บทคัดย่อ

แม่เหล็กแรงดึงดูดสูงที่มีองค์ประกอบของนีโอดีเมียม-เหล็ก-โบรอน (Nd-Fe-B magnet) เป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมสมัยใหม่และมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ได้แก่ มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนในรถยนต์ไฟฟ้า เครื่องมือและอุปกรณ์ไร้สาย ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ชิ้นส่วนในเครื่องสแกน MRI ชิ้นส่วนในไมโครโฟนและหูฟัง ชิ้นส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้แนวโน้มความต้องการใช้งานแม่เหล็ก Nd-Fe-B ในปัจจุบันและอนาคตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการรีไซเคิลขยะแม่เหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อสกัดเอาโลหะหายากจากขยะเหล่านี้จะเป็นการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ต้นทุนการผลิต และความมั่นคงของแหล่งทรัพยากรอย่างยั่งยืน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการรีไซเคิลขยะแม่เหล็กที่มีองค์ประกอบของนีโอดีเมียม-เหล็ก-โบรอนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว เช่น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยกรรมวิธีการสกัดโลหะด้วยสารละลายร่วมกับกรรมวิธีการสกัดโลหะด้วยความร้อน โดยขยะแม่เหล็ก Nd-Fe-B ประกอบด้วยนีโอดีเมียม 25.37% พราซีโอดีเมียม 6.53% โคบอลต์ 0.90% โบรอน 3.63% และเหล็ก 63.57% ขยะแม่เหล็กที่ผ่านการอบเพื่อสลายความเป็นแม่เหล็กและผ่านการบดเพื่อย่อยขนาดให้เล็กลงแล้ว ถูกนำไปชะละลายด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่าแม่เหล็กสามารถละลายลงไปในสารชะละลายได้มากกว่า 90% คงเหลือตะกอนที่ไม่ละลายและโลหะนิกเกิลที่เคลือบผิวแม่เหล็ก นำสารชะละลายที่ได้ไปตกตะกอนของแข็งเพื่อแยกโลหะนีโอดีเมียมจากสารละลายโดยการปรับค่า pH ที่ pH เท่ากับ 0.6 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนให้ได้ความบริสุทธิ์ของนีโอดีเมียมสูงและมีเหล็กเจือปนในปริมาณต่ำ โดยตะกอนที่ได้รับอยู่ในรูปของสารประกอบซัลเฟตของ $Na.Nd(SO_4)_2.(H_2O)$ และ $FeSO_4.(H_2O)$ จากผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี WD-XRF พบว่าประกอบไปด้วยธาตุหลักๆ ได้แก่ นีโอดีเมียม 26.50% พราซีโอดีเมียม 8.46% และเหล็กเจือปนอยู่เพียง 1.19% ได้นำตะกอนซัลเฟตที่ได้รับไปชะละลายซ้ำด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก เพื่อให้ได้ซัลเฟตที่มีความบริสุทธิ์สูงประกอบด้วย นีโอดีเมียม 26.36% พราซีโอดีเมียม 8.13% และเหล็กลดลงเหลือเพียง 0.14% ตะกอนของ $Na.Nd(SO_4)_2.(H_2O)$ จะถูกนำมาล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปลี่ยนรูปของสารประกอบให้ไปอยู่ในรูปของสารประกอบนีโอดีเมียมไฮดรอกไซด์ $Nd(OH)_3$ จากนั้นจึงนำสารประกอบไฮดรอกไซด์ที่ได้นี้ไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำให้สารประกอบนีโอดีเมียมไฮดรอกไซด์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบนีโอดีเมียมออกไซด์ (Nd_2O_3) ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 90.5% ผลที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลนี้สามารถทำการสกัดนีโอดีเมียมและโลหะหายากจากขยะแม่เหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้วให้อยู่ในรูปของออกไซด์ของโลหะหายากที่มีความบริสุทธิ์สูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีไซเคิลนี้สามารถที่จะนำไปพัฒนาใช้งานเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงทดแทนการใช้โลหะหายากจากแหล่งแร่ตามธรรมชาติได้ในอนาคต

Abstract

Neodymium-iron-boron (Nd-Fe-B) magnet is important materials for driving modern industry and used in several applications such as electric vehicle motor, cordless tool, hard disk drive, magnetic resonance imaging (MRI) scanner, speaker and headphone, and generator for wind turbines. Then, Nd-Fe-B magnet demand is rapidly increasing in nowadays and future. Consequently, the end-of-life (EOL) of these electronic wastes are also drastically increasing. Therefore, recycling of EOL magnet scrap for extraction of rare-earth metals from these scraps are decrease the environment problems, production cost and sustainable resources supplying.

This research study the recycling of neodymium-iron-boron (Nd-Fe-B) magnet scrap from the EOL hard disk drives (HDDs) by using hydrometallurgical process combined with pyrometallurgical process. The composition of Nd-Fe-B magnet scrap was consisted of 25.37%Nd, 6.53%Pr, 0.90%Co, 3.63%B and 63.57%Fe. De-magnetized and crushed into proper size magnet scraps were directly leached by H_2SO_4 solution. Magnet scraps more than 90% were dissolved into leached solution and remained the residuals and Ni-coated metal. The leached solution was precipitated to extract neodymium from the solution by adjusting pH at 0.6 which was the optimum condition to obtain high purity neodymium precipitates and low amount of iron contaminated. Solid Nd-precipitates was obtained in form of neodymium sulfate ($Na.Nd(SO_4)_2.H_2O$) and iron sulfate ($FeSO_4.H_2O$). Elemental analysis of Nd-precipitates by WD-XRF, the precipitates was contained of 26.50%Nd, 8.46%Pr and 1.19%Fe. Subsequently, Nd-precipitates was leached by using H_2SO_4 solution to obtain high purity $Na.Nd(SO_4)_2.(H_2O)$ compound which consisted of 26.36%Nd, 8.13%Pr with Fe as low as 0.14%Fe. $Na.Nd(SO_4)_2.(H_2O)$ compound was rinsed by NaOH solution to transform into $Nd(OH)_3$ compound. Later, $Nd(OH)_3$ compound was calcinated at 1,000 °C for 2 hours to oxidize and yield as 90.5% purity neodymium oxide (Nd_2O_3) product. As a result, this recycling process was achieved to extract neodymium and rare-earth metals from EOL magnet scrap to obtain high purity REMs oxide product. This recycling product was would be developed as raw materials to supply Nd-Fe-B magnet production process instead of rare-earth metals from the natural resources in further.