หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยการผลิตไทเทเนียมออกไซด์จากแร่อิลเมไนต์ นำแร่อิลเมไนต์ที่เป็นผลผลิตจากการแต่งมูลแร่ดีบุกในจังหวัดทางภาคใต้มาวิจัย ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

TiO_2	51.86 %
Fe total	31.98 %
FeO	22.74 %
Fe_2O_3	20.44 %
MnO	4.10 %

ขั้นตอนการผลิตมี 4 ขั้นตอนคือ การออกซิเดชัน การรีดักชัน การกวนที่มีการพ่นอากาศ และการชะละลาย ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

7.1 <u>การออกซิเดชัน</u>

เป็นการเผาออกซิเดชันเพื่อให้อิลเมไนต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนรีดักชัน ออกซิเจนในอากาศจะออกซิไดส์เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) เป็นเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ดังปฏิกิริยา

$$2FeTiO_3 + 0.5O_2 \longrightarrow Fe_2TiO_5 + TiO_2$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฟสของผลผลิตที่ได้เป็นซูโดบรูคไกต์และรูไทล์ สภาวะที่เหมาะสมเผาที่อุณหภูมิ 1000 °ซ. เวลา 4 ชั่วโมง ได้ผลผลิตที่มีส่วนประกอบดังนี้

TiO_2	51.86 %
Fe total	31.98 %
FeO	0.99 %
Fe_2O_3	44.62 %
MnO	4.10 %

จะเห็นว่าค่าเฟอรัสออกไซด์ (FeO) จะลดลงเมื่อเทียบกับแร่อิลเมไนต์ดิบ

7.2 การรีดักชัน

ขั้นตอนนี้ใช้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์จากโค๊กรีดิวซ์เหล็กออกไซด์ในตัวอย่างแร่ที่ผ่านการออกซิเดชันเป็นโลหะเหล็ก สำหรับทดลองในขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศ ดังปฏิกิริยา

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$
$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO$$
$$Fe_2TiO_5 + TiO_2 + CO \longrightarrow 2FeTiO_3 + CO_2$$
$$FeTiO_3 + CO \longrightarrow Fe(M) + TiO_2 + CO_2$$

สภาวะที่เหมาะสมเผาตัวอย่างแร่ที่ผ่านการออกซิเดชันผสมโค๊ก ในอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณโค๊กมากเกินพอ ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ. เวลา 4 ชั่วโมง เฟสของผลผลิตที่ได้เป็นซูโดบรูคไกต์ อะนาเทส และโลหะเหล็ก ซึ่งเฟสซูโดบรูคไกต์ที่เกิดขึ้นนี้อาจจะเกิดจากปฏิกิริยา

$$Fe_2TiO_5 + TiO_2 + CO \longrightarrow 2FeTiO_3 + CO_2$$
$$2FeTiO_3 + CO \longrightarrow FeTi_2O_5 + Fe(M) + CO_2$$

ผลผลิตมีค่าโลหะเหล็ก 23.73 % ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การเป็นโลหะเท่ากับ 74.20 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การเป็นโลหะที่ได้มีค่าต่ำกว่า 90 % อาจเป็นเพราะแร่อิลเมไนต์ที่นำมาวิจัยมีแมงกานีสออกไซด์ค่อนข้างสูงเท่ากับ 4.10 % ซึ่งมลทินพวกแมกนีเซียม แมงกานีส แคลเซียม และซิลิกอน ที่มีในแร่อิลเมไนต์จะมีผลต่อการลดอัตรารีดักชัน

การรีดักชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการเพราะถ้าเหล็กในตัวอย่างแร่เปลี่ยนเป็นเฟสโลหะเหล็กได้มาก ก็จะสามารถสกัดเอาเหล็กออกจากตัวอย่างได้มากด้วยในขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศ

7.3 การกวนที่มีการพ่นอากาศ

ขั้นตอนนี้เป็นการกวนตัวอย่างแร่ที่ผ่านการรีดักชันในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (สำหรับปรับ pH) ที่มีการพ่นอากาศ เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศออกซิไดส์โลหะเหล็กในตัวอย่างเป็นเหล็กออกไซด์แยกตัวออกจากไทเทเนียมออกไซด์ในลักษณะผงละเอียด ดังปฏิกิยา

$$3Fe(M) + 2O_2 \longrightarrow Fe_3O_4$$

สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ สำหรับตัวอย่างแร่ 30 กรัม ดังนี้

ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์	2	%
เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม (% solid)	40	นน./นน.
อุณหภูมิ	60	°ซ.
ความเร็วรอบในการกวน	500	รอบต่อนาที
อัตราการไหลของอากาศ	15	ลิตรต่อนาที
เวลาในการกวน	12	ชั่วโมง

มีแนวโน้มแสดงให้เห็นว่าเมื่อตัวแปร ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ อุณหภูมิ ความเร็วรอบในการกวน อัตราการไหลของอากาศ และเวลาในการกวน มีค่ามากขึ้นมีผลให้ปริมาณเหล็กในผลผลิตน้อยลง แต่ทั้งนี้อาจต้องคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมเพราะถ้าตัวแปรมีค่ามากขึ้น พลังงานที่ใช้ก็จะมากขึ้นด้วย

เฟสของผลผลิตเป็นซูโดบรูคไกต์ และอะนาเทส จะเห็นว่าเฟสโลหะเหล็กจะหายไปเมื่อเทียบกับตัวอย่างแร่ก่อนการกวน เนื่องจากถูกออกซิไดส์เป็นฝุ่นเหล็กออกไซด์ (Fe_3O_4) ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวอย่างที่ผ่านการกวนที่มีการพ่นอากาศ มีดังนี้

TiO_2	84.63 %
Fe total	5.26 %
FeO	3.34 %
Fe_2O_3	3.80 %
MnO_2	5.29 %

จะเห็นว่า TiO_2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 51.86 % เป็น 84.63 % ปริมาณเหล็กทั้งหมดลดลงจาก 31.98 % เป็น 5.26 % และสัดส่วนของมลทินต่าง ๆ เช่น SiO_2 Al_2O_3 Cr_2O_3 CuO จะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากสกัดเหล็กออกไป

7.4 การชะละลาย

การชะละลายด้วยกรดเป็นขั้นตอนเพื่อชะละลายเหล็กและมลทินอื่น ๆ ที่เหลืออยู่จากขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศ

7.4.1 การชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก

จากผลการทดลองการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีผลต่อตัวอย่างแร่ที่ประกอบด้วยเฟสซูโดบรูคไกต์และอะนาเทสน้อย มีสภาวะที่เหมาะสมดังนี้

ความเข้มข้นของกรด	20	%
ปริมาณของกรดที่ใช้	500	กรัมต่อตันแร่
เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม	14	นน./นน.
อุณหภูมิ	70	°ซ.
ความเร็วรอบในการกวน	200	รอบต่อนาที
เวลาในการชะละลาย	16	ชั่วโมง

เฟสของผลผลิตที่ได้เป็นอะนาเทสและรูไทล์ เฟสของรูไทล์ที่เกิดขึ้นอาจมาจากปฏิกิริยา

$$FeTi_2O_5 + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2O + 2TiO_2$$

ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวอย่างที่ผ่านการชะละลาย มีดังนี้

TiO_2 87.61 %

Fe_2O_3 3.49 %

MnO_2 4.90 %

% การเก็บ TiO_2 ได้ 98.03

จะเห็นว่าปริมาณแมงกานีสออกไซด์เปลี่ยนแปลงน้อย มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่นำมาชะละลาย

7.4.2 <u>การชะละลายด้วยกรดซัลฟิวริก</u>

จากผลการทดลองการชะละลายด้วยกรดซัลฟิวริกมีผลใกล้เคียงกับการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก ผลผลิตหลังการชะละลายมีค่าไทเทเนียมออกไซด์ เหล็กทั้งหมด แมงกานีส เปลี่ยนแปลงน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการชะละลาย การชะละลายมีสภาวะที่เหมาะสมดังนี้

ความเข้มข้นของกรด	20	%
ปริมาณของกรดที่ใช้	2.16	ตันต่อตันแร่

เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม	12	นน./นน.
อุณหภูมิ	70	°ซ.
ความเร็วรอบในการกวน	200	รอบต่อนาที
เวลาในการชะละลาย	24	ชั่วโมง

เฟสของผลผลิตที่ได้เป็นอะนาเทส และรูไทล์ เฟสของรูไทล์ที่เกิดขึ้นอาจมาจากปฏิกิริยา

$$FeTi_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow FeSO_4 + H_2O + 2TiO_2$$

ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวอย่างที่ผ่านการชะละลาย มีดังนี้

TiO_2 88.13 %

Fe_2O_3 3.89 %

MnO_2 5.07 %

% การเก็บ TiO_2 ได้ 94.16

จะเห็นว่าในขั้นตอนการชะละลาย มลทินเช่น SiO_2 , MnO , Al_2O_3 และ Cr_2O_3 ยากที่จะชะละลายออกไปได้ยังเหลืออยู่ในตัวอย่างไทเทเนียมออกไซด์ สัดส่วนของ SiO_2 และ Al_2O_3 จะเพิ่มขึ้นหลังจากการชะละลาย

7.5 <u>ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ</u>

1. กระบวนการผลิตไทเทเนียมออกไซด์จากแร่อิลเมไนต์ที่มี 4 ขั้นตอนคือ การออกซิเดชัน การรีดักชัน การกวนที่มีการพ่นอากาศ และการชะละลาย ขั้นตอนที่สำคัญคือการรีดักชัน และการกวนที่มีการพ่นอากาศ หากมีการวิจัยในสเกลใหญ่ (Pilot Scale) โดยนำข้อมูลในการวิจัยจากสเกลห้องปฏิบัติการ ควรคำนึงว่าอาจให้ผลผลิตมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน เช่น การวิจัยในครั้งนี้การรีดักชันได้ทดลองในเตาเผาแบบท่อสเกลห้องปฏิบัติการ แต่เมื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศได้เผาในเตาหมุน โดยใช้เงื่อนไขตัวแปรเดียวกัน แต่ผลผลิตที่ได้มีค่าการเป็นโลหะต่างกัน

2. สำหรับการออกซิเดชัน การเผาที่อุณหภูมิสูงจะให้ผลดี ค่าเฟอรัสออกไซด์น้อย แต่ไม่ควรเกิน 1000 °ซ. เพราะถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้แร่จะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับทดลองในขั้นตอนรีดักชัน

3. ขั้นตอนการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกและซัลฟิวริก มีผลต่อตัวอย่างแร่น้อย หากมีการวิจัยค้นคว้าต่อไปขั้นตอนนี้อาจไม่จำเป็น

4. สำหรับฝุ่นเหล็กออกไซด์ที่เกิดจากขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศ ถ้ามีการผลิตในสเกลใหญ่จะใช้ไซโคลนมาแยกเหล็กออกไซด์ออกจากตัวอย่างแร่ อาจนำมาผลิตสำหรับอุตสาหกรรมสี และการผลิตเทปในตลับเทปคาสเซตได้

5. จะเห็นว่าผลผลิตสุดท้ายจะมีค่าไทเทเนียมออกไซด์น้อยกว่า 90 % อาจเพราะในแร่อิลเมไนต์ดิบที่นำมาวิจัยมีค่าแมงกานีสออกไซด์สูงเท่ากับ 4.10 % ซึ่งเป็นมลทินสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. วีระพงศ์ เอี่ยวพานทอง และ วิชาญ อมตาริยกุล, "การแต่งแร่อิลเมไนต์ในเชิงอุตสาหกรรม," การประชุมทางวิชาการกรมทรัพยากรธรณีครั้งที่ 4, หน้า 458-485, สำนักงานเลขานุการกรม กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพมหานคร, 2530.
2. Ivan Kostov, Mineralogy, pp. 240-250, Oliver and Boyd, Great Britain, 1968.
3. Hurlbut, C.S. JR., and C. Klein, Manual of Mineralogy, pp. 271-273, John Wiley & Sons, New York, 19th ed., 1977.
4. Patterson, M.C.L., and J. Cameron, "Limitations in Gaseous Reduction, Oxidation and Upgrading of Allard Lake Ilmenite," Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section c : Mineral Processing and Extractive Metallurgy), 94, C215-C223, 1985.
5. Ramdohr, P., The Ore Minerals and Their Intergrowths Vol 2, pp. 908-1050, Pergamon Press, Federal Republic of Germany, 2nd ed., 1980.
6. Rao, D. Bhageswara, and M. Rigaud, "Kinetics of the Oxidation of Ilmenite," Oxidation of Metals, 9 (1), 99-116, 1975.
7. ภิญโญ มีชำนะ, "แร่อิลเมไนต์ของประเทศไทย," วารสารโลหะ, วัสดุ และ แร่, 1 (2), 45-54, 2532.
8. วิชาญ อมตาริยกุล, "แร่ Ilmenite ในแง่เศรษฐกิจ," วารสารสมาคมวิศวกรเหมืองแร่ไทย, 1, 72-80, 2530.
9. Jaturong Praditwan, "Titanium Minerals in Thailand," SEATRAD CENTRE, No. 67, pp. 1-15, Ipoh, 1988.
10. ________, "Prices," Industrial Minerals, 272, 98-99, 1990.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย