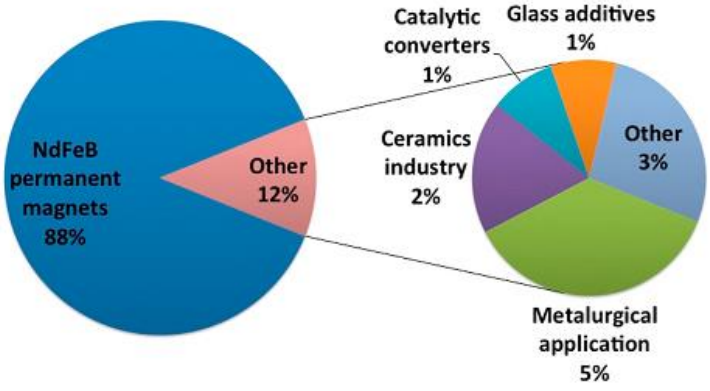
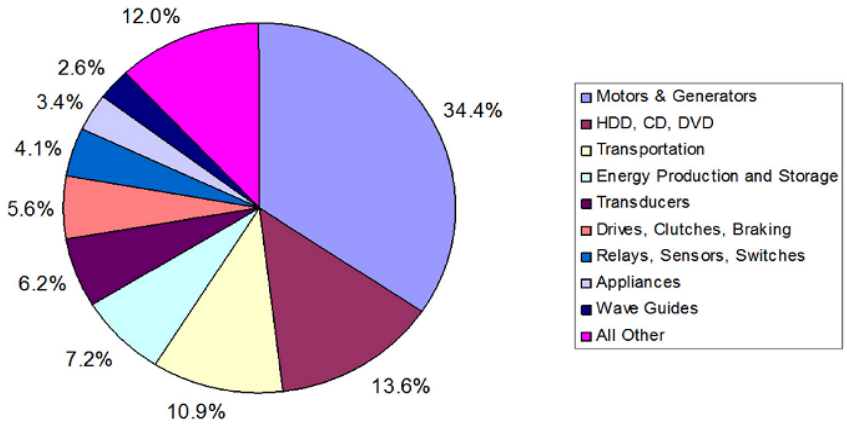
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

นีโอดีเมียม (Neodymium, Nd) ถือเป็นโลหะหายาก (Rare-earth Metals) ชนิดหนึ่ง ค้นพบในปี ค.ศ. 1885 โดย คาร์ล เอาเออร์ วอน เวฟบาร์ค (Carl Auer von Welsbach) นักเคมีชาวออสเตรียด้วยการแยกธาตุไดดิเมียม (Didymium) ออกมาได้โลหะเพรซีโอดิเมียมที่มีสีเขียว (Praseodymium, Pr) และโลหะนีโอดีเมียมที่มีสีชมพู (Neodymium, Nd) ซึ่งต่อมาโลหะนีโอดีเมียมนี้ได้ถูกนำมาใช้งาน และมีบทบาทในการขับเคลื่อนและการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมเคมี ธาตุผสมที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก รวมถึงการใช้งานทางด้านวัสดุแม่เหล็ก โดยเฉพาะแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงที่มีนีโอดีเมียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีการใช้งานในอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีชั้นสูง (High technology components) ทดแทนแม่แหล็กที่มีการใช้งานมาก่อนหน้านี้ จากการรายงานของ Sprecher และคณะ (2012) พบว่าสัดส่วนการใช้งานโลหะนีโอดีเมียมส่วนใหญ่นั้นถูกนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนแม่เหล็กดึงดูดสูงที่มีนีโอดีเมียมเป็นองค์ประกอบ ($Nd_2Fe_{14}B$ หรือ NdFeB) โดยคิดเป็น 88% ของการใช้งานโลหะนีโอดีเมียมทั้งหมด ดังข้อมูลแสดงในรูปที่ 1.1 นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2012 Shaw และคณะ (2012) มีการรายงานว่าแม่เหล็กชนิดนี้มีสัดส่วนการใช้งานหลัก ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ชิ้นส่วนมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคิดเป็น 34.4% รองลงมา ได้แก่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ฮาร์ดดิสไดรฟ์ (HDD) อุปกรณ์ซีดี (CD) และดีวีดี (DVD) โดยคิดเป็น 13.6% ดังข้อมูลแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้งานโลหะนีโอดีเมียมในด้านต่าง ๆ (Sprecher และคณะ, 2012)



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการใช้งานแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงที่มีนีโอดีเมียมเป็นองค์ประกอบ (Shaw และคณะ, 2012)

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบสมบัติทางด้านแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรแต่ละประเภท (ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Rare-earth_magnet)

Magnet	B_r (T)	H_{ci} (kA/m)	$B{\cdot}H_{max}$ (kJ/m^3)	T_C (°C)
$Nd_2Fe_{14}B$ (sintered)	1.0–1.4	750–2000	200–440	310–400
$Nd_2Fe_{14}B$ (bonded)	0.6–0.7	600–1200	60–100	310–400
$SmCo_5$ (sintered)	0.8–1.1	600–2000	120–200	720
Sm (Co, Fe, Cu, Zr)$_7$ (sintered)	0.9–1.15	450–1300	150–240	800
Alnico (sintered)	0.6–1.4	275	10–88	700–860
Sr-ferrite (sintered)	0.2–0.4	100–300	10–40	450

*B_r : Romanence, เป็นค่าความแข็งแรงของสนามแม่เหล็ก (The strength of magnetic field)

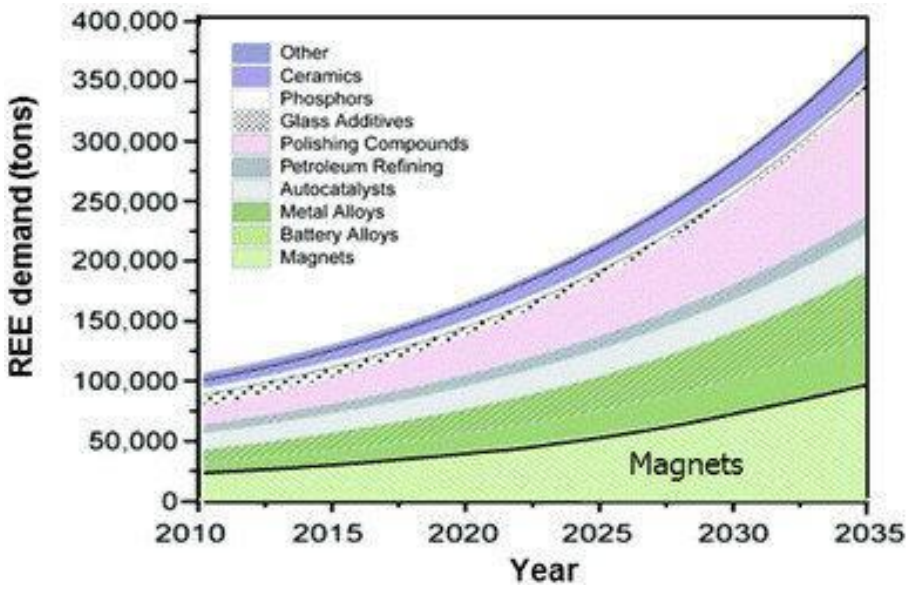
*H_{ci} : Coercivity, เป็นค่าความสามารถในการต้านทานการสูญเสียความเป็นแม่เหล็ก (The material's resistance to becoming demagnitized)

*$B{\cdot}H_{max}$: Energy product, เป็นค่าความหนาแน่นของพลังงานแม่เหล็ก (The density of magnetic energy)

*T_C : Curie temperature, เป็นอุณภูมิที่จะสูญเสียความเป็นแม่เหล็ก (The temperature which material loses its magnetism)

เนื่องจากแม่เหล็ก NdFeB มีสมบัติทางด้านแม่เหล็กที่เหนือกว่าแม่เหล็กถาวรประเภทอื่น ๆ ที่มีการใช้งานมาก่อนหน้านี้ ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 1.1 เช่น มีค่าความแข็งแรงของสนามแม่เหล็ก (B_r) ค่าความสามารถในการต้านทานการสูญเสียความเป็นแม่เหล็ก (Hci) และค่าความหนาแน่นของ

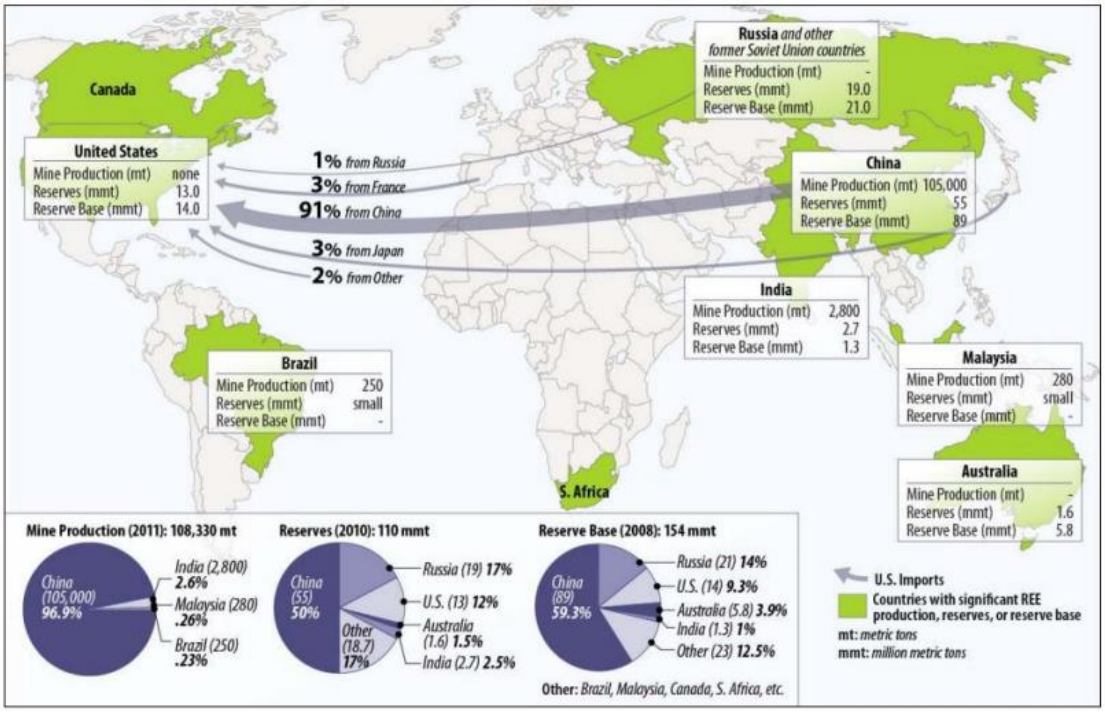
พลังงานแม่เหล็ก (B·Hmax) ที่สูงกว่าแม่เหล็กถาวรประเภทอื่น ส่งผลให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานด้านต่าง ๆ ที่มีการใช้งานแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงประเภทนี้มีน้ำหนักน้อยลง ด้วยเหตุนี้ความต้องการใช้งานโลหะนีโอดีเมียมสำหรับการผลิตแม่เหล็กจึงมีแนวโน้มสูงขึ้น จากปริมาณความต้องการใช้งาน 20,500 ตัน ในปี ค.ศ. 2010 เพิ่มสูงขึ้นเป็น 75,000 ตัน ในปี ค.ศ. 2035 ดังข้อมูลของ Alonso E และคณะ (2012) ที่แสดงในรูปที่ 1.3 อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Humphries (2013) พบว่าแม้ความต้องการโลหะหายากจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แหล่งแร่หรือแหล่งผลิตกลับพบในพื้นที่จำกัด และมีปริมาณหนาแน่นในบางประเทศเท่านั้น เช่น ประเทศจีน ซึ่งเป็นประเทศที่ส่งออกโลหะหายากมากที่สุดในโลก นอกจากนี้ยังพบว่าประเทศสหรัฐอเมริกามีการนำเข้าโลหะหายากจากประเทศจีนมากถึงร้อยละ 91 ในช่วงปี ค.ศ. 2008 -2013 ซึ่งปริมาณการถลุงหรือการผลิตแร่ในปัจจุบันอาจไม่เพียงพอสำหรับความต้องการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตอีกทั้งการถลุงโลหะนีโอดีเมียมจากแหล่งแร่ทางธรรมชาตินั้นยังส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศของโลก โดยมีรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำเหมืองสูงถึงประมาณ 20 ล้านตันต่อปี (Humphries,2013)



รูปที่ 1.3 การคาดการณ์แนวโน้มความต้องการใช้งานโลหะหายากสำหรับผลิตเป็นแม่เหล็กแรงดึงดูดสูง และการใช้งานในด้านอื่น (Alonso E และคณะ, 2012)

ตารางที่ 1.2 ส่วนผสมทางเคมีของขยะแม่เหล็กแรงดึงดูดสูง NdFeB (Voßenkaul และคณะ, 2013)

ธาตุผสมในแม่เหล็กนีโอดีเมียม	Fe	Nd	B	Pr	Dy	Co	Cu	Tb	Al
เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (wt%)	63.67	23.5	0.94	2.26	6.14	2.98	0.10	0.14	0.26



รูปที่ 1.4 ข้อมูลการนำเข้าโลหะหายากของประเทศสหรัฐอเมริกาและแหล่งแร่สำรองของแต่ละประเทศที่ส่งออกโลหะหายาก (Humphries, 2013)

จากข้อมูลลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของแม่เหล็กแรงดึงดูดสูง NdFeB มีส่วนผสมทางเคมีหลัก ๆ ประกอบไปด้วยเหล็กประมาณ 64% โบรอนประมาณ 1% และโลหะหายากประมาณ 35% ซึ่งในปริมาณโลหะหายากทั้งหมดนี้มีนีโอดีเมียมสูงถึง 23.5% ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 1.2 ดังนั้น การรีไซเคิลเพื่อที่จะนำเอาโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงที่มีนีโอดีเมียมเป็นองค์ประกอบกลับมาใช้งานใหม่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากขยะแม่เหล็กเหล่านี้ถือเป็นแหล่งทรัพยากรทดแทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหายากอยู่ในปริมาณสูงกว่าองค์ประกอบที่มีในแหล่งแร่ธรรมชาติ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการรายงานถึงวิธีการรีไซเคิลที่ใช้ในการสกัดโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงหลายวิธีด้วยกัน เช่น กระบวนการสกัดโลหะทางความร้อน (Pyrometallurgical process) [3] กระบวนการสกัดโลหะโดยการใช้สารละลาย (Hydrometallurgical process) [3-5] กระบวนการสกัดโลหะทางไฟฟ้า (Electrometallurgical process) [6-7] เป็นต้น ซึ่งกรรมวิธีและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดในงานวิจัยเหล่านี้มีความแตกต่างและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็แตกต่างกันไปตามวิธีการ จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้พบว่าปัญหาหรือข้อจำกัดที่เกิดขึ้นคือ ความสามารถและวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเลือกสกัด (selective extraction) เอาเฉพาะโลหะนีโอดีเมียมหรือโลหะหายากที่ต้องการออกมาจากขยะแม่เหล็กแรงดึงดูดสูง ความบริสุทธิ์หรือปริมาณความเข้มข้นของโลหะนีโอดีเมียมหรือโลหะหายากที่ได้จากการสกัดเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรม โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดก่อนหน้านี้มีปริมาณของเหล็กและโลหะเจือปนชนิดอื่นอยู่ในผลิตภัณฑ์ในปริมาณสูง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มี

การสกัดก่อนหน้านี้มีความบริสุทธิ์ต่ำและยังไม่เหมาะสมที่จะนำกลับไปใช้งานเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อใช้ในการผลิตเป็นแม่เหล็ก NdFeB ได้ใหม่

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวิธีการรีไซเคิลเพื่อเลือกสกัดเอาโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงที่มีนีโอดีเมียมเป็นองค์ประกอบในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ใช้งานแล้ว ซึ่งเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากในอนาคตมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนจากแหล่งแร่นีโอดีเมียมและโลหะหายากในธรรมชาติให้มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อสามารถพัฒนาหรือปรับปรุงให้นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแม่เหล็ก NdFeB รวมไปถึงศึกษาผลของตัวแปรและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการรีไซเคิลแม่เหล็กแรงดึงดูดสูงที่มีนีโอดีเมียมเป็นองค์ประกอบ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการสกัดโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กนีโอดีเมียมในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ใช้งานแล้ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1. ศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างแม่เหล็ก NdFeB ที่จะใช้ในการสกัดด้วยกรรมวิธีทางโลหวิทยา

1.3.2. ศึกษาวิธีการสกัดโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กนีโอดีเมียมในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ใช้งานแล้วด้วยกรรมวิธีทางโลหวิทยา

1.3.3. ศึกษาผลของตัวแปรที่ใช้ในการสกัดโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กนีโอดีเมียมในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ใช้งานแล้ว

1.3.4. วิเคราะห์และตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดโลหะนีโอดีเมียม

1.4 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ

1.4.1. ทราบวิธีการเตรียมตัวอย่างแม่เหล็ก NdFeB ที่จะใช้ในการสกัดด้วยกรรมวิธีทางโลหวิทยา

1.4.2. ทราบวิธีการสกัดโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กนีโอดีเมียมในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ ใช้งานแล้วด้วยกรรมวิธีทางโลหวิทยา

1.4.3. ทราบตัวแปรและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโลหะนีโอดีเมียมจากขยะแม่เหล็กนีโอดีเมียมในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ใช้งานแล้ว

1.4.4. ได้ผลิตภัณฑ์จากการสกัดที่มีความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของโลหะนีโอดีเมียม และโลหะหายากสูง