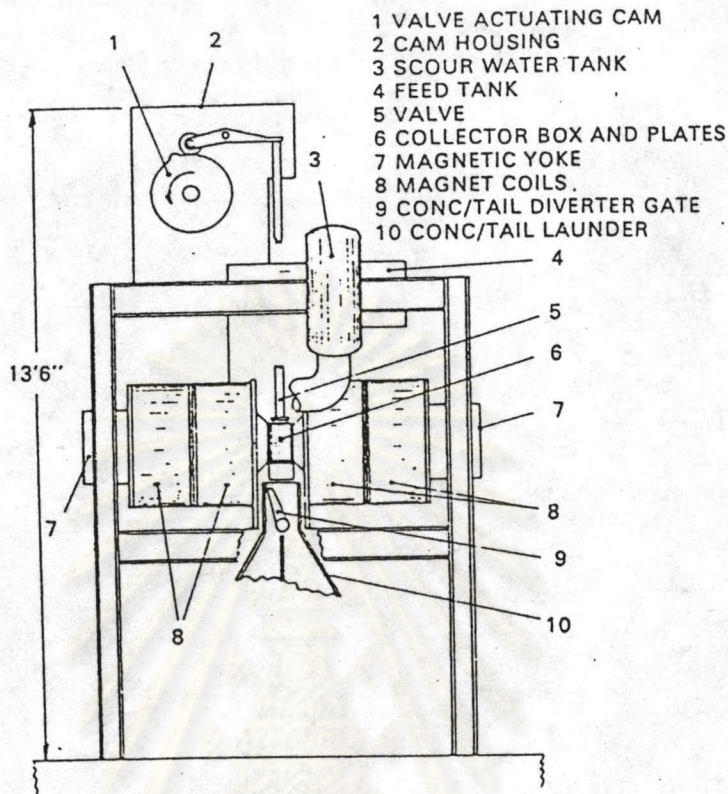
- ขั้นตอนที่สอง จะหยุดป้อนแร่ โดยที่เครื่องยังคงมีสนามแม่เหล็กอยู่ และจะใช้น้ำที่มีความดันประมาณ 30-60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ล้างเอาแร่ซึ่งไม่ติดแม่เหล็กซึ่งอาจถูกแร่ติดแม่เหล็กอุ้มอยู่ออกไป

- ขั้นตอนที่ 3 จะปิดเครื่องไม่ให้มีสนามแม่เหล็กอยู่เลย แล้วใช้น้ำล้างเอาแร่ที่ติดแม่เหล็กซึ่งติดอยู่บนแผ่นที่เป็นร่องออกไป

ขั้นตอนทั้ง 3 จะใช้เวลาในการทำงาน 6-15 วินาที และได้มีทดลองใช้เครื่องแยกแบบนี้หลายปีมาแล้ว⁽⁹⁴⁾ อย่างไรก็ตามการทำงานเป็นจังหวะ 3 ขั้นตอนดังกล่าวทำให้ต้องเปิดกระแสไฟฟ้าเป็นช่วง ๆ และข้อยุ่งยากทางกลของเครื่องมือนี้ทำให้มันไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกแร่จำนวนมาก ๆ ในเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมเครื่องแยกควรจะทำงานได้ต่อเนื่องแทนที่จะเป็นจังหวะดังกล่าว



รูปที่ 4.9 เมทริกซ์ซึ่งมีรูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องในเครื่องแยกแร่ของโจนส์⁽⁸⁰⁾

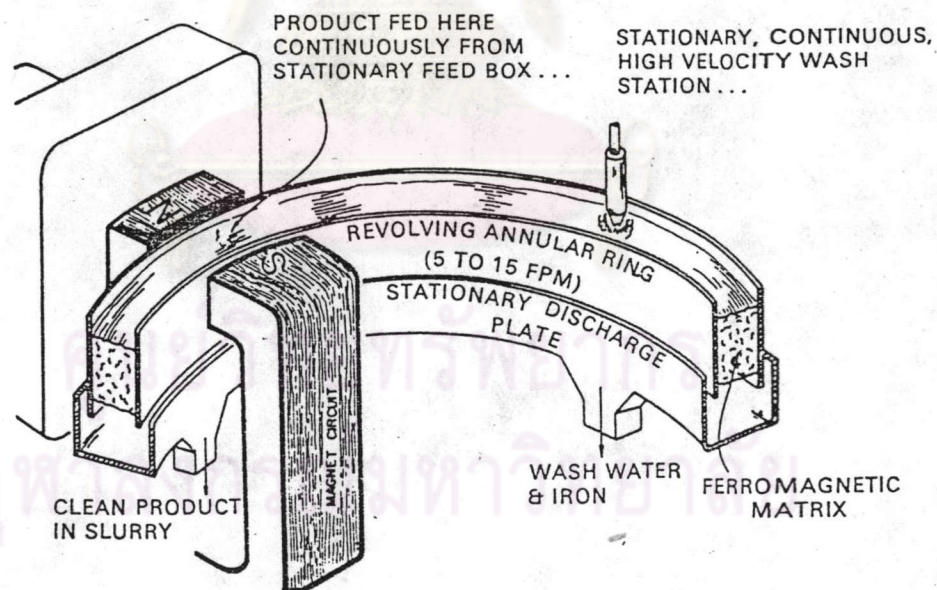


รูปที่ 4.10 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกของโจนส์ ซึ่งทำงานเป็นจังหวะ 3 ชั้นตอน⁽⁸⁰⁾

ได้มีความพยายามที่จะสร้างเครื่องมือชนิดโจนส์ให้ทำงานแบบต่อเนื่อง เช่น ได้มีการสร้างเครื่องแยกฟอเรียร์ (Forrer Separator) ขึ้นมาแต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์^(85, 95, 96) รูปที่ 4.11 ได้แสดงให้เห็นรูปร่างสำคัญของเครื่องแยกแร่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแบบเปียก ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาในตอนหลัง⁽⁸⁰⁾ โดยการใส่แม่เหล็กเข้าไปในช่องวงแหวน (Annular Box) ที่อยู่บนขอบนอกของตัวหมุน (Rotor) เรียกว่าถังคารูเซล (Carousel) ซึ่งจะติดอยู่กับแกนหมุน (Roller Shaft) แม่เหล็กนี้อาจทำเป็นเหล็กกลม (Steel Ball or Steel Sphere), แผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) แผ่นเหล็กรูปตาราง (Expanded Steel), ฝอยเหล็ก (Steel Wool or Steel Fibre) แร่ป้อนผสมน้ำจะป้อนเข้ามาในช่องวงแหวน ซึ่งหมุนไปตามถังคารูเซลภายใต้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดความชื้นสนามแม่เหล็กขึ้นบนแม่เหล็ก แร่ไม่ติดแม่เหล็กก็จะไหลผ่านออกไปช่องทิ้ง ส่วนแร่ติดแม่เหล็กก็จะดึงดูดติดกับแม่เหล็ก และจะหมุนตามถังคารูเซลออกไปนอกสนามแม่เหล็กซึ่งจะถูกล้างด้วยน้ำให้ไหลไปยังอีกช่องทิ้ง เครื่องแยกแร่ในลักษณะนี้อาจเรียกว่า

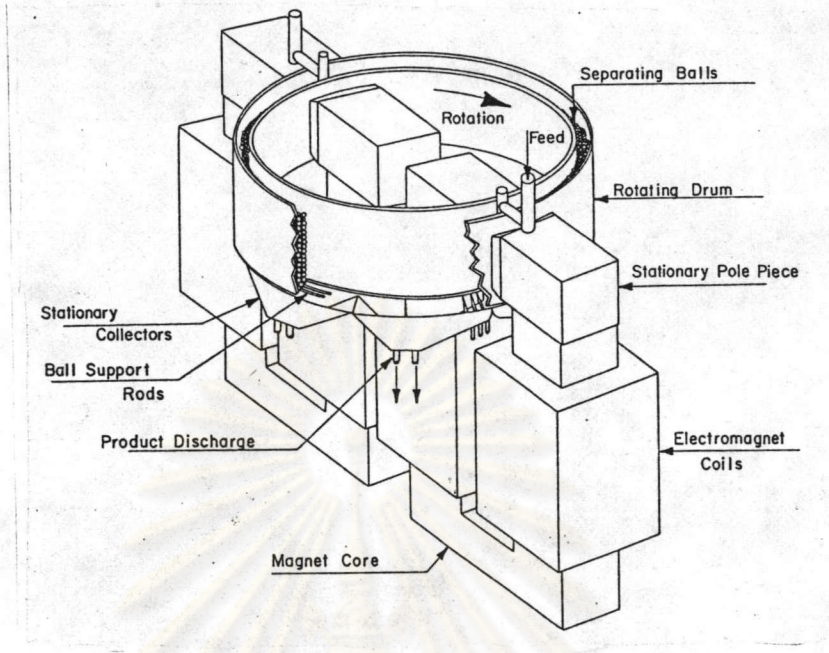
เครื่องแยกแร่ถึงคารูเซล (Carousel Separator) ซึ่งมีการออกแบบออกไปหลาย ๆ ลักษณะ ดังนี้

i) Carpco Separator, Carpco-Amax Separator หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Carpco Separator^(84, 97, 98) เป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (WHIMS) เครื่องแรกที่สร้างขึ้นมาใช้ในเชิงพาณิชย์โดยมีลักษณะของถึงคารูเซลดังกล่าวนี้ โดยมีเมทริกซ์ที่บรรจุในช่องวงแหวนเป็นแบบลูกเหล็กกลม (Steel Ball) ทำจากเหล็กอ่อนทางแม่เหล็ก (Magnetically Soft Iron) ซึ่งสามารถทำให้มีความเข้มแม่เหล็กสูง ความจุ (Capacity) ต่อชั่วโมงเหล็กของเครื่องขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ความเข้มสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำสูงถึง 22,000 เกาส์ มีความจุ 1 ตันต่อชั่วโมงต่อชั่วโมงเหล็ก ถ้าความเข้มลดลงเป็น 12,000 เกาส์ ความจุจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 ตันต่อชั่วโมงต่อชั่วโมงเหล็ก เครื่องต้องการกำลังไฟประมาณ 2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันแร่ป้อน น้ำหนักของเครื่องประมาณ 3 ตันต่อชั่วโมงเหล็ก ในอเมริกาใต้ใช้ในการลดปริมาณเหล็กจากแร่ฟอสเฟต⁽⁸⁴⁾ รูปร่างของเครื่องแสดงไว้ในรูปที่ 4.12



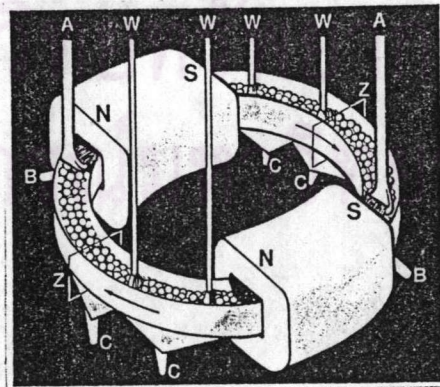
Essential features of carousel-type continuous high-intensity wet magnetic separator.

รูปที่ 4.11 ลักษณะที่สำคัญของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถึงคารูเซล⁽⁸⁰⁾



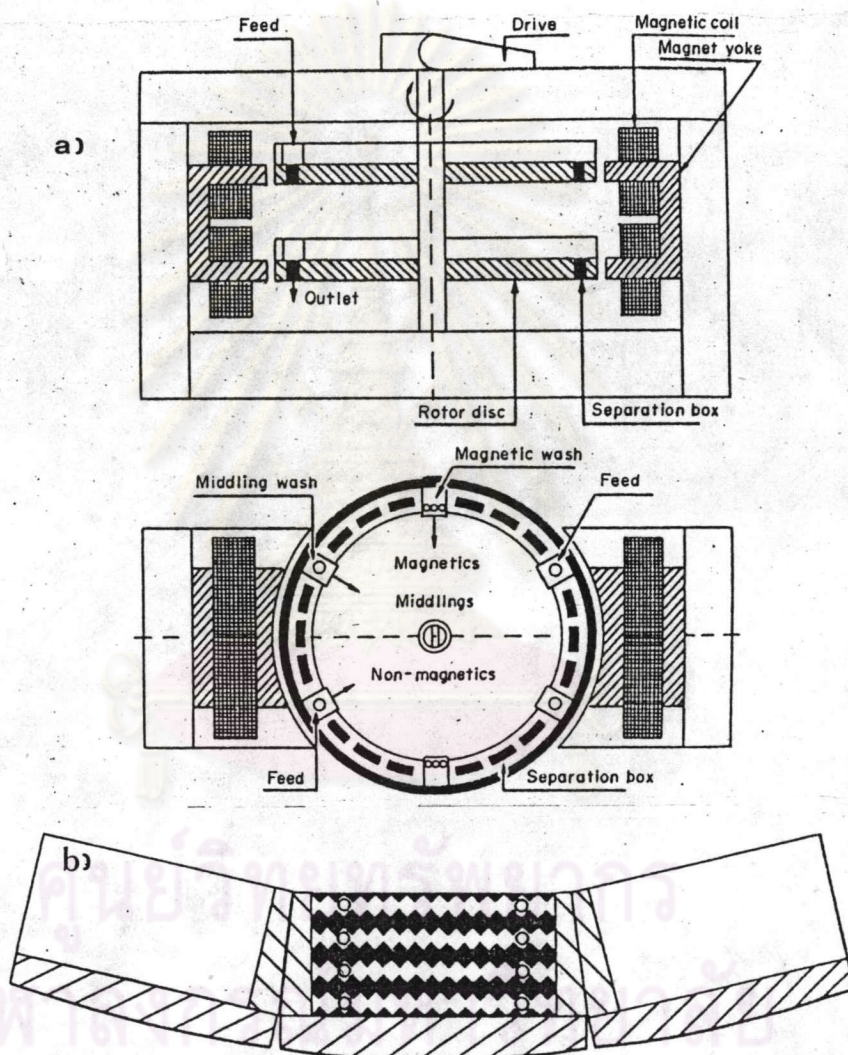
รูปที่ 4.12 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซล
Carpco Separator⁽⁸⁴⁾

ii) Krupp Sol Separator, บริษัท Sala Magnetics, Inc.
ได้ออกแบบเครื่องแยกแร่ถังคาร์บูเซล โดยการใช้ขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid) แทนวงจรมแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่ว ๆ ไป ทำให้มีน้ำหนักน้อยกว่า Carpco Separator และใช้ลูกเหล็กกลม (Steel Ball) เป็นเมทริกซ์คล้าย Carpco Separator รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซล
Krupp Sol Separator⁽⁴⁶⁾, A คือแร่ป้อนผสมน้ำ, B คือส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก, C คือส่วนที่ติดแม่เหล็ก, W คือน้ำ Z คือบริเวณกึ่งกลาง และ N,S คือขั้วเหนือ-ใต้ของแม่เหล็ก

iii) Jones Separator, Humbolt Division of Klockner-Humbolt-Deutz A.C. แห่งโคโลญน์ (Cologne) ประเทศสาธารณรัฐเยอรมันตะวันตก ได้พัฒนาเครื่องแยกแร่ของโจนส์ ซึ่งทำงานเป็นจังหวะ (ที่ได้อธิบายมาแล้ว) โดยออกแบบให้มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังคาร์บูเซล ซึ่งนำไปใช้แยกแร่ฮีมาไทต์ (Haematite) ขนาดละเอียดในเชิงพาณิชย์ได้ดี (99, 100)

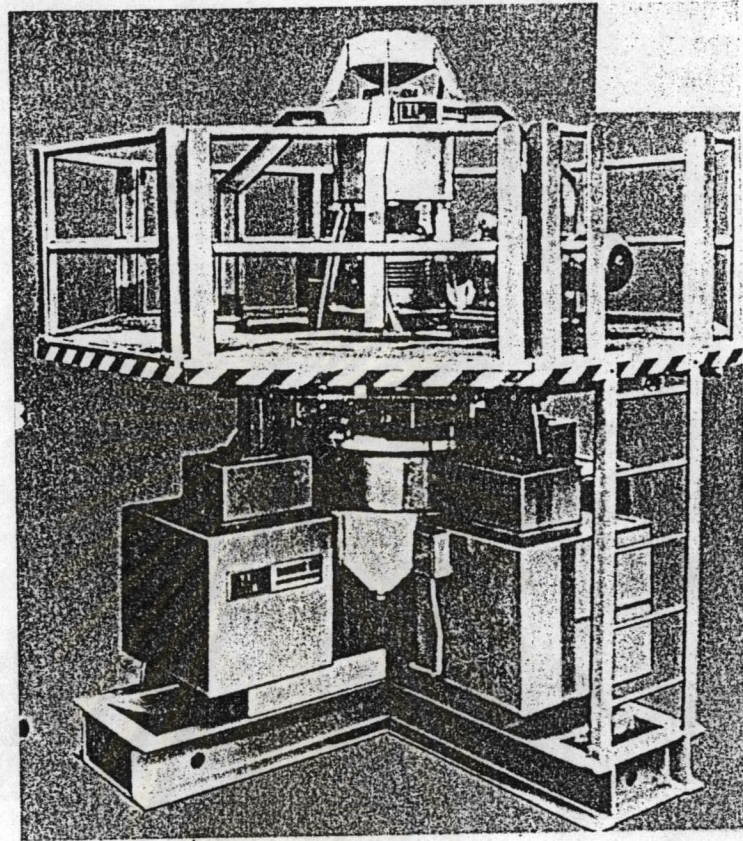


รูปที่ 4.14 (a) รูปร่างและการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความถี่สูงแบบเป็ยัก ชนิดถังคาร์บูเซล Jones Separator
(b) เมทริกซ์รูปร่างแบบแผ่นที่เป็นร่องใน Jones Separator⁽⁷⁰⁾

เครื่องแยกแร่ Jones Separator ก็เช่นเดียวกับ Carpco Separator Krupp Sol Separator ที่ใช้หลักการเครื่องแยกแร่ Forsgren Separator ซึ่งได้จดลิขสิทธิ์ในปี ค.ศ. 1897⁽⁸⁴⁾ มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังคาร์บูเซล

รูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นลักษณะของ Jones Separator ประกอบด้วยโครงเหล็กที่มีขั้วแม่เหล็กติดอยู่ โดยมีขดลวดแม่เหล็กพันอยู่รอบติดกับช่องระบายอากาศ (Air-Cooled Case) การแยกแร่เกิดขึ้นที่ช่องวงแหวน (Annular Box) ของถังคารูเซล (Carousel) โดยใช้แผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) ทำด้วยเหล็กอ่อนเป็นเมทริกซ์ (ดูรูปที่ 4.14 (b)) ซึ่งนำมาวางซ้อนกันเป็นชุด ๆ ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขั้วแม่เหล็ก โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะรวมเส้นแรงแม่เหล็กให้ลู่อัดตรงส่วนปลายของเมทริกซ์ซึ่งเป็นร่อง ซึ่งจะเพิ่มความเข้มข้นสนามแม่เหล็กและความเข้มข้นสนามแม่เหล็กตรงส่วนนั้น ในเวลาเดียวกันแร่ป้อนผสมน้ำจะป้อนผ่านวงแหวนที่หมุนวนสนามแม่เหล็กความเข้มสูงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จุดป้อนแร่จะอยู่ในตำแหน่งก่อนที่แร่จะถูกหมุนเข้าไปในสนามแม่เหล็ก ซึ่งในแต่ละตัวหมุน (Rotor) จะมีจุดป้อนแร่ 2 จุด (อยู่ใน ตำแหน่งสมมาตรกัน) (ดูรูปที่ 4.14) แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนจะเกาะติดกับเมทริกซ์ ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็กจะไหลผ่านเมทริกซ์ลงไปข้างล่างสู่ถังเก็บ ก่อนที่จะเคลื่อนออกจากสนามแม่เหล็ก ไปจะมีการฉีดน้ำความดันต่ำล้างแร่ไม่ติดแม่เหล็กสู่ช่องแร่คละ (Middlings) และเมื่อมันเคลื่อนมาถึงจุดกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2 ชุด ซึ่งตำแหน่งนี้ ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ แร่ติดแม่เหล็กถูกฉีดล้างด้วยน้ำที่มีความดันสูงถึง 5 บาร์ (Bar) สู่ช่องเก็บแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ปริมาณน้ำที่ในเครื่องแยกประมาณ 4 ตันต่อน้ำหนักแร่ 1 ตัน ปริมาณน้ำที่ใช้ร้อยละ 90 จะนำเอากลับมาใช้อีก เครื่องแยกสามารถปรับให้ความเข้มข้นแม่เหล็กเห็นเขื่อน้ำได้สูงกว่า 20,000 เกาส์ (Gauss) หากใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กป้อน (Applied Magnetic Field Intensity) 15,000 เอสเต็ด (Oersted) ต้องการกำลังไฟในขดลวดประมาณ 16 กิโลวัตต์ต่อขั้วแม่เหล็ก

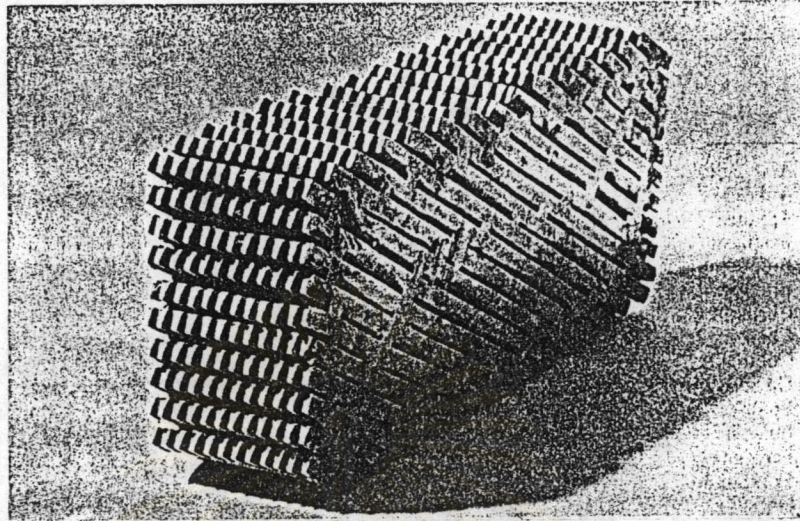
เครื่องแยกแร่ชนิดนี้นิยมใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เช่น แร่ฮีมาไทต์ (Haematite) แร่เหล็กที่มีคุณภาพต่ำ (Low Grade Iron Ore) เป็นต้น โดยใช้แยกแร่เหล่านี้ที่ขนาดละเอียดกว่า 200 เมช แนววิธีการลอยแร่ แม้ว่าจะยังไม่ใช้เครื่องแยกแร่นี้แพร่หลายนักในทวีปอเมริกาเหนือเพราะเงินลงทุนสูง โดยต้นทุนของเครื่องลอยแร่สำหรับแยกแร่ฮีมาไทต์นี้ประมาณร้อยละ 20 ของเครื่องแยกแร่นี้ แต่ค่าใช้จ่ายในการทำงานของการลอยแร่สูงกว่า 3 เท่าโดยได้คิดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ (Water Treatment) ในการลอยแร่ด้วย เมื่อคิดในระยะยาวเช่น 10 ปีขึ้นไป และมีการคิดค่าเสื่อมราคาด้วยแล้ว พบว่าการใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก จะดีกว่าการลอยแร่^(99, 101, 102, 103) สถานที่ที่ใช้เครื่องแยกแร่ Jones Separator ที่ใหญ่ที่สุดอยู่ที่ Companhia Vale de Rio Doce ใน Itabira ประเทศบราซิล ซึ่งใช้แยกแร่ฮีมาไทต์ (Haematite) ขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ขนาดความจุ (Capacity) 120 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.15 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล
Boxmag-Rapid Separator⁽⁷⁰⁾

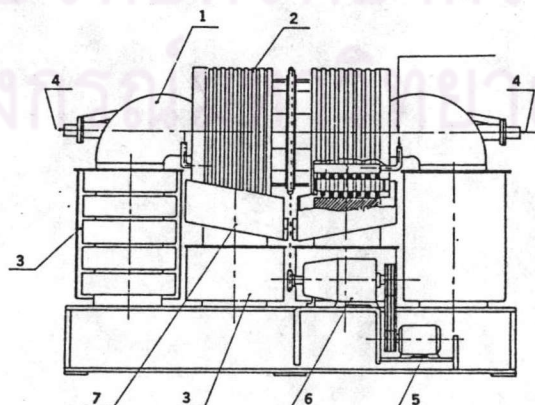
iv) Boxmag-Rapid Separator ซึ่งออกแบบโดยบริษัท Boxmag-Rapid Ltd. แห่งเมืองเบอร์มิงแฮม (Birmingham) ประเทศอังกฤษ ให้มีขั้วแม่เหล็ก 4 ชุด ดังรูปที่ 4.15 โดยที่ภายในช่องที่แยกแร่มีแม่เหล็กที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ซึ่งมีรูปร่างเป็น Wedge-Bar^(70, 104) คล้ายกับที่ใช้ในตะแกรงสั่นสำหรับการคัดขนาดเม็ดเล็ก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.16

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (WHIMS) ชนิดถังคารูเซลนี้ ได้มีการพัฒนาขึ้นมาอีกหลายลักษณะมีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น Eriez Separator⁽¹⁰⁵⁾ และเครื่องแยกแร่ถังคารูเซล ซึ่งออกแบบโดย Fraas และพัฒนาโดย Cribla S.A. แห่งบรัสเซลล์ ประเทศเบลเยียม^(106, 107)



รูปที่ 4.16 เมทริกซ์รูป Wedge-Bar ที่รูปทรงแข็งแรง ซึ่งใช้ใน Boxmag-Rapid Separator⁽⁷⁰⁾

3) ชนิดกระบอกลม เป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ซึ่งออกแบบโดย Ore Research Institute กรุงปราก ประเทศเช็กโกสโลวาเกีย ซึ่งเรียกว่า MRVK-1 Separator^(84, 108) ประกอบด้วยหน่วยแยก 2 หน่วย อยู่คนละด้าน ตามรูปที่ 4.17 แร่ป้อนจะป้อนเข้ามายังตำแหน่ง 4 ผ่านมายังกระบอกลมตำแหน่ง 2 ซึ่งหมุนรอบแกนนอน ภายในกระบอกลมมีเมทริกซ์ที่สานกันไว้เป็นรูปตาข่าย หัวแร่, แร่คละ และหางแร่ จะมีถังรองรับ กล่าวกันว่าเครื่องแยกนี้มีความจุ (Capacity) สูงกว่าเครื่องแยกแบบอื่น ๆ ที่มีขนาดเดียวกัน



รูปที่ 4.17 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดกระบอกลม MRVK-1 Separator⁽⁸⁴⁾

4) ชนิดคานิสเตอร์ (Canister-type Separator)⁽⁷⁰⁾ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสนามสูงแบบเปียก ซึ่งได้อธิบายมาข้างต้น เป็นชนิดซึ่งใช้ระบบการสร้างสนามแม่เหล็กแบบเดิม (Conventional Magnetic Circuit) ขดลวดไฟฟ้าจะสร้างสนามแม่เหล็กและฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ผ่านเข้าไปยังเมทริกซ์ซึ่งจะรวมฟลักซ์แม่เหล็กเหล่านั้น คล้ายกับการนำไฟฟ้าของทองแดง⁽¹⁰⁹⁾ การใช้วงจรของโลหะเหล็ก (Iron Circuit) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำความเข้มสูงขึ้นตรงบริเวณช่องว่าง (Air Gap) อาจสูงไปจนถึง 20,000 เกาส์ โดยใช้พลังงานไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็ก (Lines of Flux) จะถูกทำให้ลู่เข้าหากันในวงจรเหล็กเหล่านั้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กตรงบริเวณที่มีลักษณะปลายแหลมมีความหนาแน่นของฟลักซ์ (Flux Density) สูงกว่าสนามแม่เหล็กซึ่งป้อนเข้ามา (Applied Magnetic Field Intensity) หลายเท่า (ดูหัวข้อที่ 4.2.2) ซึ่งเป็นเหตุให้ระบบนี้มีข้อเสียกล่าวคือ ต้องใช้ปริมาตรของแท่งเหล็ก (ที่ใช้ทำเมทริกซ์) มากกว่าปริมาตรของช่องว่างมาก เครื่องแยกดังกล่าวจึงมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับความจุ⁽⁸⁰⁾ เครื่องแยกขนาดใหญ่ต้องใช้โลหะเหล็กมากกว่า 200 ตัน เพื่อทำพื้นที่รวมเส้นแรงแม่เหล็ก ดังนั้นเงินลงทุนขั้นต้นและค่าติดตั้งจึงสูงมาก

และเมื่อไม่นานมานี้จึงได้มีการพัฒนา เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกซึ่งออกแบบโดยใช้ระบบ Iron-Clad Solenoid⁽¹¹⁰⁾ (รูปที่ 4.18) ซึ่งใช้หลักการของขดลวด Solenoid ซึ่งสามารถแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน ๆ ออกจากของไหลเมื่อผ่านเครื่องแยกนี้ได้⁽¹¹¹⁾ เครื่องประกอบด้วย เมทริกซ์ ซึ่งเป็นฝอยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Wool) บรรจุอยู่ในทรงกระบอกซึ่งมีปริมาตรประมาณร้อยละ 5-10 ของช่องว่างทรงกระบอกทั้งหมด ทรงกระบอกนี้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงและสม่ำเสมอป้อนอยู่ ซึ่งทำให้ความชันของสนามแม่เหล็กมีค่าสูงถึง 1 กิโลเกาส์ต่อไมโครเมตร (1 k Gauss^{-1})⁽¹¹²⁾ แร่ป้อนผสมน้ำจะถูกป้อนทางด้านล่าง และแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน ๆ จะติดติดกับเมทริกซ์ แร่ไม่ติดแม่เหล็กจะผ่านไป ซึ่งการทำงานของเครื่องแยกน้ำจะทำงานเป็นจังหวะกล่าวคือ เมื่อมีแร่ติดแม่เหล็กเกาะอยู่บนฝอยเหล็กกล้าไร้สนิมปริมาณพอควร ก็จะหยุดป้อนสนามแม่เหล็กให้แก่เครื่องแยก แล้วจึงนำน้ำมาฉีดทำความสะอาดเพื่อล้างเอาแร่ที่ติดแม่เหล็กออกไปจากฝอยเหล็กกล้าเหล่านั้น (ถ้าไม่ทำการล้างด้วยน้ำแล้ว ความสามารถในการรับแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน ๆ ของฝอยเหล็กกล้าจะลดลง เนื่องจากมีแร่ติดแม่เหล็กมาเกาะอยู่มากเกินไป) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่การออกแบบในระบบนี้ จะมีอัตราส่วนของโลหะเหล็กที่ใช้ทำเมทริกซ์ต่อช่องว่างที่ใช้ในการแยกน้อยกว่าระบบที่ใช้วงจรโลหะเหล็ก (Iron Circuit) ซึ่งได้อธิบายมาแล้ว จึงทำให้เครื่องแยกชนิดนี้มีน้ำหนักน้อยเมื่อเทียบกับความจุ แต่มีข้อเสียคือเครื่องแยกต้องใช้

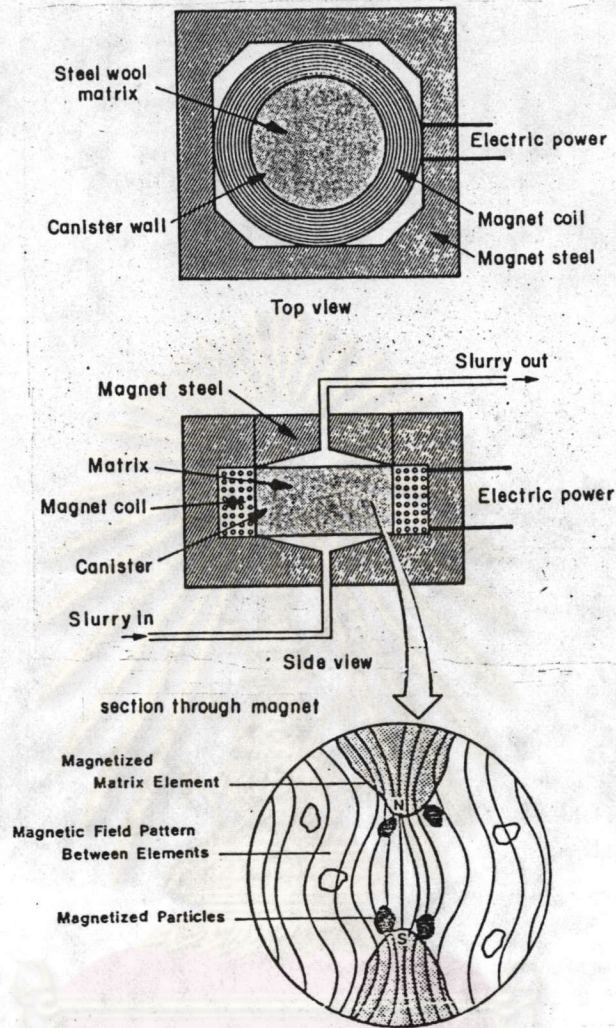
ขดลวดทองแดงหรืออลูมิเนียมมากและใช้พลังงานมาก เครื่องขนาดใหญ่จะมีเมทริกซ์บรรจุอยู่ในช่องที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เมตร มีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ 20,000 เกาส์ ใช้กำลังงาน 20 กิโลวัตต์ มีความจุแร่ป้อนระหว่าง 10-80 ตันต่อชั่วโมงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพแร่ในขั้นสุดท้ายที่ต้องการ

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดนี้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมดินขาวทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา⁽¹¹³⁾ และที่คอร์นวอลล์ (Cornwall) ประเทศอังกฤษ⁽¹¹⁴⁾ โดยใช้แยกแร่ที่มีส่วนประกอบของธาตุเหล็ก และธาตุไทเทเนียม (Titanium) ซึ่งมีขนาดเล็กที่เจือปนอยู่ออกไป

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กซึ่งใช้หลักการของขดลวด Solenoid ในขณะนี้ กำลังมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง ซึ่งจะสามารถศึกษาและค้นคว้าเพิ่มเติมเรื่องดังกล่าวได้จากเอกสารอ้างอิงอื่น ๆ^(115, 116, 117, 118, 119)

5) ชนิดตัวนำยิ่งยวด (Superconducting Separator)^(69, 70)

ได้มีผู้นำเอาเทคนิคของการเป็นตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Superconductor) ของโลหะผสมบางชนิดมาประยุกต์ใช้กับเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก^(120, 121) ยกตัวอย่างเช่น โลหะผสมไนโอเบียม-แทนทาลัม (Niobium-Tantalum) ที่อุณหภูมิต่ำ 4.2 เคลวิน (Kelvin) ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายใต้ของเหลวฮีเลียม (Liquid Helium) และเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านขดลวดตัวนำพิเศษดังกล่าว แล้วก็จะมีการไหลอยู่ต่อเนื่องโดยไม่ต้องต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และจะทำให้ขดลวดกลายเป็นขั้วแม่เหล็กถาวรที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ และมีความเข้มสูงมากมาหลายหมื่นแอมแปร์ซึ่งอาจสูงถึง 150,000 เกาส์ อย่างสม่ำเสมอ ความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่า 7,000 เกาส์ต่อเซนติเมตร ได้มีการทดลองเครื่องแยกต้นแบบ และเชื่อว่าหากสามารถพัฒนาเครื่องแยกให้มีความจุ (Capacity) ของแร่ป้อนได้ถึง 100 ตันต่อชั่วโมงแล้วก็จะคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์⁽¹²²⁾ ทั้งนี้ได้คำนึงถึงต้นทุนเครื่องมือ ค่าใช้จ่ายในการนำเอาฮีเลียมเหลว (Liquid Helium) ไฮโดรเจนเหลว (Liquid Hydrogen) หรือไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) วนกลับมาใช้ เพื่อทำเป็นตัวหล่อเย็น (Coolant) ทำให้อุณหภูมิต่ำลง⁽⁸⁰⁾ อย่างไรก็ตามจากการที่ได้พบสารตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Superconductor) เมื่อเร็ว ๆ นี้ นั้น คาดว่าจะพัฒนาเทคนิคนี้ในการแยกแร่ในอนาคตได้ในราคาถูก



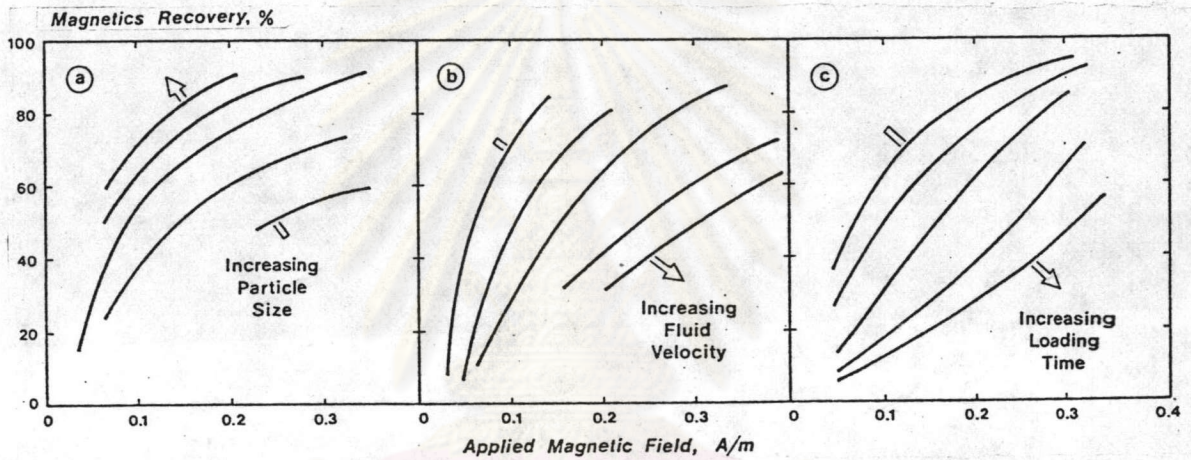
รูปที่ 4.18 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์ (69,70)

4.3.2 สมรรถนะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

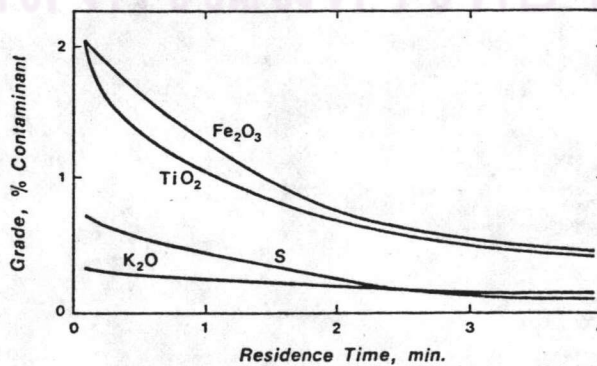
(Performance of High Intensity Wet Magnetic Separator)

สมรรถนะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกนั้น มีปัจจัยที่มีผลต่อการแยกหลายประการ เช่น ขนาดของแร่ป้อน, ขนาดของแร่มลทินที่ติดแม่เหล็ก ความเร็วของแร่ผสมน้ำที่ผ่านเมทริกซ์, เวลาที่ใช้ในการแยก, ค่าความเข้มข้นแม่เหล็ก, ปริมาณของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ (ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 20-30 % Solids), ขนาดของเมทริกซ์, ความหนาแน่นของเมทริกซ์, คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ป้อนผสมน้ำ ฯ รูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดงผลของ เม็ดแร่ป้อน, ความเร็วของแร่ผสมน้ำที่ป้อนเข้ามา และเวลาที่ใช้ในการแยก ที่มีผลต่อการเก็บแร่ติดแม่เหล็ก (Magnetics Recovery) (123) ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดคานิสเตอร์ (Canister-type Separator) ซึ่งใน

เอกสารอ้างอิงอื่น ๆ ก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน^(77, 124, 125) กล่าวคือ ตามรูปที่ 4.19 (a) แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการแยกแร่ที่มีขนาดเล็กลงให้ได้ปริมาณมากขึ้นจะต้องให้ความเข้มข้นแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้นเพื่อที่จะเอาชนะแรงอุทกจลน์ (Drag Force) รูปที่ 4.19 (b) แสดงให้เห็นว่าเมื่อต้องการเพิ่มความจุ (Capacity) ของเครื่องแยก จะมีผลทำให้ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำที่ผ่านเมทริกซ์สูงขึ้น ดังนั้นเมื่อต้องการแยกแร่ติดแม่เหล็กให้ได้ปริมาณมากแล้ว จะต้องเพิ่มความเข้มข้นแม่เหล็กให้สูงขึ้น ซึ่งมีผลคล้ายกับกราฟในรูปที่ 4.20 ซึ่งแสดงผลของการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องแยกชนิดคานิสเตอร์⁽⁶⁹⁾ ซึ่งเมื่อเพิ่มความเร็วของแร่ป้อนหน้าจะเป็นผลทำให้เริ่มเวลาอยู่ในเครื่องแยกน้อยลง (Low Residence Time) ก็จะมี



รูปที่ 4.19 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกแร่ ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์⁽⁶⁹⁾ อันได้แก่
 (a) ขนาดของเม็ดแร่
 (b) ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำ
 (c) เวลาที่ใช้ในการแยก



รูปที่ 4.20 แสดงผลการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องแยกชนิดคานิสเตอร์⁽⁶⁹⁾

ทำให้แยกมลทินออกจากดินขาวได้น้อยลง ส่วนรูปที่ 4.19 (c) นั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้เครื่องแยกชนิดคานิสเตอร์ ผลของเวลาที่ใช้ในการแยกแร่ในแต่ละวัฏจักร (คือ Loading Time เป็นเวลาซึ่งเมื่อเริ่มป้อนแร่เข้าไปในเครื่องแล้วเมทริกซ์ทำการดึงดูเอาแร่มลทินออกมาจนกระทั่งหยุดป้อนแร่ และทำให้ส่นามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อให้นำล้างมลทินออกมา) ซึ่ง จะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการแยกแต่ละวัฏจักร (Loading Time) นานจนเกินไปแล้ว ความสามารถในการดึงดูเอามลทินของเมทริกซ์จะลดลง ซึ่งหากต้องการให้เครื่องแยกสามารถแยกเอามลทินเพิ่มขึ้นไปอีก จะต้องเพิ่มความเข้มข้นแม่เหล็ก ดังนั้นเครื่องแยกแร่ชนิดคานิสเตอร์ จึงทำงานเป็นจังหวะไม่ต่อเนื่อง (จะต้องมีการหยุดเครื่องเป็นพัก ๆ) เพื่อทำการล้างเอามลทิน ซึ่งติดอยู่กับเมทริกซ์ออกไป นอกจากนี้แล้วกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องแยกยังสามารถแสดงออกมาได้ในรูปคณิตศาสตร์อีกด้วย⁽¹²⁶⁾

4.3.3 การประยุกต์ใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกในอุตสาหกรรม การแยกแร่

การประยุกต์ใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกนั้น เพิ่งจะมีมา ไม่มากนัก และที่นำเอาไปใช้ในอุตสาหกรรมแร่ที่ใหญ่ที่สุด คือการนำเอาเครื่องแยกชนิดโจนส์ (Jones Separator) ไปแยกแร่ฮีมาไทต์ขนาดละเอียดที่ Campanhia Vale de Rio Doce ใน Itabira ประเทศบราซิล ซึ่งได้ผล^(99, 101, 102) ยังมีผู้ได้ศึกษาถึงการนำเอาเครื่อง แยกไปใช้แยกแร่ฮีมาไทต์เพิ่มเติมอีกหลายคน^(127, 128, 129, 130, 131) และอุตสาหกรรมแร่ที่ นำไปใช้ขนาดใหญ่เป็นอันดับสองก็คือ การนำเอาเครื่องแยกชนิดคานิสเตอร์ (Canister-type Separator) ไปใช้แยกมลทินออกจากดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ (Coating Quality Kaolin) โดยประเทศสหรัฐอเมริกา และสหราชอาณาจักรเป็นสองประเทศผู้นำ ด้านนี้^(113, 114) นอกจากนี้แล้วได้มีการนำเอาไปใช้ และคาดว่าจะมีการนำเอาไปใช้ในการ แยกแร่ชนิดอื่น ๆ อีก⁽⁸⁰⁾ ดังต่อไปนี้

- 1) ใช้แยกแร่เหล็กฮีมาไทต์ (Haematite) คุณภาพสูงเพื่อใช้ทำเฟอร์ไรต์ (Ferrite) หรือใช้ถลุงโดยตรงให้เป็นผงเหล็ก (Direct Reduction to Iron Powder)
- 2) ใช้แยกแร่มลทินที่ติดแม่เหล็กออกจาก หั้วแร่ดีบุกชนิดแคสซิเทอไรต์ (Cassiterite)
- 3) ใช้แยกแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) ออกจากแร่ใยหิน (Asbestos)
- 4) ใช้แยกแร่ฮีมาไทต์ (Haematite) ออกจาก แร่ฟอสเฟตอะพาไทต์ (Apatite)

- 5) ใช้แยกแร่ลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากแรชีไลต์ (Scheelite)
- 6) ใช้แยกแร่ลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ทัลค์ (Talc)
- 7) ใช้แยกแร่ลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากทราย (Silica Sand) หรือแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)
- 8) ใช้แยกแร่วูลแฟรมไมต์ (Wolframite) และแร่โมลิบดีนัมที่ไม่ใช่แร่สารประกอบซัลไฟด์ (Non-Sulphide Molybdenum-Bearing Mineral) ออกจากหางแร่ที่เกิดจากการลอยแร่
- 9) ใช้แยกแร่ยูเรเนียม (Uranium Ore)
- 10) ใช้แยกแก้วที่มีสี (Coloured Glass) ออกจากแก้วที่ไม่มีสี (Colourless Glass) ในขั้นตอนการนำเอากลับมาใช้อีกครั้งหนึ่ง (Recycling Operation)
- 11) ใช้แยกแร่หนัก (Heavy Mineral) จากแร่ชายหาด (Mineral Beach Sand)
- 12) ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแร่อุตสาหกรรมบางชนิด ^(124, 132, 133)
- 13) คาดว่าจะสามารถใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกมาใช้ในการแยกซัลเฟอร์ (Sulphur) ออกจากถ่านหิน ^(132, 134, 135, 136) อย่างไรก็ตาม ซัลเฟอร์ซึ่งแยกออกมาที่นั่นสามารถแยกออกมาได้จำนวนหนึ่งเท่านั้น เพราะซัลเฟอร์ที่พบอยู่ในถ่านหินประมาณครึ่งหนึ่งอยู่ในสารประกอบไพไรต์ (Pyrite, FeS₂) ซึ่งติดแม่เหล็กอย่างอ่อนมาก (Feebly Magnetic) ส่วนซัลเฟอร์ที่เหลือนั้นอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ (Organic Sulphur)
- 14) คาดว่าจะมีการประยุกต์ใช้ เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ทำให้นำวัสดุที่ขึ้นโดยใช้การกรองด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Filtration) ^(137, 138) และการตกตะกอนด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Flocculation) ^(139, 140)

ตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นแร่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งอาจแยกได้ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กต่าง ๆ

4.4 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคารูเซล

ตัวแปรของ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator, WHIMS) ชนิดถังคารูเซล (Carousel Type)⁽¹⁴⁴⁻¹⁴⁵⁾ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

i) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับแร่ป้อน ตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ คุณภาพของแร่ป้อนที่จะทำการแยก (เช่นปริมาณมลทินติดแม่เหล็กในแร่ป้อน), ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ของแร่มลทินติดแม่เหล็กในแร่ป้อนนั้น นอกจากนั้นแล้วยังได้แก่ ความหนาแน่น (Pulp Density) ของของผสม และอัตราการป้อนแร่ (Flow Rate) ฯลฯ

ii) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ WHIMS ตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการแยกมลทินติดแม่เหล็ก, อัตราเร็วถังคารูเซล, ชนิดของเมทริกซ์ที่ใช้, แรงดันและปริมาณของน้ำที่ใช้ในการฉีด แร่ติดแม่เหล็กและแร่ละเอียดให้ออกจากเมทริกซ์, การปรับช่องแบ่ง (Splitter) ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กและแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ฯลฯ

ได้ทำการศึกษาตัวแปรการทำงานของ เพื่อแยกแร่มลทิน (ที่มีธาตุเหล็กเจือปน) ติดแม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก กลุ่มแร่มลทินติดแม่เหล็กได้แก่ แร่คาร์เนต, ทัวร์มาลีน, มีสโคไวต์ และไพไรต์ ซึ่งเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ควออตซ์ โดยทำการทดลองกับแร่ป้อนที่ผ่านการบดลดขนาด -60 เมช (-250 ไมครอน) ตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราการป้อนของผสม (อัตราการไหลของแร่ป้อน), % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ (%Solid) และอัตราเร็วถังคารูเซล

4.4.1 อุปกรณ์

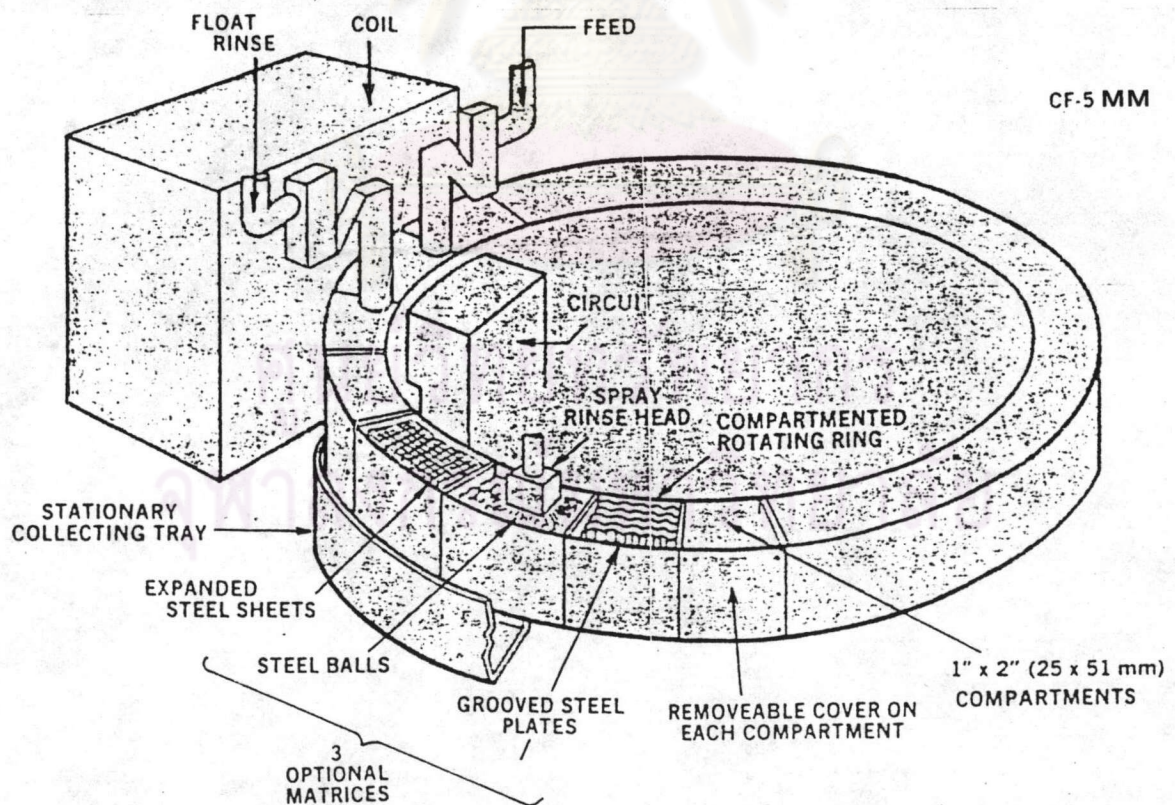
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (WHIMS) ชนิดถังคารูเซล ขนาดโรงประลองแยกแร่ ของ Eriez Magnetic Co., Ltd. รุ่น CF-5⁽¹⁴⁴⁾ (ความสามารถในการทำงานขึ้นกับ ชนิดแร่ป้อนและความต้องการของการแยก, ความจุของเครื่องประมาณ 225 ถึง 675 กิโลกรัมแร่แห้ง/ชั่วโมง) มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

ก) ขดลวดไฟฟ้า (Electro Coil) ซึ่งผลิตสนามแม่เหล็กความเข้มสูง โดยการแปรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Ampere) หรือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt) หรือ กำลังไฟฟ้า (Watt)

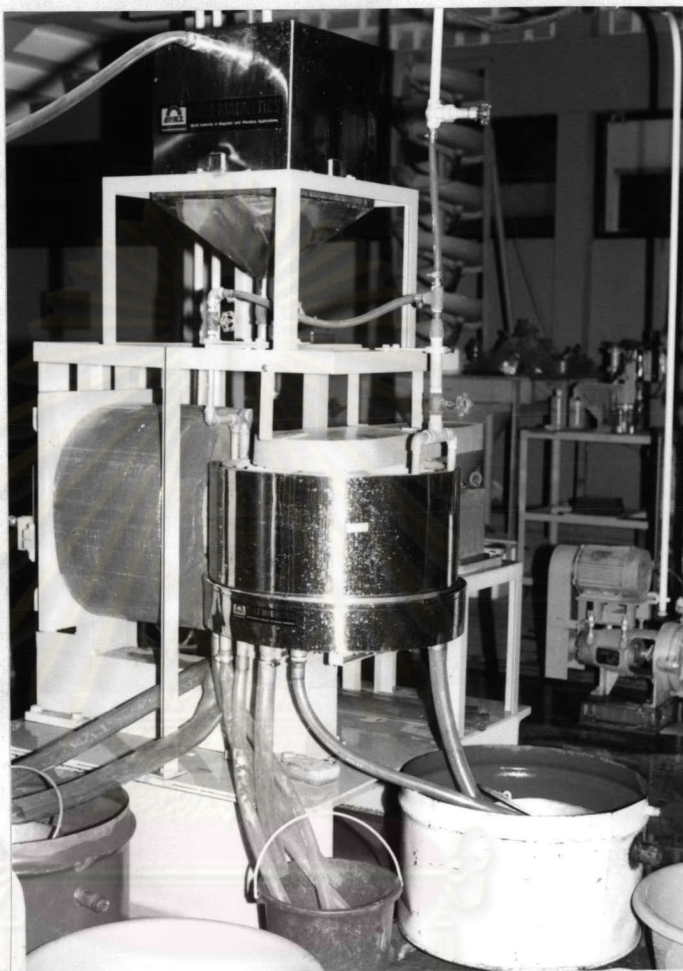
ข) ทรงกระบอกวงแหวนกลางหรือถังคารูเซล (Annular Ring or Carousel) ซึ่งบรรจุแม่เหล็กแม่เหล็ก โดยหมุนวนเข้มนาฬิกาในแนวราบ ผ่านหัวแม่เหล็ก ความเข้มสูงซึ่งเป็นบริเวณทำการป้อนแร่

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

เมทริกซ์ที่ใช้เป็นชนิดตาข่ายสแตนเลส (Stainless Wire Mesh) รุ่น EX-4Z การทำงานเมื่ออุปกรณ์ช่วยเหลือการทำงาน เช่น ถังกวน (Agitator) ของแร่ป้อนผสมน้ำ, ระบบสูบของผสม (แร่ป้อนผสมน้ำ) ซึ่งสามารถแปรเปลี่ยนแปรเปลี่ยนอัตราการป้อนของผสม (Flowrate), ตู้ควบคุม (Control Box) ซึ่งทำการควบคุมสภาวะแม่เหล็ก และอัตราเร็วถังคารูเซล (Carousel Speed) ส่วนประกอบ และอุปกรณ์ในการทำงาน ได้แสดงตามรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 (ก, ข และ ค)

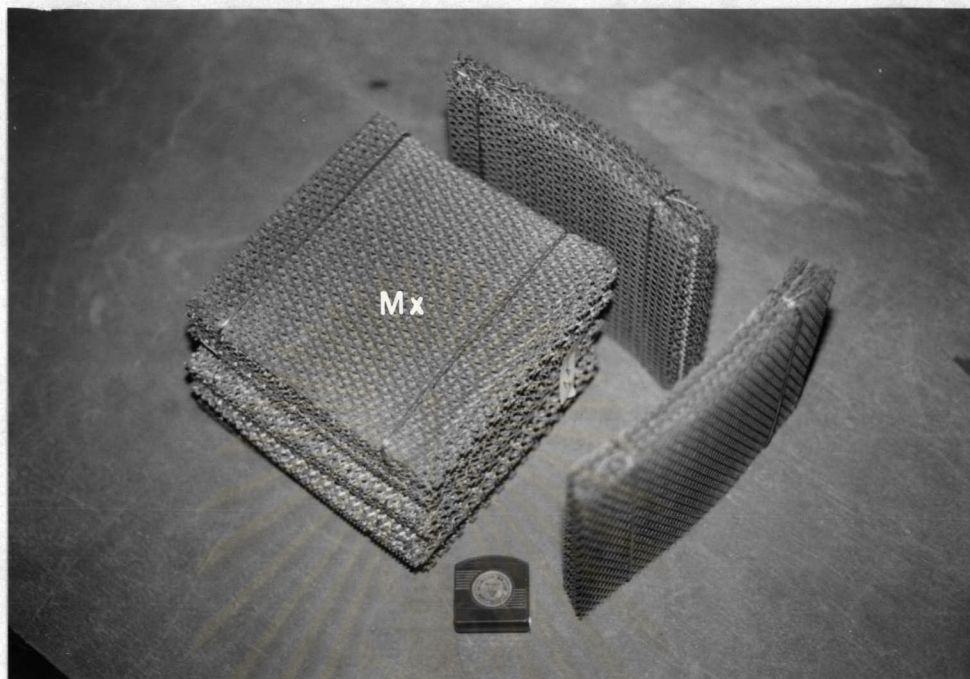


รูปที่ 4.21 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องแยกแร่ WHIMS ชนิดถังคารูเซล (145)

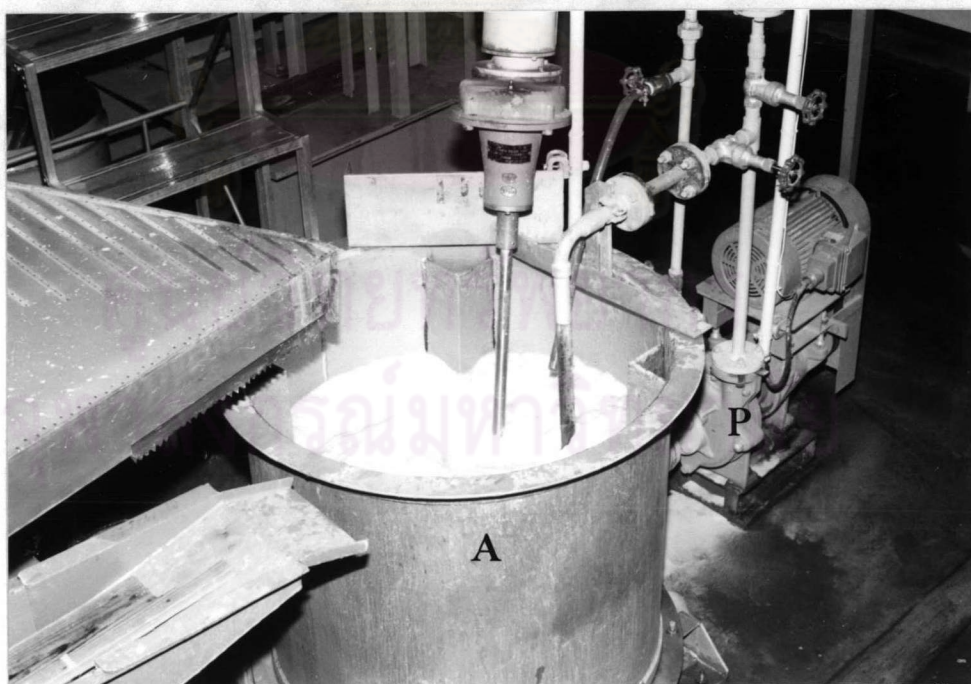


รูปที่ 4.22 WHIMS ชนิดถังคาร์บูเชล ของ Eriez Magnetic Co., Ltd.
รุ่น CF-5 (144)

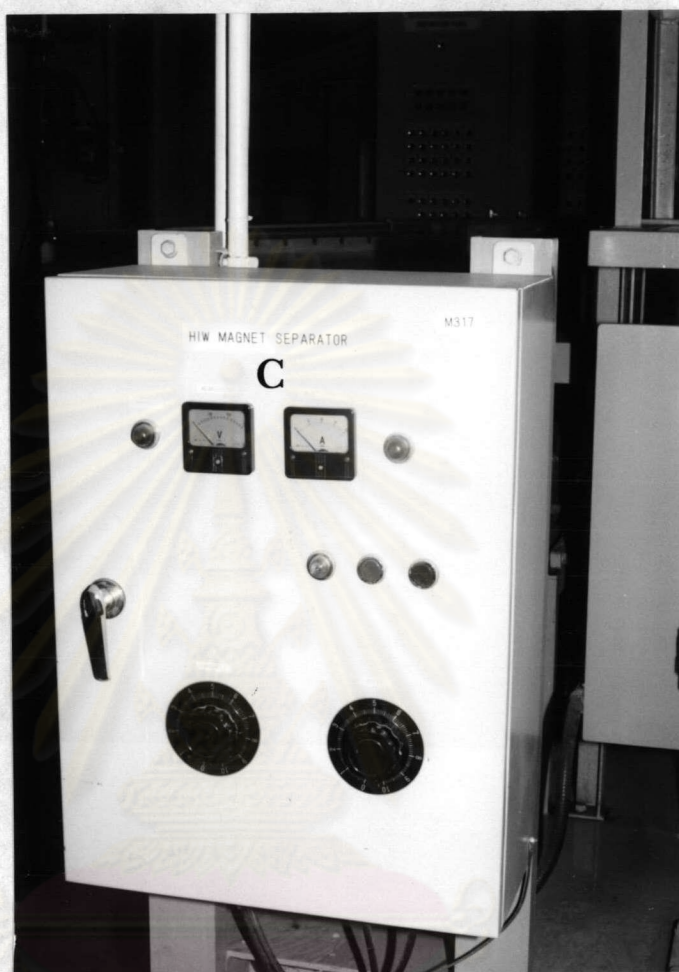
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) เมทริกซ์ชนิดตาข่ายสแตนเลส (Mx) รุ่น EX-4Z⁽¹⁴⁴⁾



ข) อุปกรณ์ช่วยเหลือนำในการทำงาน ถึงกวนแร่ป้อนผสมน้ำ (A)
ระบบสูบน้ำของผสม (P)⁽¹⁴⁴⁾



ค) ตู้ควบคุมสนามแม่เหล็ก และอัตราเร็วถังคาร์บูเชล (C)⁽¹⁴⁴⁾

รูปที่ 4.23 อุปกรณ์ของ WHIMS ชนิดถังคาร์บูเชล รุ่น CF-5⁽¹⁴⁴⁾

ก) เมทริกซ์ชนิดตาข่ายสแตนเลส (Mx) รุ่น EX-4Z

ข) อุปกรณ์ช่วยเหลือในการทำงาน ถังกวนรับโอนผสมน้ำ (A)
ระบบสูบของผสม (P)

ค) ตู้ควบคุมการผลิตสนามแม่เหล็ก และอัตราเร็วถังคาร์บูเชล (C)

4.4.2 วิธีการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดตัวแปรคงที่ และตัวแปรที่จะศึกษา ดังนี้ คือ

A) ตัวแปรคงที่ ได้แก่ ชนิดแร่ และขนาดแร่ป้อนของแร่เฟลด์สปาร์ และแร่มลทินที่อยู่ร่วมกัน ขนาด -60 เมช ซึ่งต้องการความเข้มข้นแม่เหล็กในการแยกตามตารางที่ 4.1 ในการแยกเอาแร่มลทินติดแม่เหล็กอย่างอ่อนออกมา โดยทำการปรับช่องแบ่งแยกแร่คละให้รวมกับแร่ติดแม่เหล็ก เพื่อเพิ่มความสะอาดของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก และใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กสูงสุด (พิจารณาผลการวัดความเข้มข้นแม่เหล็ก ตามรายละเอียดภาคผนวก ณ) ตามสมรรถนะที่กล่าวไว้หัวข้อ 4.3.2

B) ตัวแปรที่สนใจทำการศึกษา โดยคำนึงถึงการเก็บแร่ได้ (%Recovery or % Yield or % Weight of Non Magnetic Mineral), คุณภาพความสะอาด (Grade or % Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 (%Reject of Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็กซึ่งตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ (% Solids) หรือความหนาแน่นของของผสม (Pulp Density), อัตราการป้อนของผสม (Pulp Flow Rate) และอัตราเร็วถึงคารูเซล (Carousel Speed)

รายละเอียดสภาวะการทำงานของ WHIMS ชนิดถังคารูเซลในการแยกแร่เฟลด์สปาร์ ตามตารางที่ 4.2 และตัวแปรของการวิจัยการแยกแร่ด้วย WHIMS ชนิดถังคารูเซลตามตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2

สภาวะการทำงานของ WHIMS ชนิดถังคาร์บูเชลในการแยกแร่เฟลด์สปาร์

| ตัวแปร | รายละเอียด |
|----------------------------|--|
| i) แร่ป้อน | <ul style="list-style-type: none"> :- แร่เฟลด์สปาร์, ควอร์ตซ์ และแร่มลทินติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เช่น แร่การ์เนต, ทัวร์มาลีน, มีสโคไวต์ และแร่ไฟโรต์ ที่ขนาด - 60 เมช การกระจายตัวของขนาด ตามตารางที่ 3.8 , 0.26 %Fe₂O₃ :- % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ (% Solids) 4 ค่า คือ 10, 20, 30, 40 :- ความเข้มข้นแม่เหล็กในการแยกมลทินติดแม่เหล็กออกมา ตามตารางที่ 4.1 |
| ii) คุณภาพแร่ที่ผ่านการแยก | <ul style="list-style-type: none"> :- ต้องการเป็นแร่ไม่ติดแม่เหล็กผ่านเข้าไปใน WHIMS 1 ครั้ง/สภาวะการทำงาน :- การปรับช่องแบ่งแยกแร่คละให้รวมกับแร่ติดแม่เหล็กเพื่อเน้นความสะอาดของแร่ไม่ติดแม่เหล็กโดยตัวตัดแบ่งคองท์ |
| iii) การทำงานของ WHIMS | <ul style="list-style-type: none"> :- ความเข้มข้นแม่เหล็กสูงสุด บริเวณจุดป้อนแร่ 9.4 KG (อากาศ) ซึ่งมีค่าประมาณ 9.4 KOe :- อัตราเร็วถังคาร์บูเชล 2 ค่า ที่ 0.60 และ 3.38 เมตร/นาที ตามลำดับ :- อัตราเร็วรอบใบพัดถึงกวน 295 RPM กวนเป็นเวลา 5 นาที ก่อนการป้อนแร่ :- การควบคุมอัตราการป้อนโดยระบบวาล์ว (Value) ของระบบสูบของผสม และถึงกวน ตามรูปที่ 4.23 (ข) :- ปริมาณน้ำจืดล้างแร่คละออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (Float Rinse) ประมาณ 3.42 ลิตร/นาที :- ปริมาณน้ำจืดไล่แร่ติดแม่เหล็ก (Spray Rinse) ประมาณ 61.17 ลิตร/นาที |

ตารางที่ 4.3

ตัวแปรของการวิจัยแยกแร่ด้วย WHIMS ชนิดถังคารูเซล

| ตัวแปร | รายละเอียด | | | |
|---|------------|------|-------|-------|
| 1) แร่ป้อน (กก.) | 8 | 16 | 24 | 32 |
| % ของผลสม โดยน้ำหนัก | 10 | 20 | 30 | 40 |
| % ของของผลสม โดยปริมาตร | 4.13 | 8.80 | 14.25 | 20.54 |
| ความหนาแน่นของผลสม, กก./ม. ³ | 1.07 | 1.14 | 1.23 | 1.33 |
| 2) อัตราการป้อน (ในที่นี้จะใช้เป็นลักษณะอัตราการป้อนของผลสม เพราะเป็น % ของของแข็งในแร่ป้อนผลสมน้ำค่าต่าง ๆ) | | | | |
| อัตราการป้อน (ลิตร/นาที) | 5 | 10 | 15 | |
| ความเร็วการป้อน (เมตร/นาที) | 18 | 34 | 53 | |
| 3) อัตราเร็วถังคารูเซล | | | | |
| จำนวนเส็ก | 2 | 6 | 10 | |
| รอบ/นาที (ตามแนวเส้น) | 0.31 | 1.03 | 1.76 | |
| เมตร/นาที (ตามแนวเส้น) | 0.60 | 1.98 | 3.38 | |

4.4.3 ผลการวิจัยและอภิปราย

พิจารณาตัวแปรที่สนใจ คือ อัตราการป้อนของผลสม 3 ค่า คือ 5, 10, 15 ลิตร/นาที ที่ % ของของแข็งในแร่ป้อนผลสมน้ำเท่ากับ 10, 20, 30, 40 และอัตราเร็วถังคารูเซล 2 ค่า ที่ 0.60, 3.38 เมตร/นาที ผลการวิจัยแสดงตามตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลในเชิงปริมาณ ดังนี้คือ

i) % น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (% Yield or Weight of Non Magnetic Mineral) ซึ่งแสดงถึงการเก็บได้ (Recovery)

ii) ผลวิเคราะห์ % Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (โดยส่วนใหญ่เป็น แร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอร์ตซ์) เป็นการบ่งชี้ถึงคุณภาพของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก

iii) % การลดปริมาณแร่มลทินออกจากแร่ป้อน (% Reject of Fe_2O_3) ซึ่ง Fe_2O_3 ถือเป็นตัวแทนของแร่มลทินที่ติดแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในแร่ป้อน

iv) % การหดตัวโดยปริมาตร (%Volumetric Shrinkage) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ปกรวยซึ่งผ่านการเผา ซึ่งแสดงถึงเนื้อ (Texture) ของแร่เฟลด์สปาร์ ที่มีความแปรปรวน ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2.2 ในบทที่ 3

4.4.3.1 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำที่มีต่อการแยก

แร่ด้วย WHIMS

i) พิจารณากราฟรูปที่ 4.24 อัตราการป้อนของผสมผ่านเข้าไปใน WHIMS 5 (A) ลิตร/นาที ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3), 40 (H1NM4) และอัตราเร็วถึงคารูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเพิ่มขึ้น % น้ำที่แยกแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (% Yield, ระบุดังแสดงในตารางที่ 4.4) จะเพิ่มขึ้นที่อัตราเร็วถึงคารูเซลต่ำ (R2) และจะลดลงที่อัตราเร็วถึงคารูเซลสูง (R10) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 มีแนวโน้มลดลงที่อัตราเร็วถึงคารูเซลสูง (R10) เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.25 ผลของการเพิ่ม % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำจะให้ % Fe_2O_3 ในแร่ไม่ติดแม่เหล็กเพิ่มขึ้น โดยอัตราเร็วถึงคารูเซลสูง (R10) ยังคงให้ % Fe_2O_3 ในแร่ไม่ติดแม่เหล็กต่ำกว่าที่อัตราเร็วถึงคารูเซลต่ำ (R2) ผลการเผาหรือปกรวยแร่ไม่ติดแม่เหล็กแสดงตามรูปที่ 4.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4

ผลการแยกแ้วด้วย WHIMS ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ

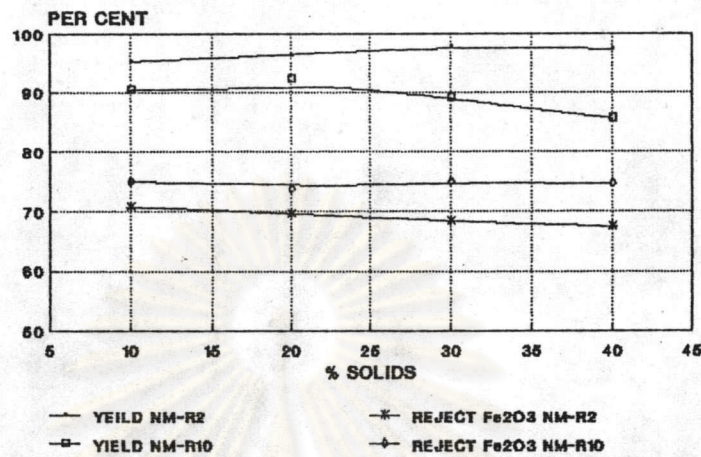
| การทดลอง ครั้งที่ (Test No.) | % ของแข็งใน แ้วป้อนผสมน้ำ (%Solids) | อัตราการ ป้อนของผสม (ลิตร/นาที) (Pulp Flow Rate) | อัตราการ ป้อนแ้ว (กก./ชม.) (Feed Rate) | อัตราเร็ว ถังคารูเซล ตามแนวเส้น (เมตร/นาที) (Carousel Speed) | % น้ำหนักแ้ว ไม่ติดแม่เหล็ก (%Yield) | รหัสแ้วไม่ ติดแม่เหล็ก (Code) | คุณภาพของแ้ว ไม่ติดแม่เหล็ก (%Fe ₂ O ₃) | % การลดปริมาณ Fe ₂ O ₃ ของแ้ว ไม่ติดแม่เหล็ก (% Reject of Fe ₂ O ₃) | % การหดตัว โดยปริมาตร (%Volumetric Shrinkage) | |
|------------------------------------|---|--|---|---|--|-------------------------------------|--|--|--|-------|
| 1 | 10 (H1NM1) | 5 (A) | 25 | | 95.27 | H1NM1AR2 | 0.080 | 70.69 | 47.91 | |
| 2 | 20 (H1NM2) | | 50 | | 96.34 | H1NM2AR2 | 0.082 | 69.62 | 49.32 | |
| 3 | 30 (H1NM3) | | 74 | | 0.60 (R2) | 97.80 | H1NM3AR2 | 0.084 | 68.40 | 44.76 |
| 4 | 40 (H1NM4) | | 95 | | 97.40 | H1NM4AR2 | 0.087 | 67.41 | 48.27 | |
| 5 | 10 (H1NM1) | | 25 | 3.38 (R10) | 90.48 | H1NM1AR10 | 0.072 | 74.94 | 51.61 | |
| 6 | 20 (H1NM2) | | 50 | | 92.19 | H1NM2AR10 | 0.074 | 73.76 | 53.84 | |
| 7 | 30 (H1NM3) | | 74 | | 89.04 | H1NM3AR10 | 0.073 | 75.00 | 48.89 | |
| 8 | 40 (H1NM4) | | 95 | | 85.57 | H1NM4AR10 | 0.077 | 74.66 | 47.25 | |
| 9 | 10 (H1NM1) | 10 (B) | 47 | | 96.81 | H1NM1BR2 | 0.083 | 69.10 | 54.66 | |
| 10 | 20 (H1NM2) | | 93 | | 97.73 | H1NM2BR2 | 0.085 | 68.05 | 51.47 | |
| 11 | 30 (H1NM3) | | 139 | | 0.60 (R2) | 97.65 | H1NM3BR2 | 0.086 | 67.70 | 42.24 |
| 12 | 40 (H1NM4) | | 181 | | 97.75 | H1NM4BR2 | 0.087 | 67.29 | 45.98 | |
| 13 | 10 (H1NM1) | | 47 | 3.38 (R10) | 92.51 | H1NM1BR10 | 0.074 | 73.67 | 56.36 | |
| 14 | 20 (H1NM2) | | 93 | | 92.24 | H1NM2BR10 | 0.070 | 75.17 | 52.28 | |
| 15 | 30 (H1NM3) | | 139 | | 92.58 | H1NM3BR10 | 0.074 | 73.65 | 48.42 | |
| 16 | 40 (H1NM4) | | 181 | | 86.74 | H1NM4BR10 | 0.078 | 73.98 | 46.41 | |

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

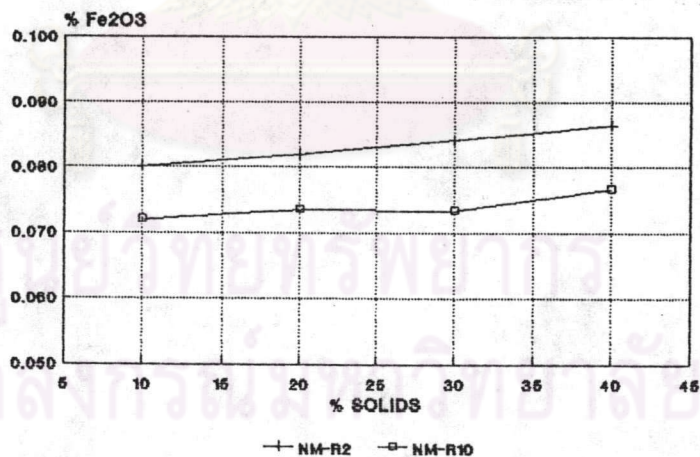
ผลการแยกแร่ด้วย WHIMS ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ

| การทดลอง ครั้งที่ (Test No.) | % ของแข็งใน แร่ป้อนผสมน้ำ (%Solids) | อัตราการ ป้อนของผสม (ลิตร/นาที) (Pulp Flow Rate) | อัตราการ ป้อนแร่ (กก./ชม.) (Feed Rate) | อัตราเร็ว ถังคั่วเซลล์ ตามแนวเส้น (เมตร/นาที) (Carousel Speed) | % น้ำหนักแร่ ไม่ติดแม่เหล็ก (%Yield) | รหัสแร่ไม่ ติดแม่เหล็ก (Code) | คุณภาพของแร่ ไม่ติดแม่เหล็ก (%Fe ₂ O ₃) | % การลดปริมาณ Fe ₂ O ₃ ของแร่ ไม่ติดแม่เหล็ก (% Reject Fe ₂ O ₃) | % การหดตัว โดยปริมาตร (%Volumetric Shrinkage) | |
|------------------------------------|---|--|---|---|--|-------------------------------------|--|---|--|-------|
| 17 | 10 (H1NM1) | 15 (C) | 74 | | 98.09 | H1NM1CR2 | 0.086 | 67.55 | 49.39 | |
| 18 | 20 (H1NM2) | | 145 | | 0.60 (R2) | 97.78 | H1NM2CR2 | 0.092 | 65.40 | 54.13 |
| 19 | 30 (H1NM3) | | 215 | | | 97.76 | H1NM3CR2 | 0.104 | 60.90 | 57.00 |
| 20 | 10 (H1NM1) | | 74 | 3.38 (R10) | 95.81 | H1NM1CR10 | 0.081 | 70.15 | 49.39 | |
| 21 | 20 (H1NM2) | | 145 | | 93.73 | H1NM2CR10 | 0.078 | 71.88 | 52.59 | |
| 22 | 30 (H1NM3) | | 215 | | 93.70 | H1NM3CR10 | 0.099 | 64.32 | 51.37 | |

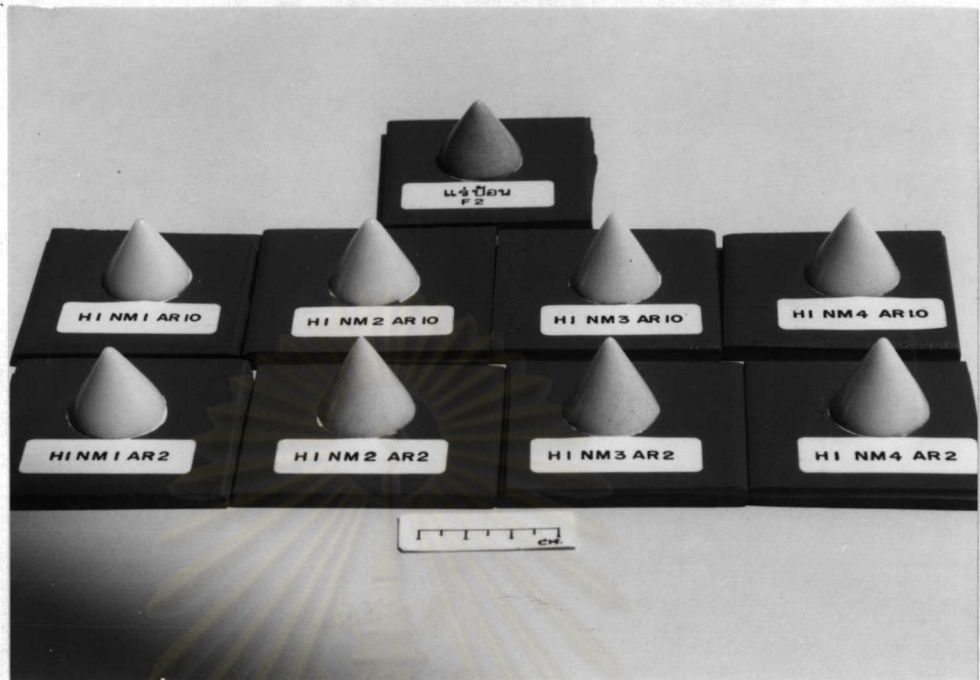
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์เชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที



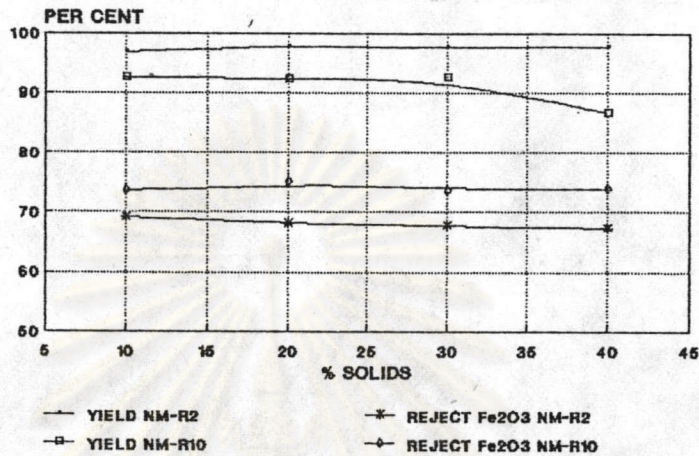
รูปที่ 4.25 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (%Fe₂O₃) ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์เชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที



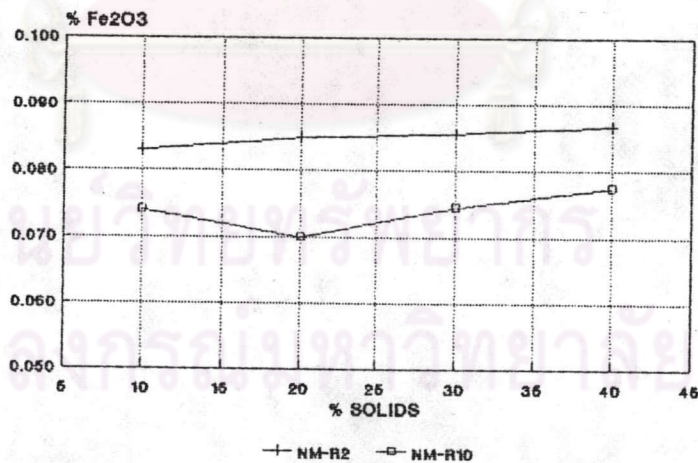
รูปที่ 4.26 ผลการเผารูปกรวยของแร่ไมติดแม่เหล็ก ซึ่งผ่าน WHIMS ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

ii) พิจารณากราฟรูปที่ 4.27 อัตราการป้อนของผสมผ่านเข้าไปใน WHIMS 10 (B) ลิตร/นาที ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3), 40 (H1NM4) และอัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2), 3.38 (R10) เมตร/นาที ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลต่ำ (R2) และ % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็กจะลดลงที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลสูง (R10) (แต่ทั้งสองกรณียังมีค่า % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็กมากกว่าที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที) เมื่อพิจารณาถึง % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไมติดแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 และเมื่อมากกว่า 20 % ของแข็งแล้ว % การลดปริมาณ Fe_2O_3 มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ส่วนที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลต่ำ (R2), % การลดปริมาณ Fe_2O_3 มีแนวโน้มลดลง ซึ่ง % การลดปริมาณ Fe_2O_3 เป็นผลเกี่ยวข้องกับ % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็ก (ดังกล่าวข้างต้น) และ % Fe_2O_3 โดยพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.28 ซึ่ง % Fe_2O_3 ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลต่ำ (R2) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจน เมื่อเพิ่ม % ของแข็ง ส่วนที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลสูง (R10)

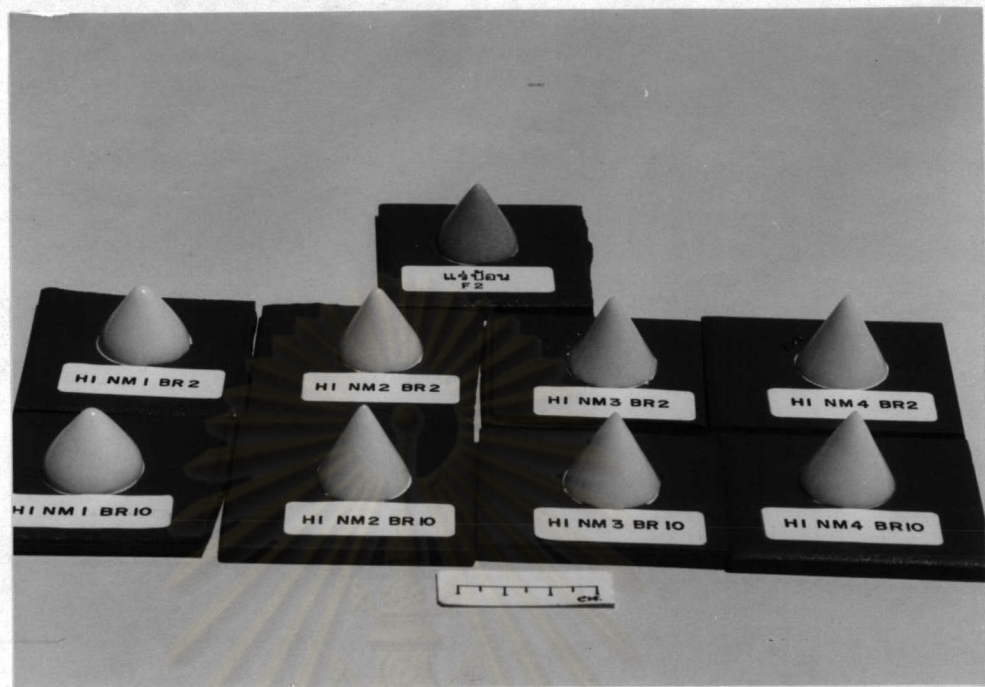
% Fe_2O_3 มีค่าต่ำสุดที่ 20 % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำและเมื่อ % ของแข็งมีค่ามากกว่านี้แล้ว ค่า % Fe_2O_3 ในแร่ไม่ติดแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้น ผลการเผาปรุกรวยแร่ไม่ติดแม่เหล็กแสดงตามรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.27 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซลล์ 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

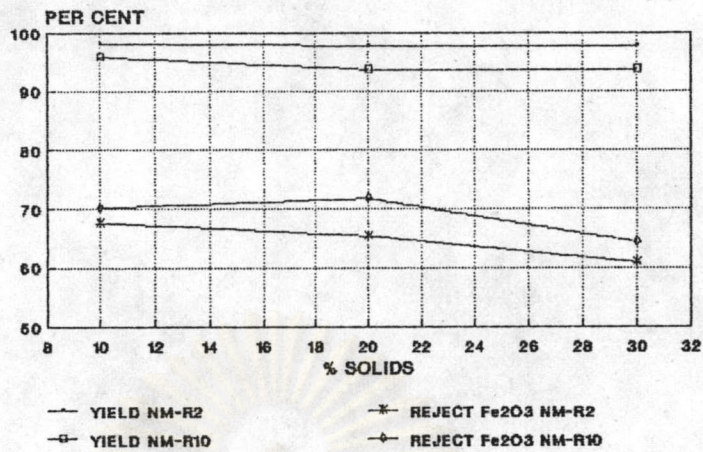


รูปที่ 4.28 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 10(B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซลล์ 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

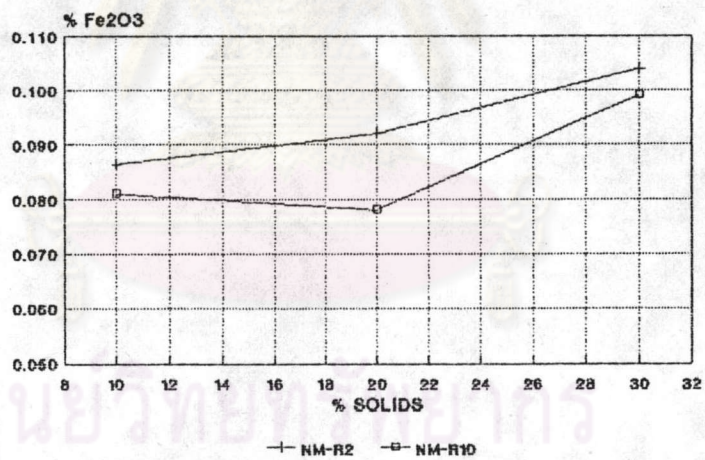


รูปที่ 4.29 ผลการเผาปรุกระจายของแร่ไมติดแม่เหล็ก ซึ่งผ่าน WHIMS ที่อัตราการป้อนของผสม 10(B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

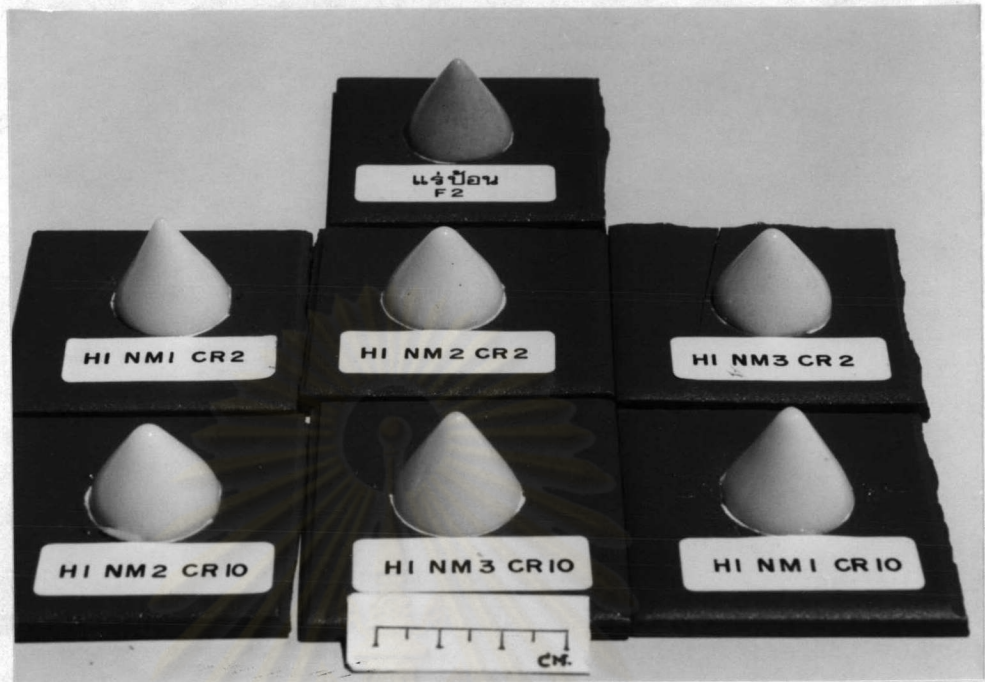
iii) พิจารณากราฟรูปที่ 4.30 อัตราการป้อนของผสมผ่านเข้าไปใน WHIMS 15 (C) ลิตร/นาที ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3) และอัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ตามลำดับ, % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็กที่สภาวะดังกล่าวนี้ มีค่ามากกว่าสภาวะอื่นที่กล่าวข้างต้น เนื่องจากอัตราการป้อนของผสมที่สูงกว่า โดยเมื่อเพิ่ม % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำแล้วจะทำให้ % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็กที่ได้ไม่ต่างกันมากนัก โดยเฉพาะที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลต่ำ (R2) ส่วนที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลสูง (R10) % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็กลดลงไปบ้างเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาที่ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่ม % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลต่ำ (R2), ส่วนที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลสูง (R10) ยิ่งค่าลดปริมาณ Fe_2O_3 ได้ดีกว่าที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลต่ำ (R2) แต่ความแตกต่างจะลดน้อยลงกว่าที่อัตราการป้อนต่ำกว่านี้ ดังได้กล่าวมาแล้ว พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.31 ค่า % Fe_2O_3 ของแร่ไมติดแม่เหล็กเพิ่มขึ้นชัดเจนที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลต่ำ (R2) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของอัตราเร็วถึงคาร์บูเชลสูง (R10) ก็จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 4.30 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์เชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที



รูปที่ 4.31 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe₂O₃) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์เชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที



รูปที่ 4.32 ผลการเพาะรูปร่างของแร่ไมติดแม่เหล็กซึ่งผ่าน WHIMS ที่อัตราการป้อนของผสม 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

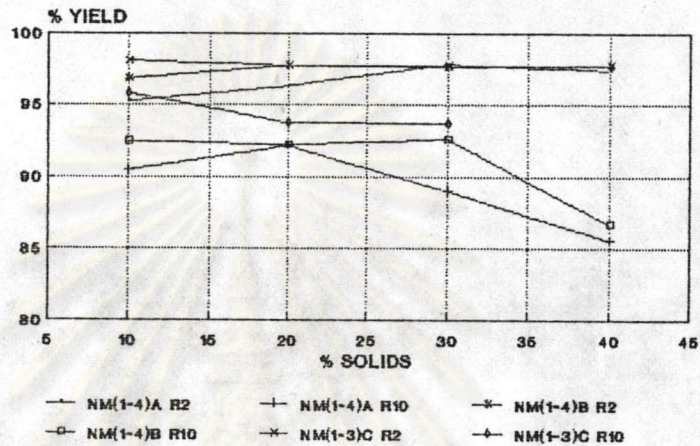
iv) สามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง % ของแฉ่งในแร่ป้อนผสมน้ำ ก็จะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity, μ) ให้แก่ของผสมนั้น ซึ่งจะมีผลต่อแรงลากจูง (Drag Force) ที่เกิดขึ้นตามสมการที่ (4.25) และเมื่อพิจารณาค่า % ของแฉ่งในแร่ป้อนผสมน้ำที่ 10, 20, 30 และ 40 ที่อัตราการป้อนของผสมและอัตราเร็วถังคาร์บูเซลค่าหนึ่ง ๆ นั้นพบว่าการลดปริมาณ Fe_2O_3 จะน้อยลงไปที่ % ของแฉ่งเท่ากับ หรือมากกว่า 30 นั่นคือ คุณภาพของแร่ไมติดแม่เหล็กจะด้อยลงไป (พิจารณาดูจาก % Fe_2O_3 ในแร่ไมติดแม่เหล็ก)

อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณารูปที่ 4.33, 4.34, และ 4.35 (เป็นกราฟรวมของกราฟรูปที่ 4.24, 4.25, 4.27, 4.28, 4.30 และ 4.31) เมื่อพิจารณาถึง % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็ก (% Yield), % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไมติดแม่เหล็กและคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ตามลำดับสามารถสรุปได้ว่า สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Condition) ของการแยก

แร่ด้วย WHIMS น่าจะอยู่ที่ เมื่อทำการป้อนของผสมในอัตรา 10 (B) ลิตร/นาที่ ที่ % ของแข็ง เท่ากับ 20 (H1NM2) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล เท่ากับ 3.38 (R10) เมตร/นาที่

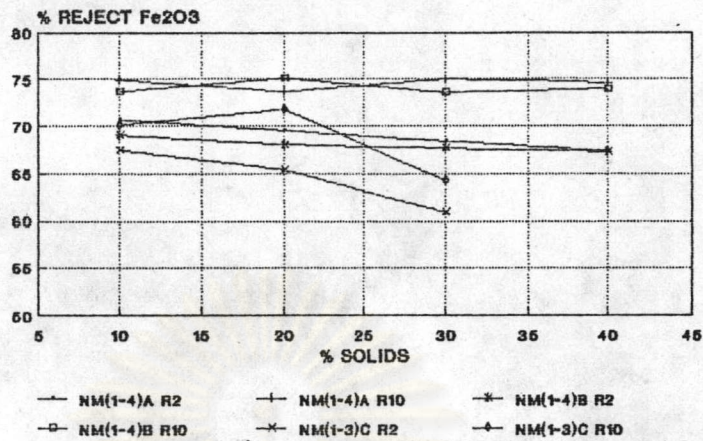
ผลการเผาปรุปรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่

สภาวะการทำงานต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นทั้งหมดนี้ ได้แสดงรวมไว้ในรูปที่ 4.36

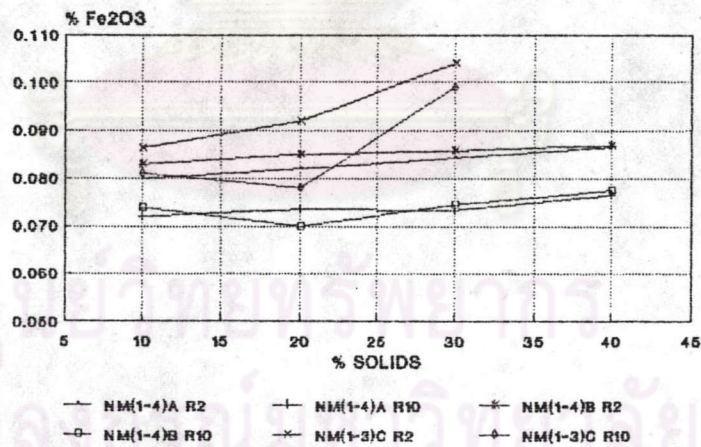


รูปที่ 4.33 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที่ ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที่ (% Yield ของกราฟรูปที่ 4.24 + 4.27 + 4.30)

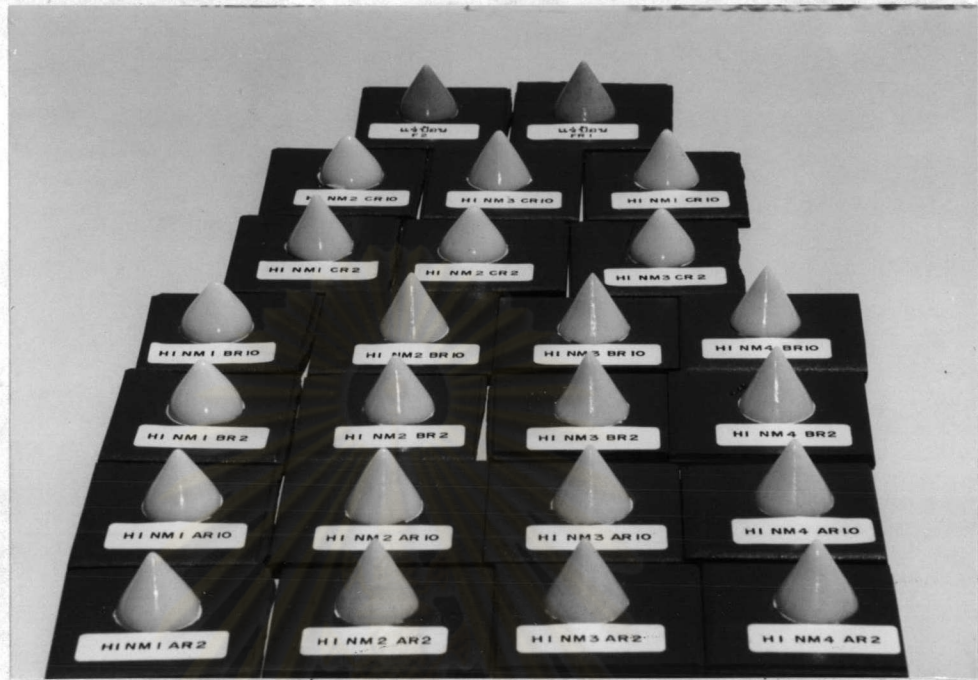
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.34 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Reject Fe₂O₃ ของกราฟรูปที่ 4.24 + 4.27 + 4.30)



รูปที่ 4.35 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อ คุณภาพ (% Fe₂O₃) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (%Fe₂O₃ ของกราฟรูปที่ 4.25 + 4.28 + 4.31)



รูปที่ 4.36 ผลการเผาผลาญของแร่ไมต์แม่เหล็ก ซึ่งผ่านการแยกด้วย WHIMS ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ แสดงรวมกันไว้ทั้งหมด (รูปที่ 4.26 + 4.29 + 4.32)

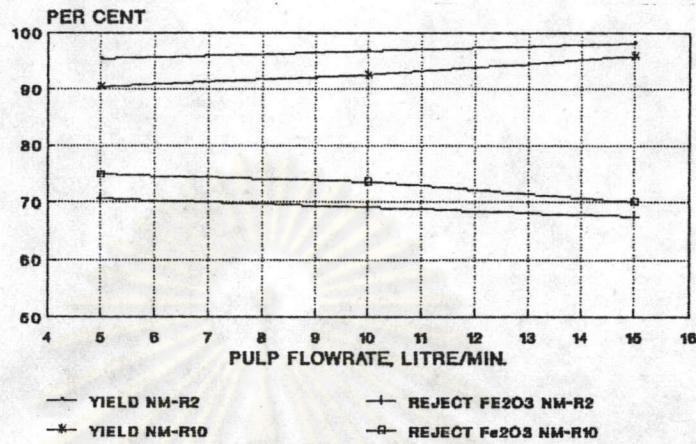
4.4.3.2 ผลของอัตราการป้อนของผสมที่มีต่อการแยกแร่ด้วย

WHIMS

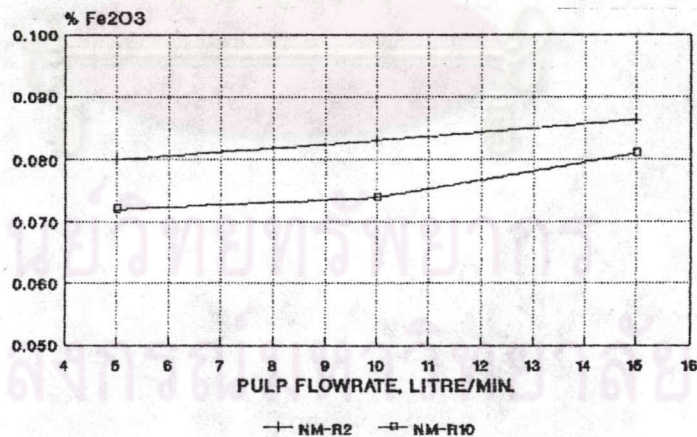
จากตารางที่ 4.4 ทำการจัดผลการวิจัยเพื่อแสดงถึงผลของการเพิ่มอัตราการป้อนของผสมที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำค่าต่าง ๆ ที่มีต่อ % น้ำหนักแร่ไมต์แม่เหล็ก, % การลดปริมาณ Fe_2O_3 และคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไมต์แม่เหล็กดังมีรายละเอียด ดังนี้

i) พิจารณากราฟรูปที่ 4.37 ที่ % ของแข็งเท่ากับ 10 (H1NM1) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2), 3.38 (R10) เมตร/นาที แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของผสมแล้ว % น้ำหนักแร่ไมต์แม่เหล็กจะเพิ่มขึ้น โดยค่าการเพิ่มนี้ที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลต่ำ (R2) มากกว่าที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลสูง (R10) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไมต์แม่เหล็กมีแนวโน้มลดลง โดยที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเชลสูง (R10) มีการลดปริมาณ Fe_2O_3 ได้มากกว่า เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของผสมแล้ว

% Fe₂O₃ ในแร่ไมติดแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นและที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลสูง (R10) ให้ผลต่อคุณภาพแร่ไมติดแม่เหล็กได้ดีกว่า (% Fe₂O₃ ต่ำกว่า) ที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลต่ำ (R2)

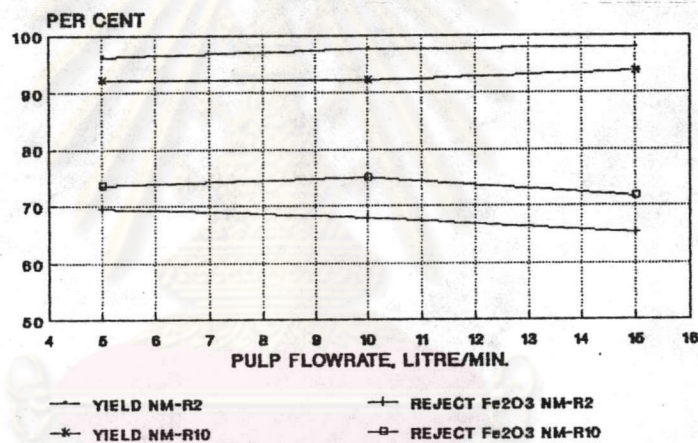


รูปที่ 4.37 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 10 (H1NM1) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

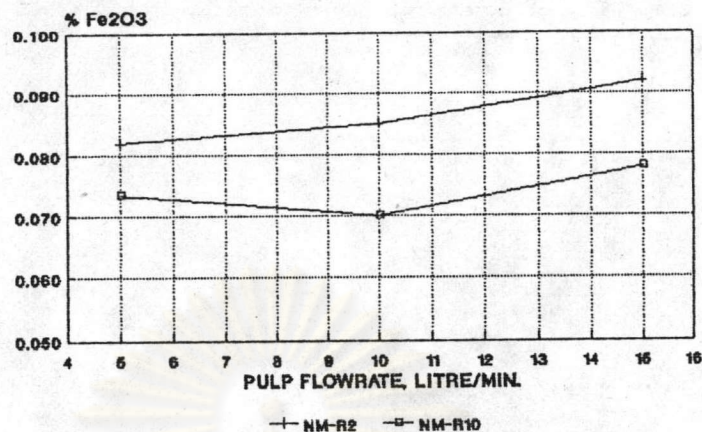


รูปที่ 4.38 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe₂O₃) ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

ii) พิจารณา กราฟรูปที่ 4.39 ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B), 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราการป้อนของผสมเพิ่มขึ้น % น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ค่าอัตราเร็วถังคาร์บูเชล แต่ที่อัตราเร็วถังคาร์บูเชลต่ำ (R2) มีค่ามากกว่า ส่วน % การลดปริมาณ Fe_2O_3 และ % Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (กราฟรูปที่ 4.40) แสดงให้เห็นว่า ที่อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเชลสูง (R10) ให้ผลการลดปริมาณ Fe_2O_3 สูงสุด และ % Fe_2O_3 ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) และ 15 (C) ลิตร/นาที



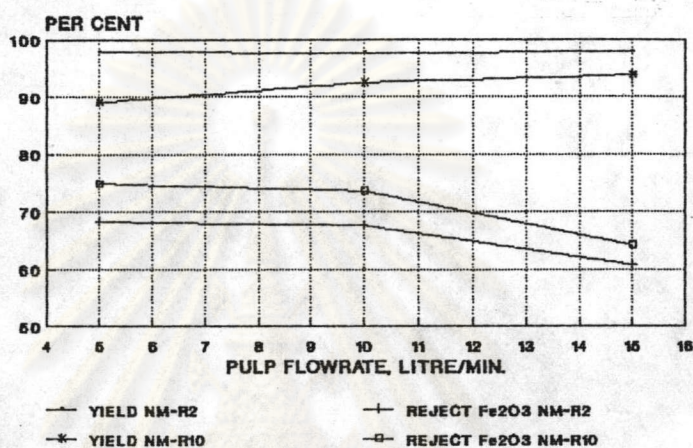
รูปที่ 4.39 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2) ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที



รูปที่ 4.40 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (Fe_2O_3) ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

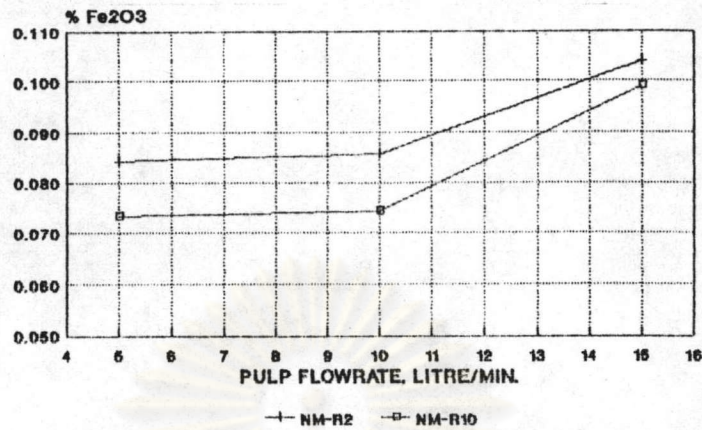
iii) พิจารณากราฟรูปที่ 4.41 ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 30 (H1NM3) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B), 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของผสม % น้ำหนักแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลต่ำ (R2) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยังคงมีค่ามากกว่าที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลสูง (R10) ซึ่งยังคงแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วน % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่อัตราการป้อนของผสมมากกว่า 10 (B) ลิตร/นาที และการลดปริมาณ Fe_2O_3 ณ อัตราเร็วคาร์บูเซลสูง (R10) ยังคงมากกว่าอัตราเร็วคาร์บูเซลต่ำ (R2) แต่ไม่มากนัก เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.42 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการป้อนของผสมเพิ่มขึ้น % Fe_2O_3 ในแร่ไมติดแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้น ซึ่งรูปกราฟจะคล้ายคลึงกับในกรณีที่ป้อนโดยมี % ของแข็งเท่ากับ 10 (คล้ายกับกราฟรูปที่ 4.38) แต่อย่างไรก็ตาม จะสังเกตเห็นว่าในช่วงอัตราการป้อน 5-10 ลิตร/นาที % Fe_2O_3 ในแร่ไมติดแม่เหล็กจะไม่ต่างกันมาก แต่ในช่วงอัตราการป้อนมากกว่า 10 ลิตร/นาที แล้ว % Fe_2O_3 ในแร่ไมติดแม่เหล็ก จะเพิ่มขึ้นมากกว่า

iv) พิจารณาตารางที่ 4.4 ที่ % ของแข็งในแร่ ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 40 โดยมีอัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็ว ถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที กล่าวได้ว่า ที่อัตราการป้อนของผสม นี้ ให้ผลการแยกแรมลทินติดแม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กไม่เด่นชัด เมื่อใช้อัตราเร็วถึง- คาร์บูเซลเดียวกัน จึงไม่สามารถสรุปผลออกมาได้



รูปที่ 4.41 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (%Yield) และ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็ง ในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

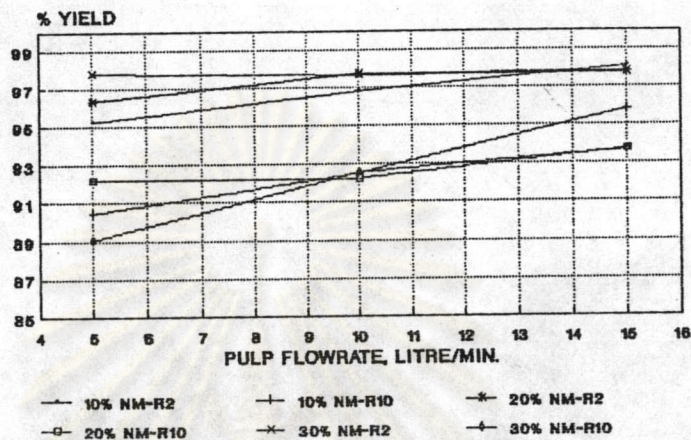
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.42 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe₂O₃) ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที

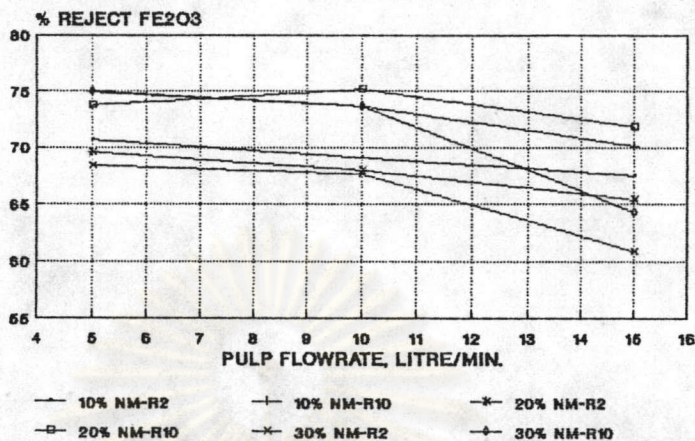
v) สามารถสรุปได้ว่า อัตราการป้อนของผสมจะมีผลต่อแรงออกจลน์ (F_d) ได้เช่นกัน โดยเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อน ก็จะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็ว (Velocity, v) ของเม็ดแร่ในของผสม ทำให้แรงออกจลน์เปลี่ยนแปลงไป ตามสมการ 4.25 และเมื่อพิจารณา กราฟรูปที่ 4.37, 4.39 และ 4.40 ซึ่งแสดงผลของอัตราการป้อนของผสมที่มีต่อ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ และ % Fe₂O₃ ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งเท่ากับ 10 และ 20 ตามลำดับ ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 และ 3.38 เมตร/นาที นั้น พบว่าการลดปริมาณ Fe₂O₃ จะลดลงไป หรืออีกนัยหนึ่ง คือ คุณภาพของแร่ไมติดแม่เหล็กลดลง (%Fe₂O₃ เพิ่มมากขึ้น) เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมรรถนะของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ตามรูปที่ 4.20 (b) ในหัวข้อที่ 4.3.3 ซึ่งได้อธิบายมาแล้ว อย่างไรก็ตามจากการสังเกตกราฟรูปที่ 4.40 จะเห็นว่า ที่อัตราการป้อนของผสม 10 ลิตร/นาที โดยใช้ % ของแข็งเท่ากับ 20 และอัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 3.38 เมตร/นาที จะเห็นว่าแทนที่ % Fe₂O₃ ในแร่ไมติดแม่เหล็กจะมีค่ามากกว่า เมื่อป้อนของผสมที่ 5 ลิตร/นาที กลับพบว่า % Fe₂O₃ มีค่าลดลงที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า ณ สภาวะนี้ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Condition) ของการแยกแร่ด้วย WHIMS ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปของหัวข้อ 4.4.3.1 ซึ่งได้อธิบายมาแล้ว และพิจารณากราฟรูปที่ 4.43, 4.44, 4.45 (กราฟรวมของรูปที่ 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 และ 4.42) แสดง

ผลของการเพิ่มอัตราการป้อน ที่มีต่อ % น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็ก, % การลดปริมาณ Fe_2O_3 และ % Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ตามลำดับ

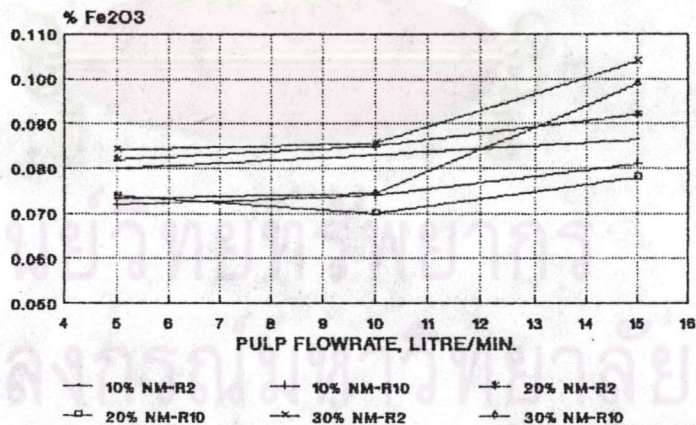


รูปที่ 4.43 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1) 20 (H1NM2), 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Yield ของกราฟรูปที่ 4.37 + 4.39 + 4.41)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.44 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อ % การลดปริมาณ Fe₂O₃ ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1M2), 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถังคาร์เซลล์ 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Reject Fe₂O₃ ของกราฟรูปที่ 4.37 + 4.39 + 4.41)



รูปที่ 4.45 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (Fe₂O₃) ของแร่ไมติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วคาร์เซลล์ 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Fe₂O₃ ของกราฟรูปที่ 4.38 + 4.40 + 4.42)

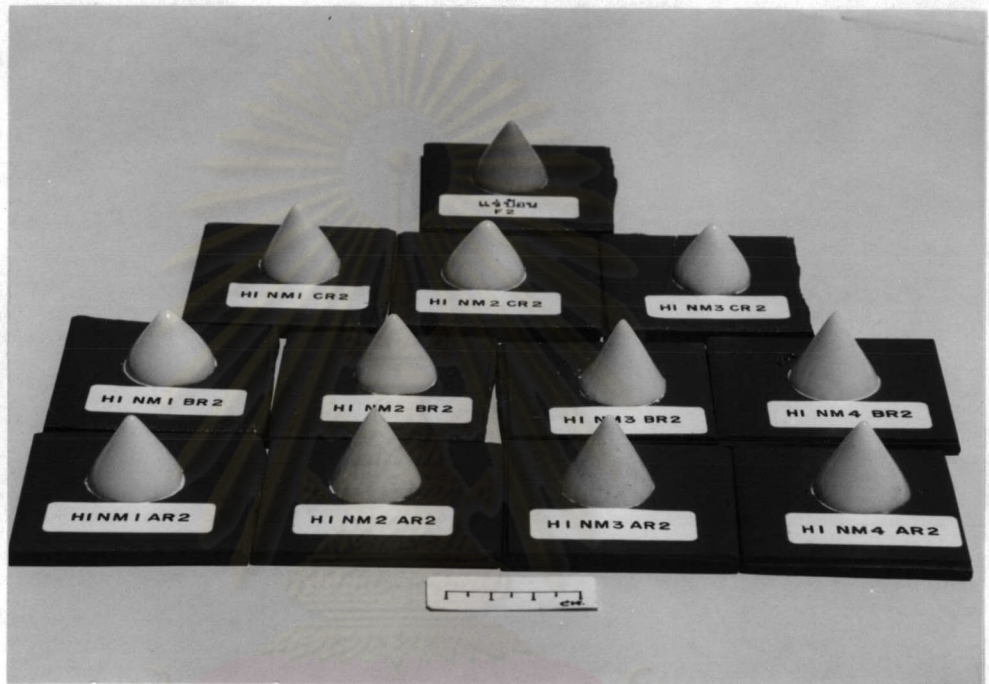
4.4.3.3 ผลของอัตราเร็วถึงคาร์บูเซลที่มีต่อการแยกแร่ด้วย

WHIMS

จากหัวข้อ 4.4.3.1 และ 4.4.3.2 แสดงให้เห็นว่า ที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลเพิ่มขึ้น ให้ผลการแยกแร่แม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กได้ดีขึ้น ซึ่งบ่งชี้จาก % Fe_2O_3 และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 เมื่อพิจารณาถึงทิศทางการป้อนแร่ในแนวตั้ง ขณะที่ถึงคาร์บูเซลหมุนด้วยอัตราเร็วในแนวรอบ (ทิศทวนเข็มนาฬิกา) ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราเร็วถึงคาร์บูเซล ก็จะเป็นการเพิ่มพื้นที่การทำงานของเมทริกซ์โดยนำแร่ป้อนผสมน้ำกระจายทั่วพื้นที่ ในบริเวณความเข้มข้นแม่เหล็กเหนี่ยวนำสูง (พิจารณาผลการวัดความเข้มข้นแม่เหล็กเหนี่ยวนำดังแสดงตามภาคผนวก ณ) อีกนัยหนึ่ง เป็นการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่เมทริกซ์ต่อปริมาณแร่ป้อน หรือลดความหนาแน่นของแร่ป้อน ต่อพื้นที่เมทริกซ์ ซึ่งอาจช่วยลดแรงระหว่างเม็ดแร่ ส่วนการเพิ่มอัตราการป้อนของผสมและ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ จะทำให้เกิดการเพิ่มความเร็วของเม็ดแร่ในของผสม และความหนืดหรือความหนาแน่นของผสม ในพื้นที่ที่จำกัดบริเวณเดียวกัน ดังนั้นในการทำงานควรใช้อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลที่เหมาะสมเพื่อให้พื้นที่เมทริกซ์ต่อ ปริมาณแร่ป้อนที่เหมาะสมด้วย โดยคำนึงถึง % น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็ก, % การลดปริมาณ Fe_2O_3 และ คุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก เป็นสำคัญ รูปที่ 4.46 และ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบผลการแยกแร่ไม่ติดแม่เหล็กที่อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ของหัวข้อ 4.4.3.1 และ 4.4.3.2

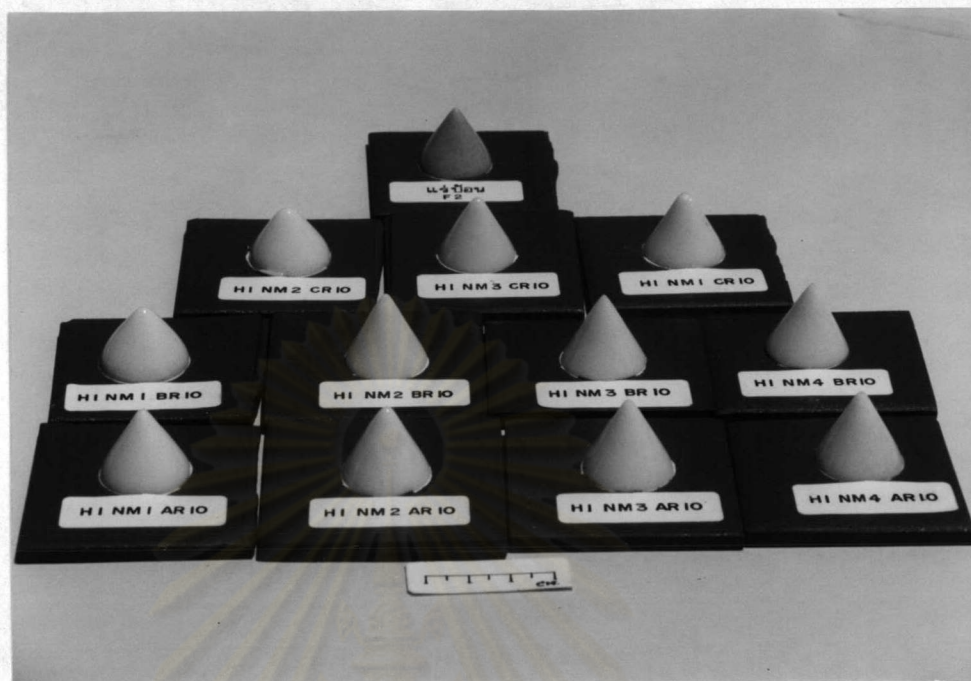
เพื่อเป็นการยืนยันถึง สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของการวิจัยครั้งนี้ และแสดงผลของอัตราเร็วถึงคาร์บูเซลที่มีต่อการแยกแร่ด้วย WHIMS จึงทำการวิจัยเพิ่มอีกสภาวะการทำงาน ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซลค่ากลาง 1.98 (R6) เมตร/นาที ที่ % ของแข็งเท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ให้ผลการแยกของน้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็ก 96.38 %, การลดปริมาณ Fe_2O_3 71.83 % และ แร่ไม่ติดแม่เหล็กมี 0.760 % Fe_2O_3 จากผลการวิจัยตามตารางที่ 4.4 ประกอบกับ การวิจัยเพิ่มเติมครั้งนี้ แสดงผลตามกราฟรูปที่ 4.48 ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2), 1.98 (R6), 3.38 (R10) เมตร/นาที ที่ % ของแข็งเท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราเร็วถึงคาร์บูเซลจะทำให้ % น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็กลดลง และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 เพิ่มขึ้น พิจารณากราฟรูปที่ 4.49 จะเห็นว่าการเพิ่มอัตราเร็วถึงคาร์บูเซลให้ผลการแยกแร่ไม่ติดแม่เหล็กมีคุณภาพดีขึ้น (% Fe_2O_3 ลดลง)

ผลการเผารูปกรวยแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตราเร็ว
 ถึงคาร์บูเซลเพิ่มขึ้น แสดงตามรูปที่ 4.50 ส่วน รูปที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบผลการเผา
 แร่รูปกรวยของสินแร่จากหน้าเหมือง, แร่มีสโคไวต์ และแร่ติดแม่เหล็กที่แยกด้วย WHIMS ตาม
 ลำดับ

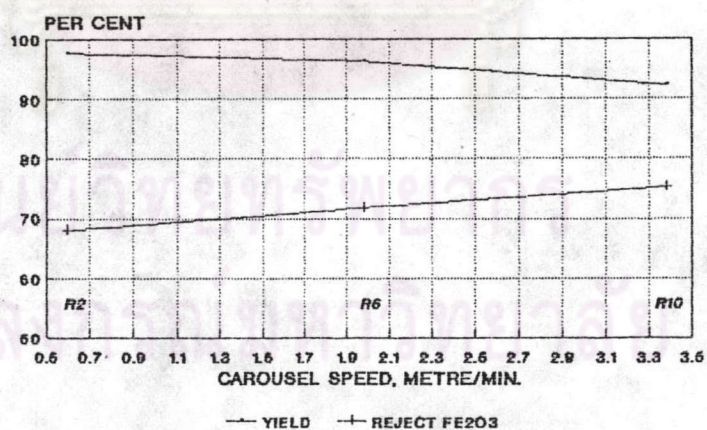


รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบผลการเผารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตรา
 เร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) เมตร/นาที ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ
 (ตัดแปลงจากรูปที่ 4.36)

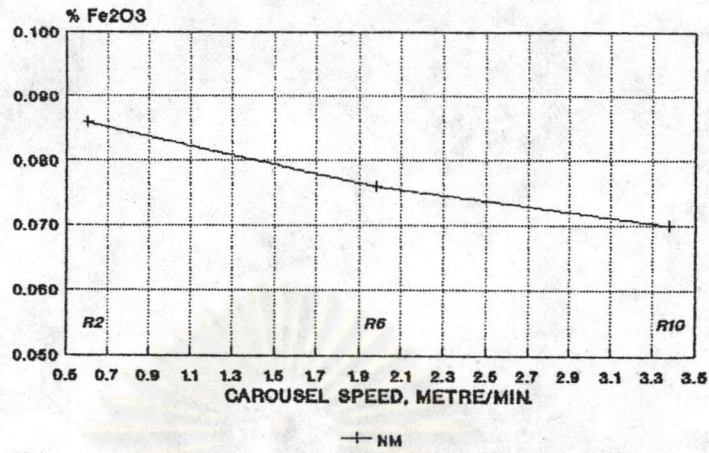
ศูนย์วิทยุทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



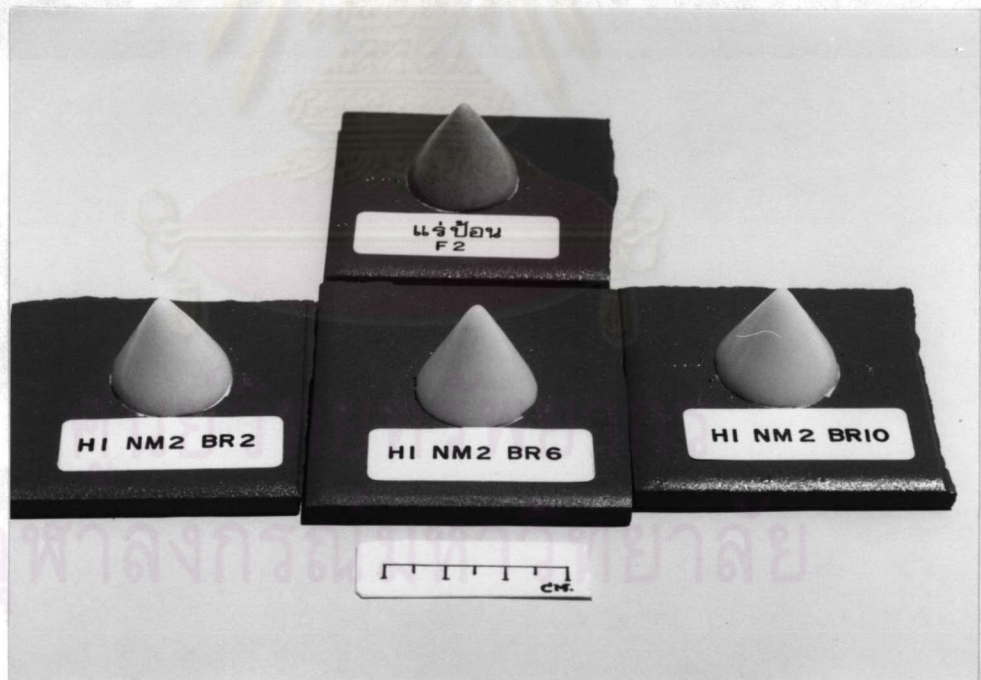
รูปที่ 4.47 การเปรียบเทียบผลการเผารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตราเร็วถึงคาร์usel 3.38 (R10) เมตร/นาที ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ (ตัดแปลงจากรูปที่ 4.36)



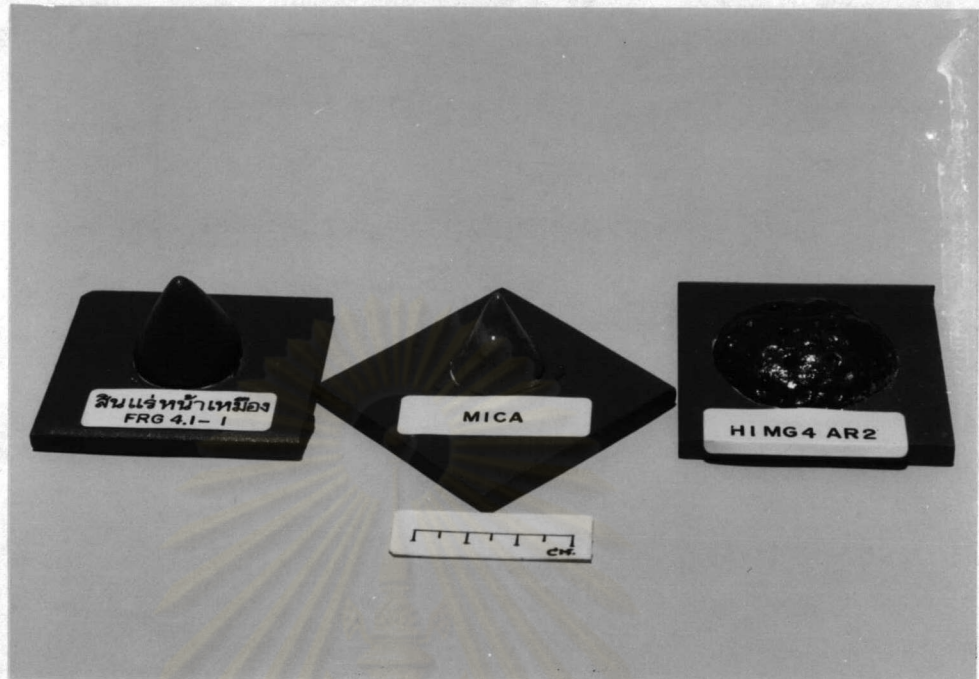
รูปที่ 4.48 ผลของอัตราเร็วถึงคาร์usel ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที



รูปที่ 4.49 ผลของอัตราเร็วถึงคารูเซล ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe₂O₃) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที



รูปที่ 4.50 ผลการเพาะรูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 0.60 (R2), 1.98 (R6), 3.38 (R10) เมตร/นาที ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที



รูปที่ 4.51 ผลการเผารูปกรวยของสินแร่จากหน้าเหมือง (FRG 4.1-1) แร่มีส-โดไวต์ (MICA) และแร่ติดแม่เหล็ก (H1MG4AR2) ซึ่งแยกด้วย WHIMS ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 40 (H1MG4), อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) เมตร/นาที

4.4.3.4 ความสามารถการแยกแร่ติดแม่เหล็กที่ผ่าน WHIMS

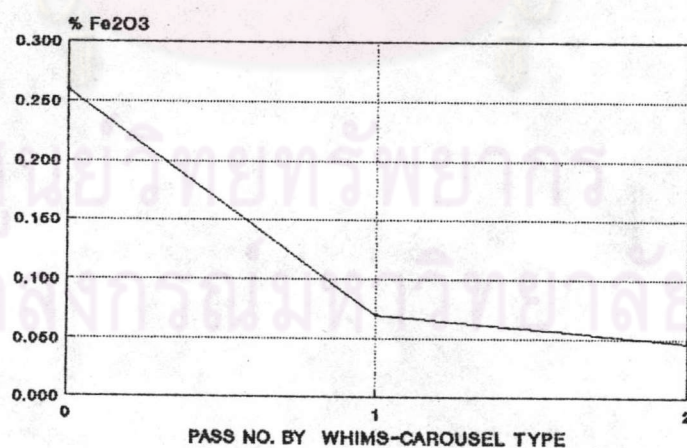
จำนวน 2 ครั้ง

จากผลการวิจัยของ การแยกแร่แม่เหล็กที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กด้วย WHIMS ชนิดถึงคาร์บูเซล ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมสูงสุด ตามหัวข้อ 4.4.3.1 ถึง 4.4.3.2 ซึ่งผ่าน WHIMS 1 ครั้ง นำแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (H1NM2BR10) ดังกล่าว ผ่านการแยกแร่ด้วย WHIMS อีก 1 ครั้ง ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมเดียวกัน เพื่อนำแร่ไม่ติดแม่เหล็ก (H2NM2BR10) ใช้สำหรับการวิจัยในขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ของบทที่ 5 โดยผลการแยกแร่ ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 4.5 และแสดงให้เห็นด้วยกราฟรูปที่ 4.52 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ส่วนตารางที่ 4.7 ได้แสดงการกระจายตัวของขนาดแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นในกราฟรูปที่ 4.53

ตารางที่ 4.5

ผลการแยกแร่ด้วย WHIMS โดยการผ่าน 2 ครั้ง ที่สภาวะซึ่งเหมาะสมที่สุด
(% ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 (H1NM2), อัตราการป้อนของผสม 10 (B)
ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์ousel 3.38 (R10) เมตร/นาที)

| จำนวนครั้งที่ผ่าน WHIMS | 0 | 1 | 2 |
|---|-------|-------|-------|
| % นน. แร่ติดแม่เหล็ก | - | 7.74 | 8.54 |
| % นน. แร่ไม่ติดแม่เหล็ก | - | 92.26 | 91.46 |
| %Fe ₂ O ₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก | 0.260 | 0.070 | 0.047 |
| % การลด %Fe ₂ O ₃ แร่ไม่ติดแม่เหล็ก | - | 75.17 | 38.59 |
| อัตราส่วน %Fe ₂ O ₃ แร่ป้อนต่อแร่ไม่ติดแม่เหล็ก | - | 3.71 | 1.49 |
| % การหดตัวโดยปริมาตรของรูปกรวย | 48.79 | 52.28 | 55.65 |



รูปที่ 4.52 % Fe₂O₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ต่อจำนวนครั้งที่ผ่านเข้าไปแยก
ด้วย WHIMS

ตารางที่ 4.6

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกันของแร่ป้อนและ
แร่ไม่ติดแม่เหล็กผ่าน WHIMS

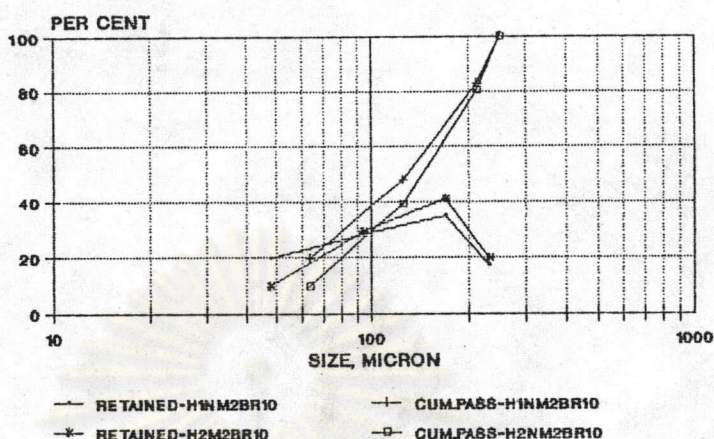
| องค์ประกอบ ทางเคมี (ร้อยละ) | แร่บด-60# (Grounded) (F2) | NM ผ่าน WHIMS | |
|---|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | 1 ครั้ง H1NM2BR10 | 2 ครั้ง H2NM2BR10 |
| SiO ₂ | 73.24 | 73.22 | 73.00 |
| TiO ₂ | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| Al ₂ O ₃ | 15.54 | 15.55 | 15.69 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.260 | 0.070 | 0.047 |
| MnO | 0.32 | 0.08 | 0.02 |
| CaO | 0.38 | 0.41 | 0.40 |
| Na ₂ O | 5.57 | 5.75 | 5.86 |
| K ₂ O | 4.60 | 4.85 | 4.92 |
| LOI | 0.41 | 0.41 | 0.41 |
| รวม | 100.36 | 100.36 | 100.37 |
| <u>สัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกัน (CIPW NORM)</u> | | | |
| ไมโครไคลน์ | 27.18 | 28.66 | 29.08 |
| แอลไบต์ | 47.13 | 48.65 | 49.59 |
| อะนอร์ไทต์ | 1.89 | 2.03 | 1.98 |
| รวมแร่เฟลด์สปาร์ | 76.20 | 79.34 | 80.65 |
| แร่ควอร์ตซ์ | 22.18 | 20.28 | 19.23 |
| แร่อื่น ๆ | 1.98 | 0.74 | 0.49 |

ตารางที่ 4.7

การกระจายตัวของขนาดแร่ไมติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกด้วย WHIMS
ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมที่สุด

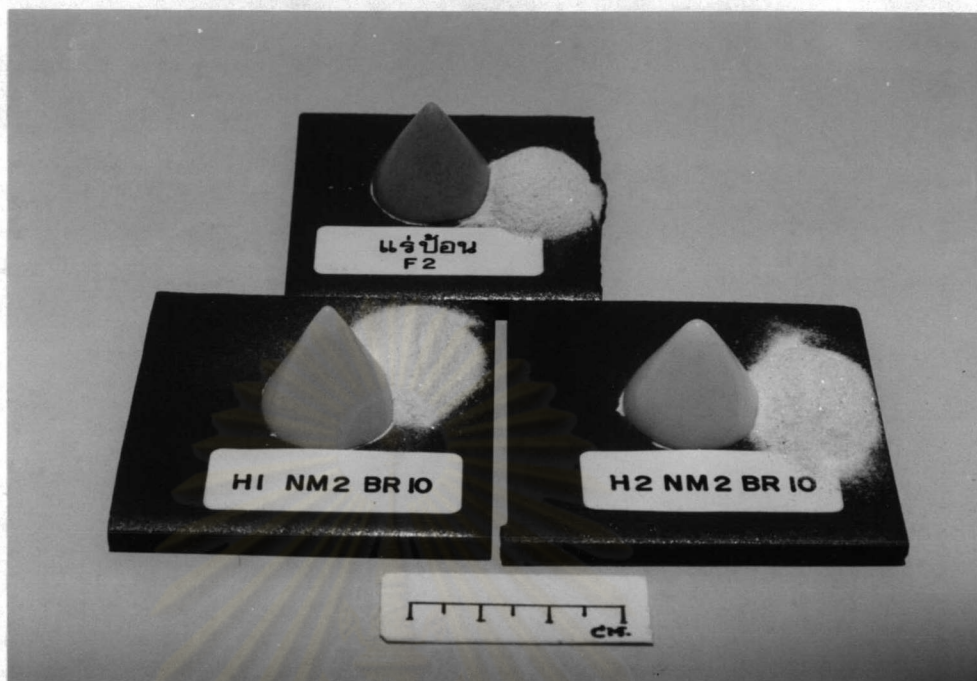
| ช่วงขนาดแร่ | | แร่ไมติดแม่เหล็ก ผ่าน WHIMS ครั้งที่ 1 (H1NM2BR10) | | แร่ไมติดแม่เหล็ก ผ่าน WHIMS ครั้งที่ 2 (H2NM2BR10) | |
|-------------|--------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| เมช | ไมครอน | น.น. ค้าง ตะแกรง (ร้อยละ) | น.น. สะสม ผ่านตะแกรง (ร้อยละ) | น.น. ค้าง ตะแกรง (ร้อยละ) | น.น. สะสม ผ่านตะแกรง (ร้อยละ) |
| -60 + 70 | 212 | 17.10 | 100.00 | 19.73 | 100.00 |
| -70 +120 | 125 | 34.94 | 82.90 | 41.16 | 80.27 |
| -120+230 | 63 | 28.26 | 47.96 | 29.25 | 39.11 |
| -230 | 32 | 19.70 | 19.70 | 9.86 | 9.86 |
| | รวม | 100.00 | | 100.00 | |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.53 การกระจายตัวของขนาดแร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 (H1M2BR10) และครั้งที่ 2 (H2NM2BR10) ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมสูงสุด (% ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 20 (H1NM2 และ H2NM2), อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 3.38 (R10) เมตร/นาที

จากตารางที่ 4.5 พิจารณาที่ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ออกไปได้ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก จะเห็นได้ว่า การผ่านการแยกด้วย WHIMS เพียง 1 ครั้ง ให้ผลการแยกแร่แม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก จะได้มากกว่าการแยกครั้งที่ 2 ($75.17 > 38.59$) หรือแสดงเป็นอัตราส่วนของ % Fe_2O_3 ของแร่ป้อนติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกครั้งที่ 1 มากกว่าการแยกครั้งที่ 2 ($3.7 > 1.49$) แม้จะได้ผลการแยกให้แร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ผ่าน WHIMS จำนวน 2 ครั้ง ได้คุณภาพ (% Fe_2O_3) ดีกว่าก็ตาม แสดงตามกราฟรูปที่ 4.52 ($0.047 < 0.070$) สามารถกล่าวได้ว่า โอกาสของแร่ติดแม่เหล็ก จะให้ผลการแยกด้วย WHIMS ต่อจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดน้อยลง ผลการเผาารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 แสดงตามรูปที่ 4.54



รูปที่ 4.54 ผลการเผารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่สภาวะการทำงานเหมาะสม สูงสุดผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 (H1NM2BR10) และครั้งที่ 2 (H2NM2BR10)

4.4.4 สรุปผลการวิจัย

ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ, อัตราการป้อนของผสม และอัตราเร็วถังคาร์บูเซิล ที่มีต่อ % น้ำหนักแร่ไม่ติดแม่เหล็ก, % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก และคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก สามารถสรุปได้ว่า

i) การเปลี่ยนแปลง % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง การเก็บแร่ได้ (% Yield), การลดปริมาณ Fe_2O_3 และคุณภาพแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.4.3.1 และสภาวะที่เหมาะสม (Optimum Condition) ของการแยกแร่ด้วย WHIMS ในกรณีนี้คือ ควรป้อนแร่ผสมน้ำที่ % ของแข็งเท่ากับ 20 ในอัตราการป้อน 10 ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถังคาร์บูเซิล 3.38 เมตร/นาที

ii) การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนของผสม ก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง การเก็บแร่ได้, การลดปริมาณ Fe_2O_3 และคุณภาพของแร่ไม่ติดแม่เหล็กเช่นกัน ดังได้อธิบายตามหัวข้อ 4.4.3.2 และ สภาวะการทำงานที่เหมาะสม ของการแยกแร่ด้วย WHIMS สามารถสรุปผลการวิจัยว่า เหมือนกับในกรณีข้อ i)

iii) การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วถึงคาร์บูเชล ก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง การเก็บได้, การลดปริมาณ Fe_2O_3 และคุณภาพของแร่ไม่ติดแม่เหล็กเช่นเดียวกัน โดยมีอัตรา เร็วถึงคาร์บูเชล ที่เหมาะสมที่สภาวะเช่นเดียวกับ ข้อ i) และ ii) ของการแยกด้วย WHIMS ดังได้อธิบายตามหัวข้อ 4.4.3.3

iv) การเพิ่มจำนวนครั้งของการแยกแร่ด้วย WHIMS แสดงถึงโอกาส ของแร่ติดแม่เหล็ก ถูกแยกออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็ก มีแนวโน้มลดลง ดังได้อธิบายตามหัวข้อ 4.4.3.4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย