เครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ มีชำนะ
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก จะใช้คุณสมบัติที่แตกต่างทางด้านการติดแม่เหล็กของแร่ชนิดต่าง ๆ ทำการแยกแร่มีค่าที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่มลทินที่ไม่ติดแม่เหล็ก หรือในทางกลับกันอาจจะแยกแร่มลทินที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่มีค่าที่ไม่ติดแม่เหล็กก็ได้ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กเป็นเครื่องแยกแร่ที่รู้จักใช้กันมาเกือบ 200 ปีแล้ว ซึ่งนอกจากจะนำเอาไปใช้แยกสินแร่เหล็ก (Iron Ore) แล้วยังนำเอาไปใช้ในการแยกเศษโลหะเหล็ก (Tramp Iron) ออกมาได้ ก่อนปี ค.ศ. 1901 มีเครื่องแยกแร่แม่เหล็กซึ่งสร้างขึ้นมาใช้ประโยชน์อยู่หลายแบบ[1,2,3] และบางแบบก็ยังมีใช้อยู่อย่างกว้างขวางจนกระทั่งทุกวันนี้ แต่เมื่อ 80 กว่าปีที่ผ่านมานี้ได้มีการปรับปรุง พัฒนาการออกแบบเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้ ซึ่งสามารถนำเอาไปใช้แยกแร่ได้หลายชนิด[4] ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดต่าง ๆ สามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิงอื่น ๆ ได้[5,6,7]

กลุ่มของแร่ตามคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก

แร่ชนิดต่าง ๆ นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็กคือ

1) แร่ไม่ติดแม่เหล็ก (Diamagnetic Mineral)

2) แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral)

3) แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral)

แร่ไม่ติดแม่เหล็กนั้น ความจริงหากมันอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจะถูกผลักออกไปจากสนามแม่เหล็กด้วยซ้ำ แต่ทว่าแรงผลักนี้จะอ่อนมากจนไม่สามารถสังเกตได้ โดยมันจะถูกผลักออกไปจากบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่า แต่เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นนั้นน้อยมากจนไม่อาจใช้คุณสมบัติในการผลักของแร่ชนิดนี้มาใช้ในการแยกแร่ได้ ยกเว้นในกรณีพิเศษเท่านั้น ตัวอย่างแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ได้แก่ แร่ควอตซ์ (Quartz) และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

ส่วนแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น จะถูกดึงดูดเข้าสู่สนามแม่เหล็กไปตามเส้นแรงแม่เหล็กเข้าสู่บริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่าด้วยแรงอย่างอ่อน ดังนั้นจึงสามารถแยกแร่เหล่านี้ออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง (High Intensity Magnetic Separator) ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน ได้แก่ แร่อิลเมไนต์ (Ilmenite) ฮีมาไทต์ (Haematite) วุลแฟรไมต์ (Wolframite) โมนาไซต์ (Monazite) ซิเดอไรต์ (Siderite) พีโรไทต์ (Pyrrhotite) โครไมต์ (Chromite) แมงกานีส (Manganese Ore) ฯลฯ

มีธาตุบางชนิดที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เช่น นิเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) แมงกานีส (Mn) โครเมียม (Cr) ซีเรียม (Ce) ไทเทเนียม (Ti) ออกซิเจน (O) และธาตุโลหะกลุ่มแพลทินัม[8]

ส่วนแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนั้น จัดว่าเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนชนิดพิเศษ กล่าวคือมันสามารถติดแม่เหล็กได้แรงกว่า เนื่องจากมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Suscepti bility) สูงกว่า และมันจะคงความเป็นแม่เหล็กหลังจากที่เอาสนามแม่เหล็กออกไปแล้ว (Remanence) ดังนั้นจึงสามารถแยกมันออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มต่ำ (Low Intensity Magnetic Separator) ตัวอย่างแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนี้ ได้แก่ แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) และแร่ซิเดอไรต์ (Siderite) ที่ผ่านการย่างเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแม่เหล็กมาแล้ว (Magnetic Roasting) ซึ่งทำให้มันกลายเป็น

แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงได้ (ปกติแร่ซิเดอไรต์เป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน) ส่วนโลหะเหล็กก็จัดว่าเป็นพวกที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง

คุณสมบัติการดูดติดแม่เหล็กของแร่อาจเปลี่ยนแปลงได้ หากมีมลทินที่ติดแม่เหล็กอื่น ๆ ปนอยู่ในแร่นั้น มลทินที่สำคัญได้แก่ เหล็ก (Fe) และไนโอเบียม (Nb) ยกตัวอย่างเช่น แร่การ์เนต (Garnet) และแร่สะฟาเรอไรต์ (Sphalerite) จะมีคุณสมบัติในการติดแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กซึ่งเจือปนในแร่ทั้งสองชนิดนี้ ส่วนแร่ดีบุกแคสซิเทอรไรต์ (Cassiterite) และแร่รูไทล์ (Rutile) นั้น ปกติแล้วจะไม่ติดแม่เหล็ก แต่อาจจะติดแม่เหล็กได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเจือปนของธาตุไนโอเบียม ซึ่งทำให้แร่เหล่านี้สามารถติดแม่เหล็กได้เช่นกัน

ตารางที่ 1[9] ได้แสดงการแบ่งแร่ออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็กดังได้กล่าวมาแล้ว และได้แสดงให้เห็นค่าสัมพัทธ์ของการติดแม่เหล็ก (Relative Attractability) ของแร่เหล่านี้

Table 1
TABLE OF MAGNETIC ATTRACTIBILITY OF MINERALS

MINERAL	SOURCE OF SAMPLE	RELATIVE ATTRACTIBILITY
GROUP 1 – FERRO-MAGNETIC		
Iron		100.00
Magnetite	Unknown	48.000
Magnetite	Port Henry, N.Y.	14.862
Franklinite	Franklin Furnace, N.J.	13.089
GROUP 2 – MODERATELY MAGNETIC		
Ilmenite	Edge Hill, Pa.	9.139
Mica, spotted, ruby	Bengal, India	5.880
Pyrrhotite	Sudbury, Ontario	2.490
Franklinite	Franklin Furnace, N.J.	1.480
GROUP 3 – WEAKLY MAGNETIC		
Hematite	Lake Superior district	0.769
Siderite	Roxbury, Conn.	0.743
Rhodonite	Franklin Furnace, N.J.	0.560
Hematite	Iron Mountain, Minn.	0.531
Limonite	Nova Scotia	0.314
Pyrolusite	Thuringia	0.280
Corundum	Goston County N.C.	0.264
Hematite	Cumberland, England	0.257
Pyrolusite	Bartow County, Ca.	0.248
Pyrite	French Creek Pa.	0.203
Manganite	Bridgeville, Nova Scotia	0.194
Calamine	Friedensville Pa.	0.187
Sphalerite	Frieburg, Germany	0.182
Dolomite	Cumberland, England	0.178
Quartz	Maine	0.175
Rutile	Magnet Cove, Ark.	0.168
Siderite	Unknown	0.160
Garnet	Unknown	0.149
Serpentine, green	Unknown	0.140
Zircon	Hendersonville, N.C.	0.134
Molybdenite	Frankford, Pa.	0.118
Mica, spotted	Bongal, India	0.115
Huebnerite	Henderson, N.C.	0.105
Cerargyrite	Silver City, N.M.	0.105
Wolframite	Chochiwon, Korea	0.105
Argentite	Guanajunto, Mexico	0.102
Ferberite	Malaya	0.101
Wolframite	Climax, Colo.	0.100
Rutile	Graves Mountain, Ga.	0.095
Orpiment	Felsobanya, Hungary	0.089
Bornite	New South Wales, Australia	0.086
Apatite	Eganville, Ontario	0.083
Tetrahedrite	Peru	0.080
Willemite	Franklin Furnace, N.J.	0.076
Bornite	Union Bridge, Maryland	0.067
Sphalerite	Iowa	0.057
Cerrusite	New South Wales, Australia	0.057
Dolomite	Sing Sing, N.Y.	0.057
Fluorite	Jefferson County, N.Y.	0.054
Arsenopyrite	Acton, York Co., Maine	0.054
Chalcopyrite	South Australia	0.051
Cuprite	Bisbee, Arizona	0.051
Molybdenite	New South Wales, Australia	0.048
Celestite	Strontium Island, Ohio	0.038
Chalcocite	Butte, Montana	0.038
Cinnabar	New Almoden, California	0.038
Gypsum	Derbyshire, England	0.038
Zincite	Franklin Furnace, N.J.	0.038
Orthoclase	Elam, Pa.	0.035
Epidote	Unknown	0.033
Fluorite	Rosiclare, Ill.	0.032
Smithsonite	Mineral Point. Wis.	0.029
Augite	Unknown	0.027
Talc	Marietta, Ga.	0.026
Hornblende	Unknown	0.025
GROUP 4 – FEEBLY MAGNETIC		
Pyrite	Rio Tinto, Spain	0.022
Smithsonite	Kelly, N.M.	0.022
Sphalerite	Joplin, Mo.	0.022
Stibnite	Germany	0.022
Cryolite	Greenland	0.019
Enargite	Butte, Montana	0.019
Galena	Joplin, Mo.	0.019
Magnesite	Lancastar County, Texas	0.019
Senarmontite	Unknown	0.019
Gypsum	Grand Rapids, Mich.	0.016
Niccolite	Bebra Hasse, Germany	0.016
Serpentine, red	Unknown	0.016
Calcite	Joplin, Mo.	0.013
Stibnite	Juab County, Utah	0.013
Dioptase	Unknown	0.012
Cuprite	Cornwall, England	0.0096
Galena	Galena, Ill.	0.0096
Pyrite	Unknown	0.008
Witherite	Cumberland, England	0.0064
Rutile	Unknown	0.0034
Mica ruby, clear	Bengal, India	0.0032
Orthoclase	Alexandria, N.Y.	0.0032
Cobaltite	Unknown	0.0023
Sapphire	Unknown	0.0023
Pyrite	Unknown	0.002
Tourmaline	Unknown	0.0012
Dolomite	Unknown	0.0011
Spinel	Unknown	0.001
Beryl	Unknown	0.0008
Feldspar	Unknown	0.0006
Sphalerite	Jefferson City, Tenn.	0.0005
Zircon	Unknown	0.0002
GROUP 5 – NON-MAGNETIC AND DIAMAGNETIC		
Barite	Bartow County, Ga.	0.0
Adularia	Unknown	– 0.0004
Calcite	Unknown	– 0.0004
Fluorite	Unknown	– 0.0004
Halite	Unknown	– 0.0004
Sphalerite	Unknown	– 0.0004
Celestite	Unknown	– 0.0005
Quartz	Unknown	– 0.0005
Corundum	Unknown	– 0.0006
Topaz	Unknown	– 0.0006
Galena	Unknown	– 0.0011
Antimony, native	Unknown	– 0.0023
Bismuth	Unknown	– 0.0032
Apatite	Unknown	– 0.0034
Argonite	Unknown	– 0.0048
Graphite	Ceylon	– 0.0056
Graphite	Ceylon	– 0.032

Note : Relative attractability will vary according to source of sample. Relative attractabilities were calculated using the volume susceptibility of 250,000 × 10^{-6} emu. cm^{-3} Oe^{-1} as equal to 100.

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในการแยกแร่[10]

หากจะแบ่งประเภทของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กตามลักษณะของการทำงานของเครื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ประเภทเกาะติด (Holding Type) เครื่องแยกประเภทนี้ วัสดุที่ต้องการแยกหรือแร่จะถูกป้อนโดยตรงและสัมผัสกับขั้วแม่เหล็ก แร่ไม่ติดแม่เหล็กจะแยกออกโดยแรงเหวี่ยงและน้ำหนักของเม็ดแร่ ส่วนแร่ติดแม่เหล็กจะเกาะติดกับเครื่องแยกไปจนพ้นสนามแม่เหล็กจึงปล่อยออก ถ้าเป็นเครื่องแยกแม่เหล็กชนิดเปียก น้ำจะช่วยล้างแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กออก

2) ประเภทดูดติด (Pick Up or Lift Type) เครื่องแยกประเภทนี้ วัสดุที่ต้องการแยกหรือแร่ไม่ได้ป้อนโดยตรงลงสัมผัสกับขั้วแม่เหล็ก แต่จะถูกนำมาผ่านสนามแม่เหล็ก แร่ที่ดูดติดแม่เหล็กจะถูกดูดติดขึ้นมาที่ขั้วแม่เหล็ก ส่วนแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะมีสายพานหรือจานนำแร่ออกไปจากขั้วแม่เหล็กหรือสนามแม่เหล็ก

อย่างไรก็ตามการแบ่งเครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในการแยกหัวแร่ และแยกแร่ให้สะอาดนี้นิยมแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

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

ซึ่งจะได้อธิบายโดยละเอียดตามลำดับดังนี้

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในการแยกหัวแร่และแยกแร่ให้สะอาดแบบแห้ง (Dry Magnetic Separator)

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พวก ตามความเข้มสนามแม่เหล็ก คือ พวกความเข้มต่ำ พวกความเข้มปานกลาง และพวกความเข้มสูง

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มต่ำ (Dry Low Intensity Magnetic Separator เขียนย่อว่า DLIMS) เครื่องแยกแร่นี้ใช้สำหรับแยกเศษเหล็กและแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงที่มีขนาดโต ๆ เช่น แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) (ซึ่งเรียกขบวนการแยกแร่แมกนีไทต์นี้ว่า Magnetic Cobbing)

1) ชนิดลูกรอกแม่เหล็ก (Ore Cobbing Magnetic Pulley) ซึ่งใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง เช่น แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) แร่นิเกิล (Nickel Ore) ซึ่งใช้ทั้งแม่เหล็กไฟฟ้าและแม่เหล็กถาวร โดยมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วตามความกว้างของลูกรอกเพื่อให้มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ แร่ที่ป้อนควรป้อนให้กระจายทั่วหน้ากว้างของลูกรอก และควรให้หนาประมาณชั้นเดียว

2) ชนิดกระบอกกลมความเร็วสูง (High-Speed Drum Magnetic Separator) เป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแร่ เช่น แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) แร่นิเกิล (Nickel Ore) เช่นเดียวกันซึ่งใช้ทั้งแม่เหล็กไฟฟ้าและแม่เหล็กถาวร โดยมีขั้วแม่เหล็กวางสลับขั้นกันอาจสูงถึง 44 อัน ซึ่งกินขอบเขตส่วนโค้งของกระบอกกลม ประมาณ 270 องศา ดังรูปที่ 1 ส่วนใหญ่ใช้แยกแร่เม็ดละเอียดขนาดเล็กกว่า 100 เมช แร่ป้อนอาจมีขนาดโตถึง 1 นิ้ว ก็ยังสามารถใช้แยกได้ แร่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกเหวี่ยงออกไป ส่วนแร่ติดแม่เหล็กจะเกาะติดกับกระบอกกลมจนพ้นสนามแม่เหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกกลมอยู่ในช่วง 18 ถึง 48 นิ้ว โดยกระบอกกลมมีค่าความเร็วปกติโดยทั่วไป 20 ถึง 45 รอบต่อนาที และอาจมีความเร็วสูงถึง 200 รอบต่อนาที ขนาดของเม็ดแร่ป้อนมีอิทธิพลต่อความเร็วสูงสุดของกระบอกกลม กล่าวคือ เมื่อแร่มีขนาดโตขึ้นความเร็วจะต้องลดลง ที่ความเร็วสูง ๆ จะแยกแร่เม็ดละเอียดได้ปริมาณมากแต่อาจมีแร่ไม่ติดแม่เหล็กหลงปะปนไปกับแร่ที่ติดแม่เหล็ก และการที่ขั้วแม่เหล็กสลับกันหลายขั้วทำให้แร่ติดแม่เหล็กเคลื่อนพลิกตัวได้ดี ทำให้ได้หัวแร่ที่สะอาดขึ้น ส่วนแร่คละอาจนำมาแยกใหม่ได้

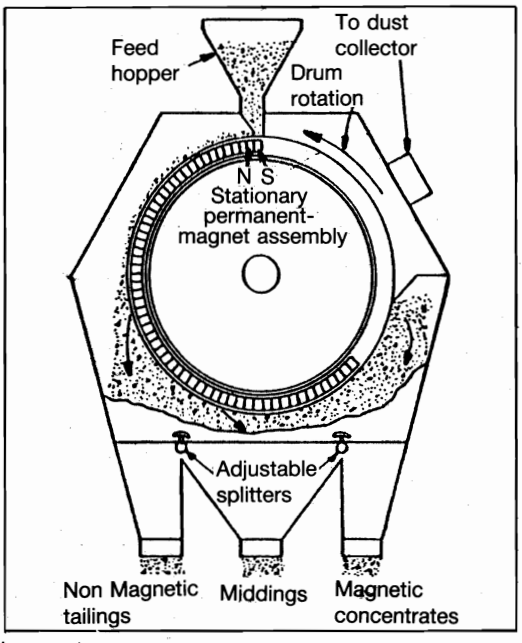
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลาง (Dry Moderate Intensity Mangetic Separator เขียนย่อว่า DMIMS) ซึ่งนิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1) ชนิดกระบอกกลมสลับขั้ว (Alternating-Polarity Drum Separator) ภายในกระบอกกลมมีขั้วแม่เหล็กสลับขั้วเหนือ-ใต้ ติดต่อเป็นระยะถึง 1/2 ถึง 2/3 ของความยาวเส้นรอบวงของกระบอกกลม แร่ติดแม่เหล็กจะถูกขั้วแม่เหล็กดูดให้ติดอยู่ที่ผิวของกระบอกกลมซึ่งหมุนไปตามลูกศรชี้ ดังรูปที่ 2[9] เม็ดแร่จะพลิกกลับไปกลับมาเมื่อเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่ต่างขั้วกัน การสลับขั้วของแม่เหล็กทำให้พวกแร่มลทินที่ไม่ติดแม่เหล็กไม่สามารถเกาะปนมากับแร่ติดแม่เหล็กได้ จนพ้นสนามแม่เหล็กเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กจึงผละออกจากผิวกระบอกกลมและตกลงในช่องแร่สำหรับแร่ติดแม่เหล็ก ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็กจะหล่นมาตามผิวกระบอกกลมและตกลงในช่องสำหรับแร่ไม่ติดแม่เหล็ก กระบอกกลมจะหมุนไป แต่

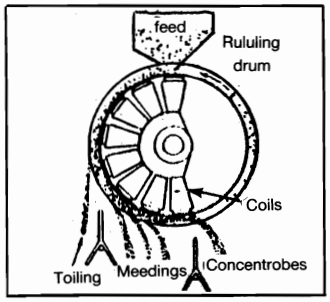
ขั้วแม่เหล็กอยู่คงที่ ความเร็วของกระบอกกลมประมาณ 50 รอบต่อนาที เครื่องแยกออกแบบมาสำหรับแร่ป้อนที่มีแร่ติดเหล็กปริมาณมากที่มีคุณภาพ (Grade) สูง สามารถแยกแร่แมกนีไทต์ที่มีขนาด 1 นิ้วลงไปจนถึง 100 เมช โดยสนามแม่เหล็กจะสามารถดูดแร่ติดแม่เหล็กปริมาณมากได้ความจุ (Capacity) ของเครื่องเป็นส่วนกลับกันกับขนาดแร่ป้อน ยกตัวอย่างเช่น เครื่องแยกแบบนี้ทำการแยกแร่แมกนีไทต์ขนาดหยาบได้ 30 ตันต่อชั่วโมงต่อฟุตความกว้างกระบอก-กลม โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 นิ้ว กว้าง 60 นิ้ว เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบนี้ อาจเรียกว่า แบบ Ball-Norton[5]

2) ชนิดกระบอกกลมช่องว่างเดียว (Uni Gap Drum) ซึ่งออกแบบมาโดยให้มีช่องว่างที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูง โดยมีขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าพันขั้วแม่เหล็กที่มีรูปร่างพิเศษ ใช้แยกแร่ป้อนที่มีขนาดเล็กกว่า 1/4 นิ้ว ที่อัตราแร่ป้อน 3 ตันต่อชั่วโมงต่อฟุตความกว้างกระบอกกลม (หรืออาจจะน้อยกว่านี้ก็ได้) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3

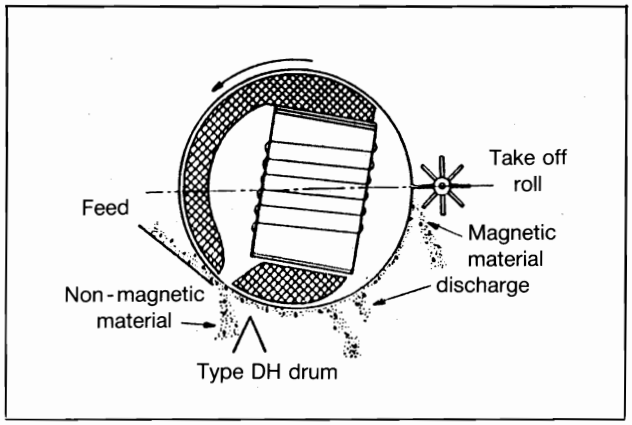
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง (Dry High Intensity Magnetic Separator เขียนย่อว่า DHIMS) ซึ่งใช้ในเชิงพาณิชย์มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1908 โดยใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) เช่น แร่อิลเมไนต์ (Ilmenite) แร่ซิเดอไรต์ (Siderite) แร่วุลแฟรไมต์ (Wolframite) ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงนี้ได้มาจากอำนาจการเหนี่ยวนำทางกระแสไฟฟ้าคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่จะมีอิทธิพลในการแยกแร่ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดนี้หากนำมาแยกแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (Micron) หรือ 200 เมช (Mesh) แล้วประสิทธิภาพจะลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากกระแสอากาศ การยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแร่ และการยึดเกาะกันระหว่างลูกกลิ้งกับเม็ดแร่



รูปที่ 1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มต่ำ ชนิดกระบอกกลมความเร็วสูง[10]



รูปที่ 2 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลาง ชนิดกระบอกกลมสลับขั้ว[5]

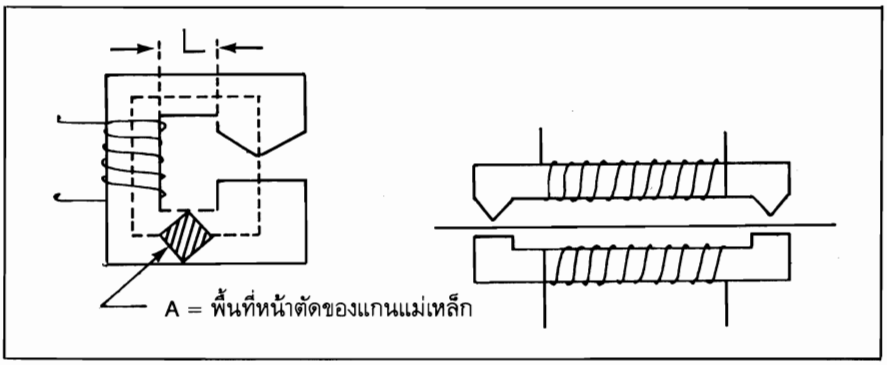


รูปที่ 3 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มปานกลาง ชนิดกระบอกกลมช่องว่างเดียว[10]

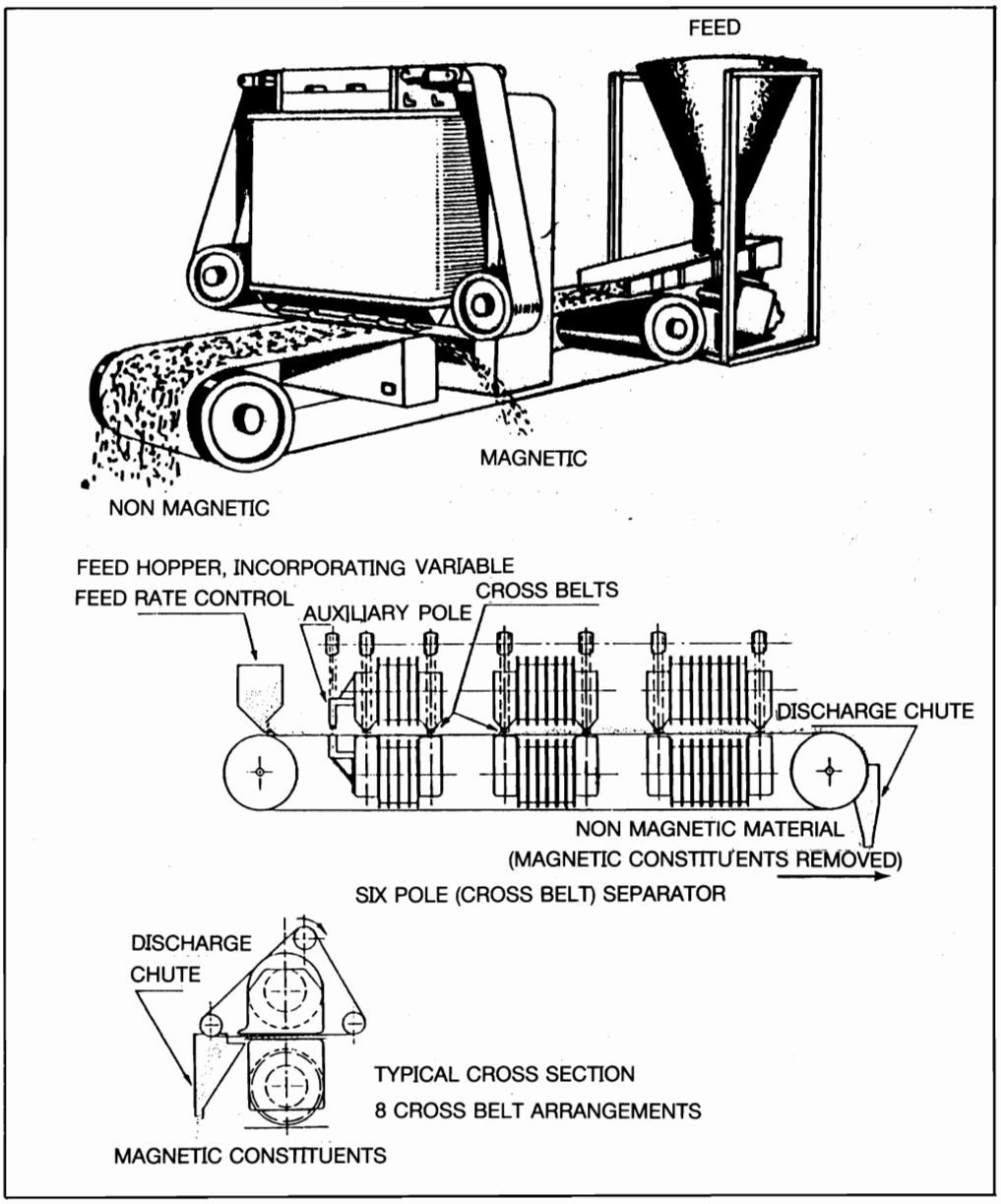
รูปที่ 4[11] แสดงการออกแบบขั้วแม่เหล็กและขดลวด (Coil) ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ค่าของ L ควรให้น้อยที่สุด และ A ควรให้มากที่สุด เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบนี้มีหลายชนิด คือ

1) ชนิดสายพานขวาง (Cross Belt Magnetic Separator)[5,11] ซึ่งจัดเป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กประเภทดูดติด (Pick Up or Lift Type) โดยการจัดวางให้แม่เหล็กสามารถอุ้มเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ป้อน เครื่องแยกประกอบด้วยสายพานลำเลียงแร่ป้อนซึ่งเดินอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็กรูปเกือกม้าโดยมีจำนวนแม่เหล็กรูปเกือกม้าอาจมีมากกว่าหนึ่งชุด ซึ่งแม่เหล็กแต่ละชุดจะมีของสายพานเดินอยู่ในแนวขวางกับทิศทางของสายพานลำเลียงแร่ป้อน ขั้นบนของแม่เหล็กจะมีรูปร่างเป็นลิ่มหรือเป็นขอบแหลม (Wedge or Sharp Edge) ในขณะที่ขั้วด้านล่างมีหน้าตัดเรียบ (Flat) เพื่อให้มีค่าความชันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Gradient) สูงในระหว่างช่องว่าง (Air Gap) หรือเพื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงขึ้นไปอีกด้วย แร่จะดูดติดขั้วแม่เหล็กด้านบนซึ่งสายพานขวางจะนำเอาแร่ติดแม่เหล็กออกไปจากขั้วไปปล่อยยังด้านท้ายของสายพานขวางนั้น ๆ หากเครื่องแยกมีจำนวนแม่เหล็กรูปเกือกม้าหรือสายพานขวางมากกว่า 1 ชุดแล้ว จะจัดให้สายพานขวางเส้นแรกมีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่าชุดถัด ๆ มา และมักออกแบบให้ขั้วแม่เหล็กชุดบนสามารถเลื่อนขึ้นลงเพื่อจัดระยะช่องว่างได้ โดยทั่วไปขั้วแม่เหล็กชุดสุดท้ายจะมีช่องว่างแคบที่สุด เพื่อดึงดูดเอาแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนที่สุดไว้ ส่วนความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถปรับได้โดยการปรับกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่พันขั้วแม่เหล็กอยู่ แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกลำเลียงไปตามสายพานลำเลียงแร่ป้อนจนสุดสายพานแล้วจึงหล่นออกไปโดยมีภาชนะรองรับ ดังนั้นจึงสามารถแยกเอาแร่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กได้ เครื่องแยกแร่ชนิดนี้สามารถปรับความเร็วสายพานป้อนแร่และสายพานขวางได้ ในการแยกนั้นความเร็วของสายพาน ระยะช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กบนและล่าง และความเข้มของสนามแม่เหล็กจะต้องจัดให้เหมาะสม จึงจะทำให้การแยกได้ผลดีที่สุด ส่วนแร่ที่จะป้อนเพื่อทำการแยกนั้นควรผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกงมาแล้วเป็นอย่างดี และแร่จะต้องแห้ง แร่ที่เปียกชื้นนั้นจะแยกไม่ได้ผลดี[11]

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดสายพานขวางมีลักษณะดังรูปที่ 5[8,10] เป็นเครื่องแยกแร่ที่รู้จักกันมานานแล้ว สามารถเลือกแยกแร่ได้ (Selective Concentrator) ใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน เช่น แร่อิลเมไนต์ (Ilmenite) ดีบุก (Cassiterite) โมนาไซต์ (Monazite) การ์เนต (Garnet) โครไมต์ (Chromite) โคลัมไบต์-แทนทาไลต์ (Columbite-Tantalite) วุลแฟรไมต์ (Wolframite)



รูปที่ 4 แสดงขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง[11]

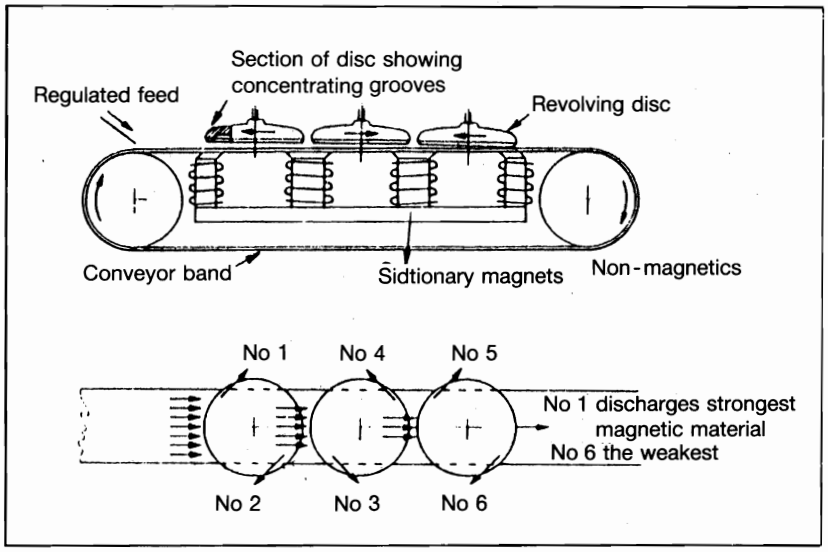


รูปที่ 5 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้ง ความเข้มสูงชนิดสายพานขวาง[8,10]

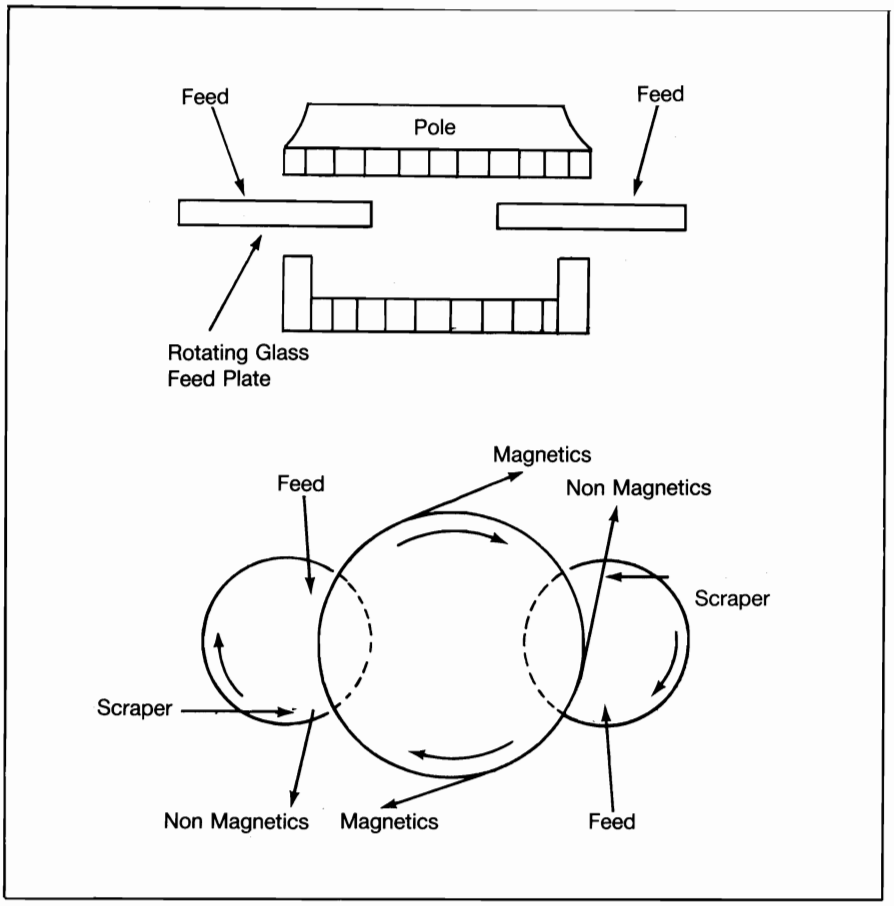
เฮิบเนอไรต์ (Huebnerite) และแร่มีค่าอื่น ๆ อีกหลายชนิด โดยการป้อนแร่ลงบนสายพานลำเลียงแร่ป้อนให้เป็นชั้นบาง (Thin Layer) ไปผ่านสนามแม่เหล็กความเข้มสูงที่ถูกเหนี่ยวนำโดยขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แร่จะดูดติดขั้วแม่เหล็กตามสายพานขวาง แร่แต่ละชนิดจะสามารถดูดติดขั้วแม่เหล็กสายพานขวางและแยกออกเป็นหัวแร่ชนิดต่าง ๆ ได้ตามความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility)

ความจุ (Capacity) ของเครื่องแยกแร่ชนิดนี้จะต่ำ มีราคาแพงเมื่อเทียบกับความจุของเครื่อง เครื่องแยกแร่ที่มีความกว้างของสายพานลำเลียงแร่ป้อน 18 นิ้ว และมีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว สามารถป้อนแร่ได้ประมาณ 2 ตันต่อชั่วโมง[5] อย่างไรก็ตามได้มีการออกแบบเครื่องแยกแร่แบบนี้ให้ใหญ่ขึ้นซึ่งสามารถป้อนแร่ได้ถึงประมาณ 30 ตันต่อชั่วโมงเลยทีเดียว[12]

2) ชนิดจานหมุน (Disc Magnetic Separator) ซึ่งเป็นเครื่องแยกแร่แม่เหล็กประเภทดูดติด (Pick Up or Lift Type) ที่ได้รับการพัฒนามาจากชนิดสายพานขวาง แต่แตกต่างจากชนิดสายพานขวางตรงที่ใช้จานซึ่งมีขอบเป็นรูปลิ่มร่องยาว (Grooved Disc) แทนสายพานขวางในการอุ้มเม็ดแร่ติดแม่เหล็กออกไปจากสนามแม่เหล็ก มีการออกแบบให้ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก (Air Gap) แคบกว่า โดยมีจานแม่เหล็กหมุนอยู่เหนือสายพานลำเลียงแร่ป้อน การเหนี่ยวนำแม่เหล็กมาจากขั้วแม่เหล็กที่อยู่ใต้สายพาน ขอบรูปลิ่มร่องยาวจะทำให้ความชันของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Gradient) มีค่าสูง ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กสามารถปรับได้โดยการยกจานหมุนให้สูงหรือต่ำลง และสามารถปรับความเอียง (Tilt) ของจานหมุนได้ซึ่งจะทำให้ช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กที่ขอบหน้ามากกว่าขอบหลัง เพื่อให้แร่ติดแม่เหล็ก 2 ชนิดที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ต่างกันแยกออกจากกันได้ แร่ป้อนควรจะผ่านการคัดขนาดมาก่อนเพื่อให้การแยกได้ผลดี เครื่องแยกแร่สามารถปรับขนาดความเร็วของสายพาน ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (โดยการปรับกระแสไฟฟ้าในขดลวด) ช่องว่างระหว่างจานแม่เหล็กกับสายพาน และสามารถปรับให้จานหมุนเอียงได้ รูปที่ 6[8] แสดงเครื่องแยกแร่แม่เหล็กจานหมุนแบบแรปิด (Rapid) มีสามจาน ส่วนรูปที่ 7[13] แสดงเครื่องแยกแร่แม่เหล็กจานหมุนแบบแมคลีน (Mclean) ซึ่งมีจานหมุนเพียงจานเดียวเท่านั้น



รูปที่ 6 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง ชนิดจานหมุนแรปิด[8]



รูปที่ 7 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง ชนิดจานหมุนแมคลีน[13]

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแรปิดซึ่งผลิตโดย Boxmag-Rapid Ltd. ประเทศอังกฤษ[8] สามารถลดช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กและสายพานลำเลียงแร่ป้อนได้แคบกว่าเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดสายพานขวาง และสามารถเลือกแยกแร่ได้ดีกว่าด้วย (High Degree of Selectivity) หลักการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบนี้ก็คือมีการจัดเรียงจานหมุนเป็นแบบอนุกรม ซึ่งมีขอบรูปลิ่มร่องยาวตามแนวเส้นรอบวงของจานหมุนอยู่ข้างบนสายพานลำเลียงแร่ป้อน โดยมีสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวดไฟฟ้าติดตั้งอยู่กับที่ใต้สายพาน (ดูรูปที่ 6 ประกอบ) จานหมุนชุดแรก ๆ จะมีช่องว่าง (Air Gap) ห่างจากจานหมุนชุดท้าย ๆ ซึ่งจะทำให้แต่ละจานหมุนทำการแยกแร่ติดแม่เหล็กซึ่งมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กต่าง ๆ กันได้ ความเข้มสนามแม่เหล็กจะเพิ่มมากขึ้นจากจานหมุนแรกไปยังจานหมุนท้าย ซึ่งปรับได้โดยการจัดระยะห่างระหว่างจานหมุนกับสายพาน หรือปรับความเอียงของจานหมุน หรือโดยการปรับกระแสไฟฟ้าของแต่ละขดลวดแม่เหล็ก เมื่อป้อนแร่ที่คัดขนาดมาแล้วอย่างสม่ำเสมอลงบนสายพานลำเลียงแร่ป้อน เม็ดแร่จะผ่านเข้าไปยังสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ แร่ที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็กต่าง ๆ กันจะถูกดูดติดขึ้นมาตามช่องว่างของจานหมุน ส่วนแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกลำเลียงไปตามสายพานนั้น จนออกไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของสายพาน เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบนี้มักจะมีจำนวนจานหมุน 2 หรือ 3 จาน ซึ่งมันสามารถทำการเลือกแยก (Selecting) แร่ชนิดต่าง ๆ ออกมาในแต่ละช่องว่าง (Air Gap) เป็นพวก ๆ ได้ดี แม้ว่าแร่ต่าง ๆ เหล่านั้นจะมีค่าความไวต่ออำนาจแม่เหล็กแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็ตาม เพราะว่ากระแสไฟฟ้าช่องว่างระหว่างจานหมุนกับสายพานลำเลียง และความเอียงของจานหมุนสามารถปรับได้ในขณะที่เครื่องมือกำลังทำงานอยู่ การทำงานตามปกติของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบนี้ ความเข้มสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่ใช้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 8,000 ถึง 15,000 เกาส์ (Gauss) ซึ่งเพียงพอที่จะดูดเอาแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนขึ้นมาได้ ส่วนเครื่อง

แยกแร่แม่เหล็กจานหมุนแบบแมคลีน (Mclean) จะใช้หลักการแยกแร่คล้ายกับแบบแรปิด (Rapid) แต่มีจานหมุนอยู่เพียงจานเดียว โดยใช้แผ่นแก้วหมุนป้อนแร่เข้าไปแทนสายพาน ซึ่งแสดงให้เห็นตามรูปที่ 7

เครื่องแยกแร่แบบแรปิด (Rapid) และแบบแมคลีน (Mclean) มักนิยมใช้ในการแยกแร่ซึ่งเกิดจากชายหาด (Beach Sand Deposit) และแหล่งลานแร่ (Alluvial Deposit) เช่น แยกแร่การ์เนต (Garnet) ออกจากแร่โมนาไซต์ (Monazite) และแยกแร่โมนาไซต์ออกจากแร่ซีโนไทม์ (Xenotime) โดยจะทำการเลือกแยกออกเป็นหัวแร่ชนิดต่าง ๆ ได้ดี นอกจากนั้นแล้วมันยังใช้แยกแร่โมนาไซต์ออกจากแร่เซอร์คอน (Zircon) ซึ่งขบวนการแยกแร่จากแหล่งลานแร่มักจะใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (Induced Roll Magnetic Separator) ซึ่งเป็นเครื่องแยกแร่ที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงและป้อนแร่ได้มาก (จะได้อธิบายต่อไป) ทำการแยกเอาแร่ที่ติดแม่เหล็กทั้งหมดออกมาก่อน แล้วจึงใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบจานหมุนทำการเลือกแยกเอาแร่โมนาไซต์ซึ่งติดแม่เหล็กได้แรงกว่าออกจากแร่ติดแม่เหล็กชนิดอื่น ๆ ซึ่งติดแม่เหล็กได้อ่อนกว่า การเลือกแยก (Selectivity) ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบจานหมุนจะดี แต่ความจุ (Capacity) จะต่ำ

การปรับเครื่องแยกแร่ชนิดจานหมุนเพื่อให้การแยกได้ผลดี อาจทำได้โดย[11]

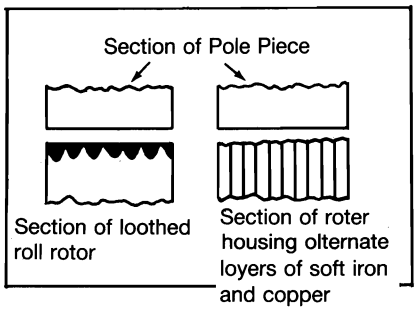
- สายพานแร่ป้อน (ในกรณีที่เป็นแบบแรปิด) หรือแผ่นแก้ว (ในกรณีที่เป็นแบบแมคลีน) ไม่ควรให้เคลื่อนที่เร็ว เพราะแร่ติดแม่เหล็กอาจจะไม่ทันเกาะจานแม่เหล็กทำให้มันตกเข้าไปอยู่ในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กทำให้แยกแร่ไม่สะอาด
- การป้อนแร่ควรให้แผ่กระจายเต็มหน้าสายพานลำเลียงแร่ป้อน (ในกรณีที่เป็นแบบแรปิด) หรือป้อนให้แผ่กระจายทั่วจานแก้ว (ในกรณีที่เป็นแบบแมคลีน) โดยอย่าป้อนแร่ให้หนา ควรป้อนให้สม่ำเสมอ (Regulated Feed) ถ้าป้อนแร่หนาเกินไปแร่ติดแม่เหล็กที่อยู่ชั้นล่างจะไม่มีโอกาสถูกดูดติดจานหมุน
- แร่ที่จะแยกควรคัดให้มีขนาดใกล้เคียงกัน
- แร่ที่นำมาแยกควรเป็นเม็ดแร่อิสระ (Liberated Particle)
- ระยะห่างระหว่างจานแม่เหล็กกับสายพานลำเลียง (หรือจานแก้ว) หรือที่เรียกว่าช่องว่าง (Air Gap) ควรปรับให้เหมาะสมไม่ควรให้ชิดกันมากเพราะจานหมุนอาจปัดแร่ไม่ติดแม่เหล็กลงช่องสำหรับแร่ติดแม่เหล็กได้
- ค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อความเข้มสนามแม่เหล็กควรปรับให้เหมาะสมกับแร่ที่นำมาแยก

3) ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (Induced Roll Magnetic Separator) ได้ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1908[14] เพื่อแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) มีทั้งประเภทเกาะติด (Holding Type) และประเภทดูดติด (Pick Up or Lift Type) เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดนี้ได้พัฒนาในยุคแรก ๆ และนิยมใช้กันมาจวบจนปัจจุบันนี้เป็นประเภทเกาะติด ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือ ขั้วแม่เหล็กสองขั้วมี 2 ชุดประกอบกัน ระหว่างขั้วแม่เหล็กมีลูกกลิ้ง (Roll) ภายในลูกกลิ้งกลวง บนลูกกลิ้งจะมีแถบเหล็กอ่อนที่มีคาร์บอนต่ำ (Low Carbon) สลับกับวัตถุที่ไม่ติดแม่เหล็ก เช่น อะลูมิเนียม (Aluminum) หรือทองแดง (Copper) และอาจทำให้มีรูปร่างเป็นฟันเลื่อย (Tooth) ดังรูปที่ 8 ลูกกลิ้งทำหน้าที่เป็นขั้วแม่เหล็กเพราะได้รับความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยการเหนี่ยวนำให้แร่ติดแม่เหล็กเกาะติดอีกทั้งยังทำหน้าที่ป้อนแร่อีกด้วย เมื่อลูกกลิ้งหมุนไปตามทิศลูกศรชี้ดังรูปที่ 9[9] เม็ดแร่จะพ้นออกจากสนามแม่เหล็กแล้ว แร่ติดแม่เหล็กที่เกาะติดกับลูกกลิ้งจะหลุดออก ส่วนแร่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกเหวี่ยงออกไปจากลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งตัวถัดไปซึ่งอยู่ด้านล่างจะทำหน้าที่แยกแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ทำให้ได้หัวแร่สะอาดขึ้น[15]

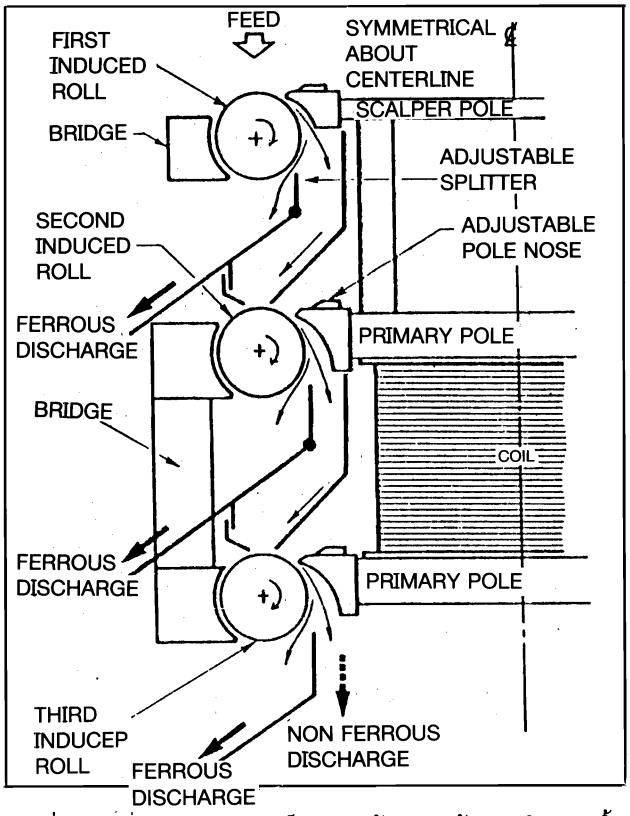
กล่าวกันว่าความเข้มสนามแม่เหล็กตรงช่องว่าง (Air Gap) ระหว่างขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่งกับลูกกลิ้ง (ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนขั้วแม่เหล็กอีกขั้วหนึ่งนั้น) สามารถปรับเพิ่มขึ้นสูงมาก ๆ ได้ โดยอาจถูกเหนี่ยวนำให้มีความเข้มสนามแม่เหล็กได้สูงถึง 22,000 เกาส์ เม็ดแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกเหวี่ยงออกจากลูกกลิ้งเข้าไปในช่องสำหรับแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ในขณะที่เม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กจะถูกดูดติดกับลูกกลิ้งแล้วปล่อยออกไปในช่องสำหรับแร่ติดแม่เหล็ก ระยะระหว่างขั้วแม่เหล็กที่ป้อนแร่ (Feed Pole) และลูกกลิ้งซึ่งเรียกว่าช่องว่าง (Air Gap) นั้นสามารถปรับได้ในแต่ละขั้วที่เกิดการแยก ซึ่งปกติแล้วระยะดังกล่าวแคบลงจากลูกกลิ้งบนสู่ลูกกลิ้งล่างเพื่อแยกแร่ติดแม่เหล็กตามลำดับความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ของแร่ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการแยก โดยที่ลูกกลิ้งตัวล่างถัด ๆ ลงมาจะทำหน้าที่แยกแร่ซ้ำให้สะอาด การปรับแผ่นสำหรับตัดช่องแร่ (Splitter Plate Cutting) ก็มีความสำคัญเช่นกัน เครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดนี้ มีความสามารถในการแยกแร่สูงกว่าแบบ

ดูดติด แต่ข้อเสียคือแร่ที่จะนำมาแยกควรผ่านการคัดขนาดมาเป็นอย่างดี มิฉะนั้นแล้วการแยกจะไม่ค่อยได้ผล (แร่ป้อนควรมีขนาดเล็กกว่า 10 เมช) ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง เช่น แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) แร่อิลเมไนต์ (Ilmenite) หรือเศษเหล็กมักจะเกาะติดขั้วตรงข้ามกับลูกกลิ้งและไม่ยอมหลุดทำให้เป็นอุปสรรคต่อการแยกแร่ ดังนั้นแร่เครื่องจึงมักออกแบบให้มีลูกกลิ้งเพิ่มเข้าไปอีก 1 ลูกกลิ้ง ซึ่งจะมีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำและติดตั้งไว้บนสุดเพื่อแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงเหล่านั้นออกไปก่อน (ดังรูปที่ 9)

ยังมีเครื่องแยกแร่แม่เหล็กลูกกลิ้งเหนี่ยวนำอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า PERMROLL ดังรูปที่ 10[16] ที่ใช้แม่เหล็กถาวรที่มีอำนาจแม่เหล็กมาก ทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กและความชันสนามแม่เหล็กคล้ายกับที่เกิดในระหว่างช่องว่าง (Air Gap) ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบลูกกลิ้งเหนี่ยวนำที่ได้อธิบายมาข้างต้น โดยที่เครื่องมือนี้สามารถแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral) จนถึงแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) โดยมีสายพานผ่านลูกกลิ้งแม่เหล็กเพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดแร่สัมผัสกับลูกกลิ้งโดยตรง



รูปที่ 8 แสดงแผ่นลูกกลิ้ง ในเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ[10]

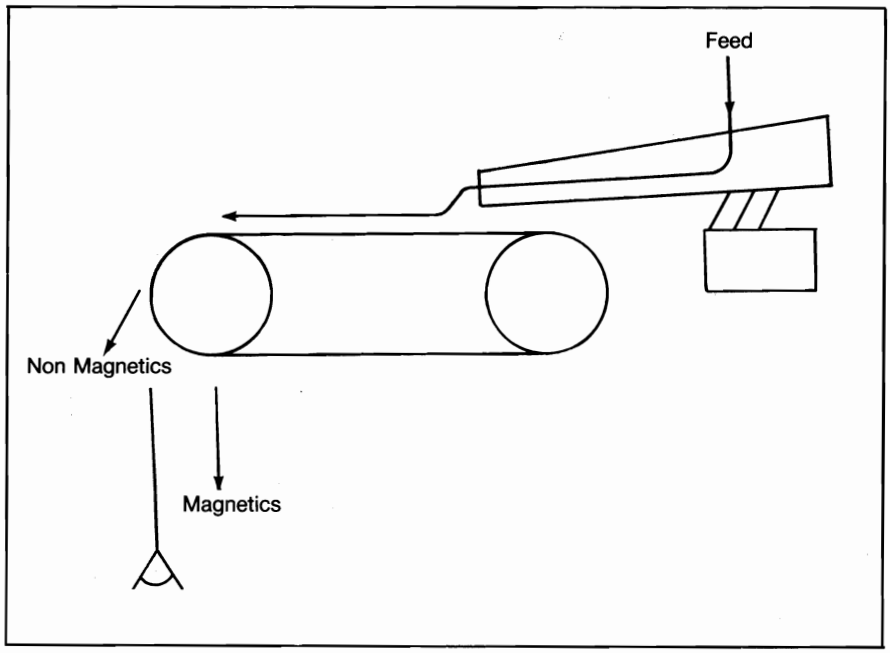


รูปที่ 9 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูงชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (แบบเกาะติด) มี 3 ลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งบนสุดจะใช้แยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง[14]

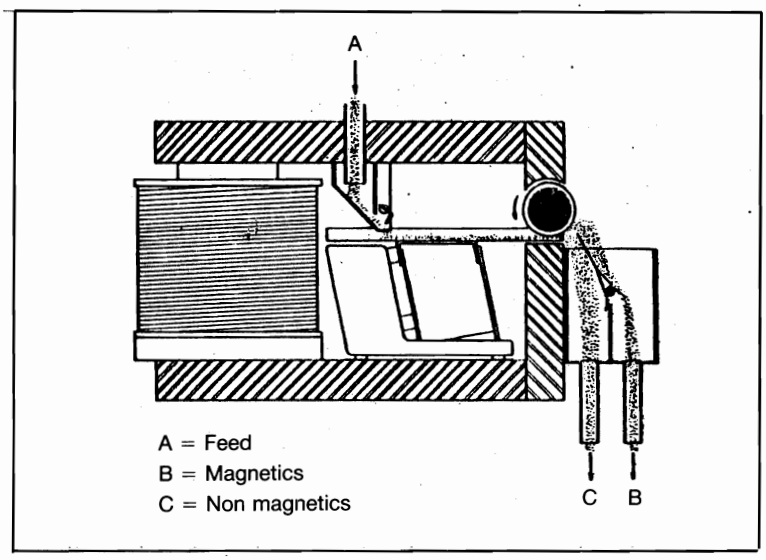
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กลูกกลิ้งเหนี่ยวนำอีกแบบหนึ่ง ซึ่งได้รับการพัฒนาเมื่อไม่นานมานี้ คือแบบดูดติด (Pick Up or Type) ดังรูปที่ 11[10] เครื่องแยกแร่แบบนี้จะมีการป้อนแร่ทางด้านล่างของลูกกลิ้ง และมีหลักการของการเกิดอำนาจแม่เหล็กคล้ายคลึงกันแบบเกาะติด (Holding Type) ดังกล่าวข้างต้น การแยกแร่แม่เหล็กโดยการดูดติดนี้ จะทำให้เกิดการเลือกแยกแร่ (Selecting) ได้ดี ทำให้แร่ที่ติดแม่เหล็กที่แยกออกมาสะอาดโดยมีแร่ติดแม่เหล็กปะปนน้อย

ความรู้เกี่ยวกับเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งสามารถหาอ่านได้จากเอกสารอ้างอิงอื่น ๆ[17,18,19]

(อ่านต่อฉบับหน้า)



รูปที่ 10 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ PERMROLL[16]



รูปที่ 11 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสูง ชนิดลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (แบบดูดติด)[10]

เอกสารอ้างอิง

1. Langguth. F. – *Handbuch der Elektrochemic Electromagnetische Aufbereitung,* Halle A.S., 1903.
2. Korda, D. – "La Separation Electromagnetique et Electrostatique des Mineraux," L' Eclairage Electrique, Paris, 1905.
3. Cunther, C.G. – *Electro-magnetic Ore Separation* McGraw-Hill Publishing Co., 1909.
4. Roe, L.A. – "Advances in Magnetic Separation of Ores," Trans. SME/AIME, Vol.211, 1958, pp.1261-1265.
5. Bronkala, W.J. – "Magnetic Separation" in *Mineral Processing Plant Design,* 2nd edition, edited by Mular, A.L. and Bhappu, R.B., AIME, 1980, pp.467-478.
6. Bronkala, W.J. – "Magnetic Separations and Their Applications in the Mineral Industry," SME/AIME, Preprint 69-B-364, 1969.
7. Oberteuffer, J.A. – "Magnetic Separation : A Review of Principles, Devices and Applications," IEEE Trans. Magn., MAG-10, 1974, pp.223-238.
8. Will, B.A. – *Mineral Processing Technology.* 3rd Edition, Pergramon Press, 1985.
9. Kelley, E.G. and Spottiswood, D.J. – *Introduction to Mineral Processing,* John Wiley & Sons, Inc., New York, 1982.
10. Bronkala, W.J. Haskin, R.J., Tenpas, E.J. and Lawver, J.E. – "Types of Magnetic Separator" in *SME Mineral Processing Handbook Vol.1* edited by Weiss, N.L., American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (AIME), Inc., New York, 1985, pp.6-20 to 6-39.
11. กรมทรัพยากรธรณี, *คู่มือการแต่งแร่,* ฝ่ายสนเทศและวิเทศสัมพันธ์, กองเศรษฐกิจและเผยแพร่, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 3, พ.ศ. 2527.
12. MacDonald, E.H. – "Manual of Beach Sand Mining Practice, Exploration and Evaluation," 2nd edn., Dept. For. Affairs, Aust. Govt. Printing Office, Canberra, 1973.
13. Meechumna, P. – "Recovery of Rarer Minerals From Thai Cassiterite Concentrates," Ph.D. Thesis, Department of Mining and Mineral Engineering, The University of Leeds, Leeds, 1985.
14. Dean, R.S. and Davis, C.W. – "Magnetic Separation of Ores," U.S. Bureau of Mines, Bull. 425, Washington, 1941.
15. Lawver, J.E. and Naussbaum, A. – "Part A : Electrostatic Separator," *SME Mineral Processing Handbook Vol.1,* edited by Weiss, N.L., American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc (AIME), New York, 1985, pp.6-1 to 6-10.
16. Arvidson, B.R. – "Modern High – Intensity Magnetic Separators for the Minerals Industry," First Conference on Indigenous Raw Materials and Their Industrial Utilisation in the Gulf Region, Kuwait, 1-4 November, 1986.
17. Hopstock, D.M. – "Fundamental Aspects of Design and Performance of Low – Intensity Dry Magnetic Separator," Trans. SME/AIME, Vol.258, 1975, pp.222-227.
18. Kihlstedt, P.G. and Skold, B.E. – "Concentration of Magnetite Ores with Dry Magnetic Separators of the Morstell-Sala Type." Proc. 5th Int. Miner. Process. Congr., London, 1960, pp.691-704.
19. Lindgren, E. – "Dry Magnetic Separation Practice in Europe of the Sala-Morstell Separator," Proc. 26th Annual Mining Symposium, Minnesota, 1965, p.111.