หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การชะละลายแร่ที่ผ่านการกวนที่มีการพ่นอากาศมาแล้ว

การชะละลายแร่คือวิธีการเลือกใช้น้ำยาเคมีที่เหมาะสมไปชะละลายแร่ที่ต้องการออกมา หรือชะละลายแร่ที่ไม่ต้องการออกไปก็ได้ การชะละลายแร่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีของแร่นั้น ๆ และสภาพการเตรียมแร่ การที่จะให้ได้ผลดีนั้นต้องเลือกใช้สารเคมีที่ถูกต้องเหมาะสม พิจารณาปริมาณของสารเคมีที่จะใช้ ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาการชะละลาย ในบางครั้งอาจต้องใช้ความร้อนหรือความดันเข้าช่วยเพื่อให้ปฏิกิริยาการชะละลายรวดเร็วและได้ผลดียิ่งขึ้น

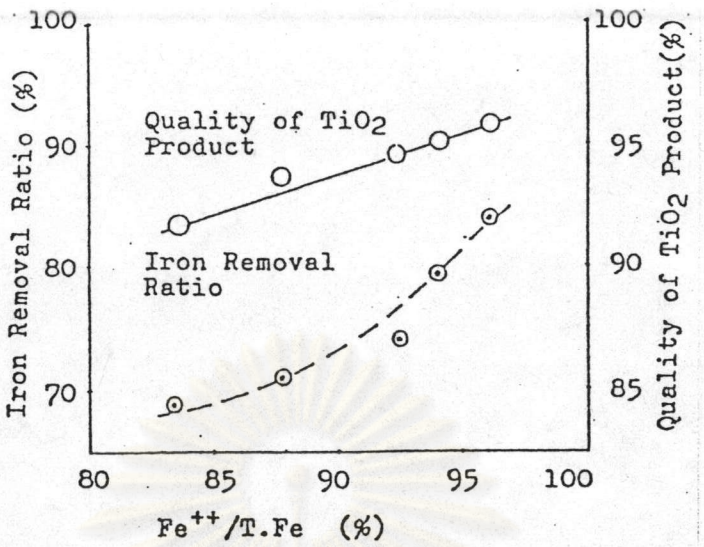
การชะละลายแร่ด้วยสารต่าง ๆ มีหลายประเภทเช่น น้ำ กรด ด่าง และสารละลายพิเศษเช่น สารประกอบไซยาไนด์ ปรอท การชะละลายมีขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การปรับแต่งคุณภาพของสินแร่ การละลายเอาธาตุหรือสารประกอบที่ต้องการ การกรองแยกสารละลาย การแยกเอาธาตุหรือสารประกอบออกจากสารละลาย การทิ้งหางแร่หรือกากที่เหลือ และการนำสารละลายที่ใช้ชะละลายแร่กลับไปใช้ใหม่

สำหรับขั้นตอนการชะละลายในการผลิตไทเทเนียมออกไซด์ครั้งนี้ เป็นการนำตัวอย่างแร่ที่ผ่านการกวนที่มีการพ่นอากาศไปชะละลายด้วยกรดเพื่อชะละลายเหล็กออกไซด์ที่เหลืออยู่และมลทินอื่น ๆ เช่น แมงกานีส ทำให้ได้ไทเทเนียมออกไซด์ที่ไม่ละลายเหลืออยู่

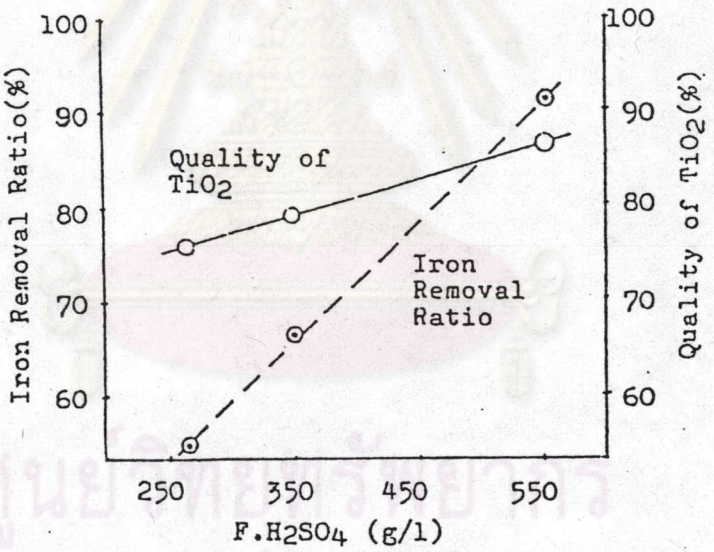
Goto (13) ศึกษาพบว่าโดยทั่วไปกรรมวิธีโลหการสารละลาย (Hydrometallurgical) พวกสารประกอบ SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 ไม่สามารถสกัดออกไปได้ในการชะละลาย ยังคงเหลืออยู่ในรูไทล์สังเคราะห์ และในบางกรณีพวกธาตุ Mg Ca Mn ก็ยากที่จะชะละลายออกไป อัตราส่วนของปริมาณมลทินพวกนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเหล็กถูกสกัดออกไป

Mackey (25) ได้ทดลองชะละลายแร่ที่ผ่านการรีดักชันด้วยแก๊สไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 900 °ซ. เวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 105-125 °ซ. เวลา 12-22 ชั่วโมง จะได้รูไทล์สังเคราะห์ที่มี TiO_2 92.66 % จากแร่อิลเมไนต์ดิบที่มี TiO_2 59.30 %

การรีดักชันเหล็กออกไซด์ที่อยู่ในอิลเมไนต์เป็นเฟอรัสออกไซด์หรือโลหะเหล็ก เป็นการช่วยให้เหล็กถูกชะละลายดีขึ้นในขั้นตอนการชะละลาย ดังรูปที่ 6.1 แสดงผลของอัตราการรีดักชันต่อการชะละลายที่ Kataoka และ Yamada (20) ได้ทดลองโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวชะละลายที่ความเข้มข้นของกรด 265 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 130 °ซ. เวลา 8 ชั่วโมง จะเห็นว่าถ้าค่าเฟอรัสไอออนสูงทำให้เหล็กถูกชะละลายได้มากขึ้น มีผลให้ผลผลิตมี TiO_2 สูงขึ้น และจากรูปที่ 6.2 แสดงผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการชะละลายที่อุณหภูมิ 130 °ซ. เวลา 8 ชั่วโมง จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของกรดมากจะชะละลายได้ดีขึ้น



รูปที่ 6.1 ผลของอัตราการรีดักชันที่มีต่อการชะละลายแร่ (20)

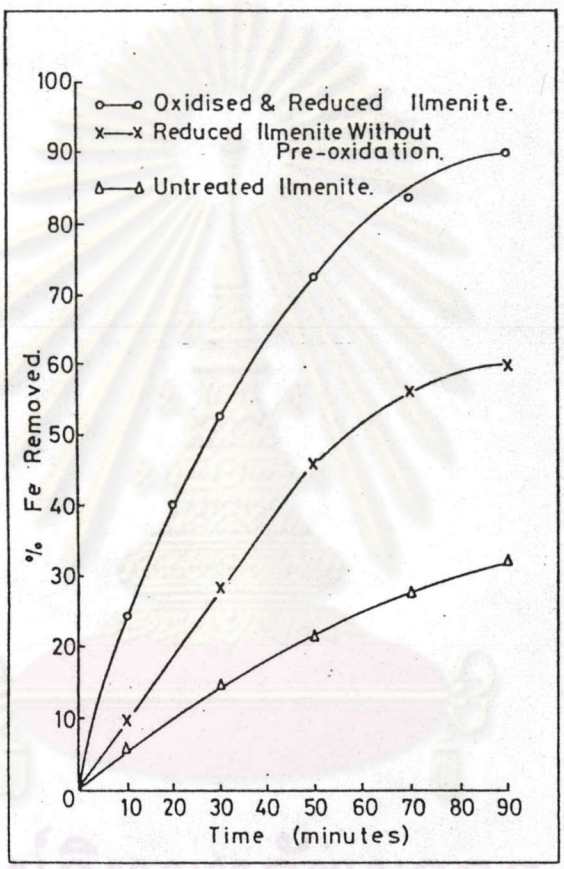


รูปที่ 6.2 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่มีต่อการชะละลายแร่ (20)

โดยธรรมชาติการชะละลายเอาเหล็กออกจากอิลเมไนต์เป็นการยาก (26-27) จึงต้องมีการออกซิเดชันและรีดักชันมาก่อน อุณหภูมิในการออกซิเดชันและรีดักชันมีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการชะละลาย การใช้กรดไฮโดรคลอริกชะละลายแร่อิลเมไนต์โดยธรรมชาติหรือที่ผ่านการเผาเป็นขั้นตอนหนึ่งที่นิยมในกระบวนการเพิ่มคุณภาพแร่อิลเมไนต์ ที่นิยมใช้กรดไฮโดรคลอริกเพราะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการสกัดจากสารละลายเฟอรัสคลอไรด์ที่ได้จากการชะละลาย เป็นผลดีต่อทางเศรษฐศาสตร์และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

Sinha (14,27) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการชะละลายระหว่างแร่อิลเมไนต์ธรรมชาติ

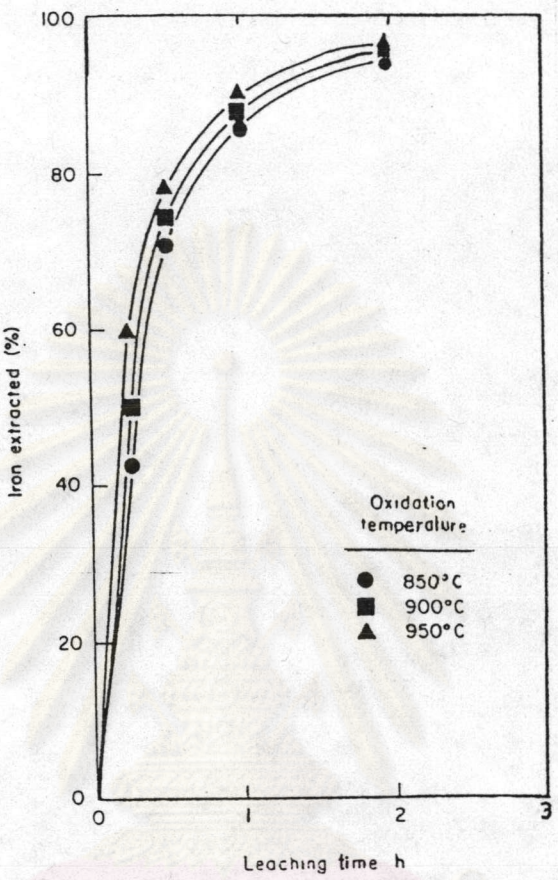
แร่อิลเมไนต์ที่ผ่านการออกซิเดชัน-รีดักชัน และแร่อิลเมไนต์ที่ผ่านการรีดักชันอย่างเดียวด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 20 % โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมของการออกซิเดชันและรีดักชันเท่ากับ 950 และ 850 °ซ. ตามลำดับ จะเห็นว่าแร่อิลเมไนต์ที่ผ่านการออกซิเดชัน-รีดักชันจะชะละลายเหล็กออกได้ดีกว่า เมื่อเวลาในการชะละลายเพิ่มขึ้นเหล็กจะถูกชะละลายออกได้มาก



รูปที่ 6.3 ผลของการออกซิเดชันและรีดักชันที่มีต่อการชะละลายอิลเมไนต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (27)

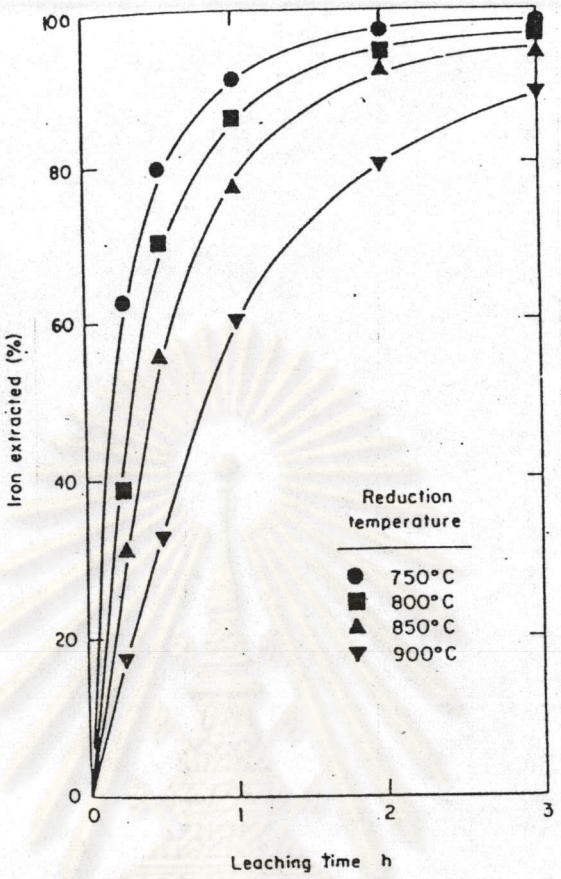
จากรูปที่ 6.4 แสดงผลของอุณหภูมิในการออกซิเดชันที่มีต่ออัตราการชะละลาย โดยมีการรีดักชันที่อุณหภูมิ 800 °ซ. ใช้ 15 % HCl - 15 % $FeCl_2$ เป็นตัวชะละลาย จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการออกซิเดชันมากขึ้นจะชะละลายเหล็กได้ดีขึ้น

สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิในการรีดักชัน ดังรูปที่ 6.5 โดยมีอุณหภูมิการออกซิเดชันที่ 900 °ซ. ใช้ 20 % HCl เป็นตัวชะละลาย พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการรีดักชันเพิ่มขึ้นอัตราการชะละลายจะลดลง แต่ในทางอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยารีดักชันและอัตราการรีดักชันพบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 750 °ซ. จึงจะให้การรีดักชันได้ผลดี



รูปที่ 6.4 ผลของอุณหภูมิในการออกซิเดชันที่มีต่ออัตราการชะละลาย (27)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.5 ผลของอุณหภูมิในการรีดักชันที่มีต่ออัตราการชะละลาย (27)

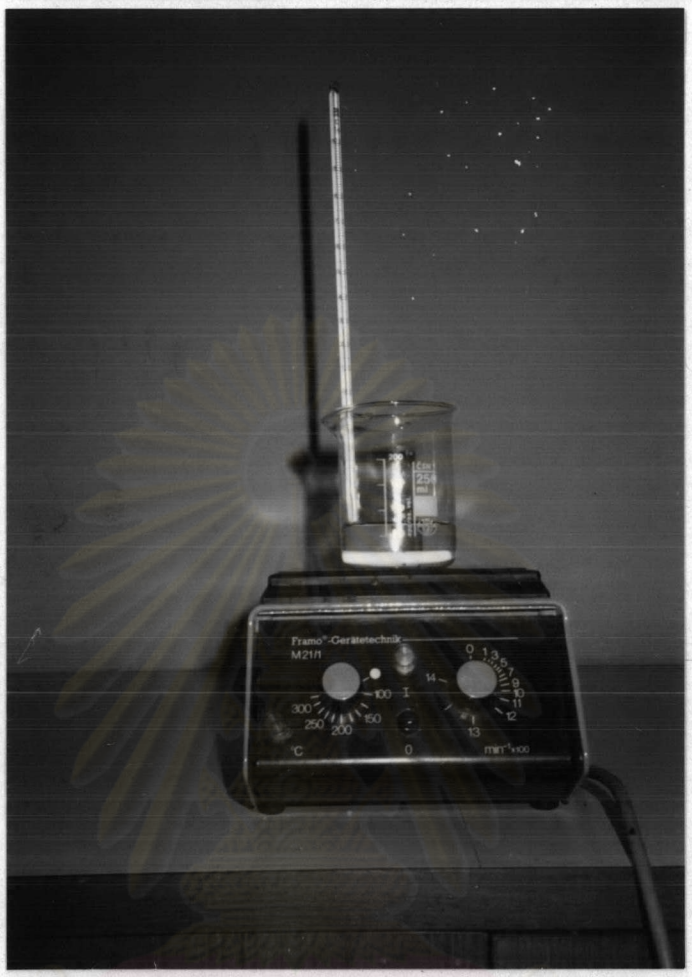
ในการชะละลายเมื่อความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เหล็กจะถูกชะละลายได้ดีขึ้น สำหรับการกวนในการชะละลายถ้ามีค่ามากขึ้นทำให้อัตราการชะละลายเหล็กได้มากขึ้นจนถึงค่าหนึ่งที่อัตราการชะละลายเริ่มคงที่ การใช้ส่วนผสมระหว่างเฟอรัสคลอไรด์ ($FeCl_2$) กับกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวชะละลายจะทำให้การชะละลายได้ดีขึ้น

Ismail และคณะ (28) ได้ศึกษาการชะละลายแร่อิลเมไนต์จากศรีลังกาที่ผ่านการออกซิเดชันอุณหภูมิ 900 °ซ. และการรีดักชันอุณหภูมิ 1100 °ซ. ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 15-20 % เป็นตัวชะละลาย ผลผลิตที่ได้นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000 °ซ. จะได้รูไทล์สังเคราะห์ที่มี TiO_2 90-95 % จากในแร่อิลเมไนต์ดิบ 53.61 %

6.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการชะละลาย

6.1.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้ ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 อุปกรณ์การชะละลายด้วยกรด

1. บีกเกอร์ขนาด 250 มล.
2. กระจกนาฬิกา (Watchglass)
3. เทอร์มอมิเตอร์
4. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวน (Magnetic Bar)
5. เครื่องกวนแม่เหล็กปรับอุณหภูมิได้ (Magnetic Stirrer) ยี่ห้อ Framo-Geratetechnik ตัวแบบ M21/1

6.1.2 <u>สารที่ใช้ในการวิจัย</u>

1. ตัวอย่างแร่ที่ผ่านขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศ ซึ่งประกอบด้วยเฟสซูโดบรูคไกต์และอะนาเทส (ได้จากการเตรียมตัวอย่างตามหัวข้อที่ 5.3 ในบทที่ 5
2. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid , HCl) เกรดงานวิเคราะห์

3. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid , H_2SO_4) เกรดงานวิเคราะห์

6.1.3 วิธีการวิจัย

1. ชั่งตัวอย่างแร่ 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มล.

2. เติมกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้นและปริมาตรที่กำหนดไว้

3. ใส่แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนลงไป นำไปตั้งบนเครื่องกวนแม่เหล็กที่ปรับอุณหภูมิได้ ปรับความเร็วรอบในการกวน อุณหภูมิ และจับเวลาในการชะละลาย ที่กำหนดไว้

4. นำผลผลิตหลังการทดลองไปอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไทเทเนียมออกไซด์ เหล็กทั้งหมด และแมงกานีสออกไซด์

5. ทดลองในทำนองเดียวกัน โดยแปรผันตัวแปรตัวหนึ่ง ส่วนตัวแปรอื่นเป็นตัวแปรคงที่ หาค่าที่เหมาะสม

6. ทดลองในทำนองเดียวกัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวชะละลาย

6.1.4 ผลการวิจัย

1. การชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.7 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก แปรผันอุณหภูมิ

ตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.8 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก แปรผันความเข้มข้นของกรด

ตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.9 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก แปรผันความเร็วรอบในการกวน

ตารางที่ 6.4 และรูปที่ 6.10 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก แปรผันเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม

ตารางที่ 6.5 และรูปที่ 6.11 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก แปรผันเวลาในการชะละลาย

ตารางที่ 6.1 ผลของอุณหภูมิในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ตัวแปรคงที่

-ความเข้มข้นของกรด	40 % , 30 มล.
-ปริมาณกรดที่ใช้ : กรัมต่อตันแร่	1000
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-% solid	14 % นน./นน.
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-อุณหภูมิ : °C	30	40	55	70	80	100
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0006	5.0019	5.0012	5.0004	5.0000	5.0000
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.8218	4.7846	4.7525	4.7503	4.7478	4.5315
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.1788	0.2173	0.2487	0.2501	0.2522	0.4685
-pH	1.4	1.2	1.0	0.6	0.4	0.0
% TiO_2	85.04	85.53	84.92	86.08	84.63	84.66
% Fe total	3.78	2.83	2.36	2.74	2.83	1.89
% MnO_2	6.77	6.18	5.54	5.40	4.71	4.78
% การเก็บ TiO_2 ได้	96.89	96.67	95.35	96.63	94.96	90.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 ผลของความเข้มข้นของกรดในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ปริมาตรของสารละลายกรด : มล.	30
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-% solid	14 % นน./นน.
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-ความเข้มข้นของกรด : %	5	10	20	40	60	80
-ปริมาณกรดที่ใช้ : กรัมต่อตันแร่	125	250	500	1000	1500	2000
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0002	5.0011	5.0010	5.0004	5.0005	5.0014
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.8599	4.8130	4.7711	4.7503	4.7440	4.7109
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.1403	0.1881	0.2299	0.2501	0.2565	0.2905
-pH	1.0	1.0	0.9	0.6	0.0	0.0
% TiO_2	85.50	83.84	85.42	86.08	84.38	83.15
% Fe total	3.25	3.23	2.83	2.74	2.83	3.00
% MnO_2	6.18	5.88	5.90	5.40	5.75	4.79
% การเก็บ TiO_2 ได้	98.19	95.34	96.30	96.63	94.59	92.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 ผลความเร็วรอบในการกวนในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ความเข้มข้นของกรด	20 % , 30 มล.
-ปริมาณกรดที่ใช้ : กรัมต่อตันแร่	500
-% solid	14 % นน./นน.
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4
-pH	0.9

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	100	200	400	600	800	1000
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0002	5.0010	5.0006	5.0018	5.0020	5.0000
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.7550	4.7711	4.7384	4.7370	4.7256	4.7227
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.2452	0.2299	0.2648	0.2648	0.2764	0.2773
% TiO_2	83.22	85.42	86.43	84.01	83.53	86.05
% Fe total	3.07	2.83	2.83	2.83	2.83	2.57
% MnO_2	6.01	5.90	5.28	6.30	5.59	5.80
% การเก็บ TiO_2 ได้	93.51	96.30	96.77	94.01	93.25	96.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวมในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ความเข้มข้นของกรด	20 %
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4
-pH	0.9

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-% solid : นน./นน.	5	9	14	33	50
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0024	5.0023	5.0010	5.0013	5.0020
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.7776	4.7750	4.7711	4.7979	4.7929
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.2248	0.2273	0.2299	0.2034	0.2091
-ปริมาตรของกรด : มล.	95	50	30	10	5
-ปริมาณกรดที่ใช้ : กรัมต่อตันแร่	1583	833	500	167	83
% TiO_2	84.42	85.81	85.42	86.85	86.60
% Fe total	3.17	2.80	2.83	3.48	2.83
% MnO_2	4.93	4.88	5.90	5.59	4.93
% การเก็บ TiO_2 ได้	95.27	96.79	96.30	98.45	98.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.5 ผลของเวลาในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

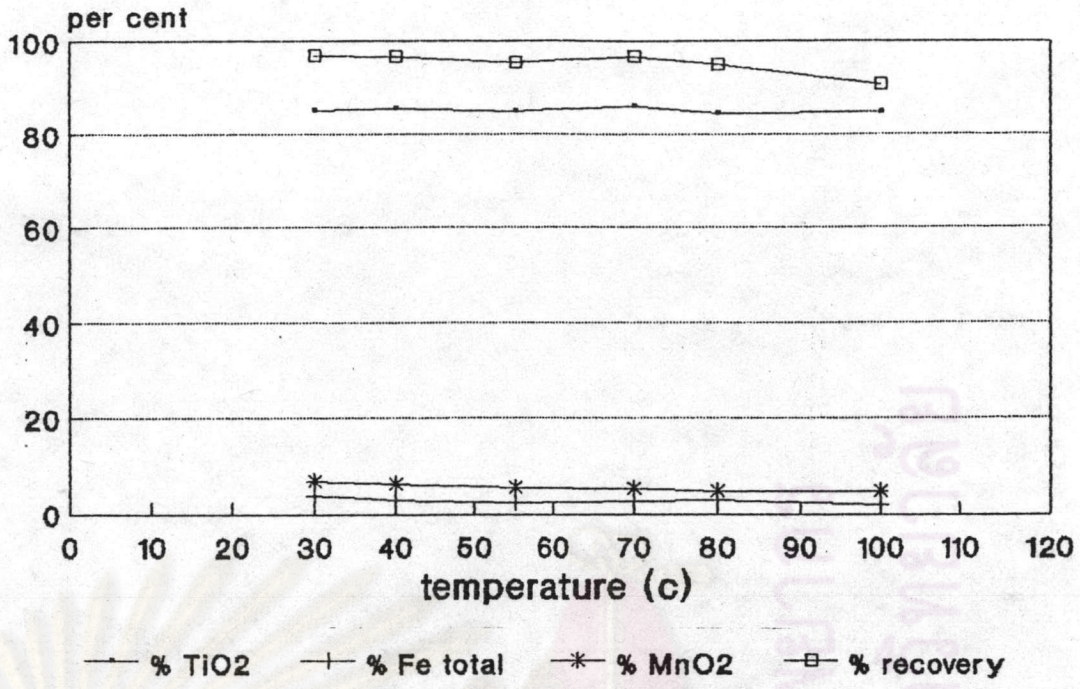
ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ความเข้มข้นของกรด	20 % , 30 มล.
-ปริมาณกรดที่ใช้ : กรัมต่อตันแร่	500
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-% solid	14 % นน./นน.
-pH	0.9

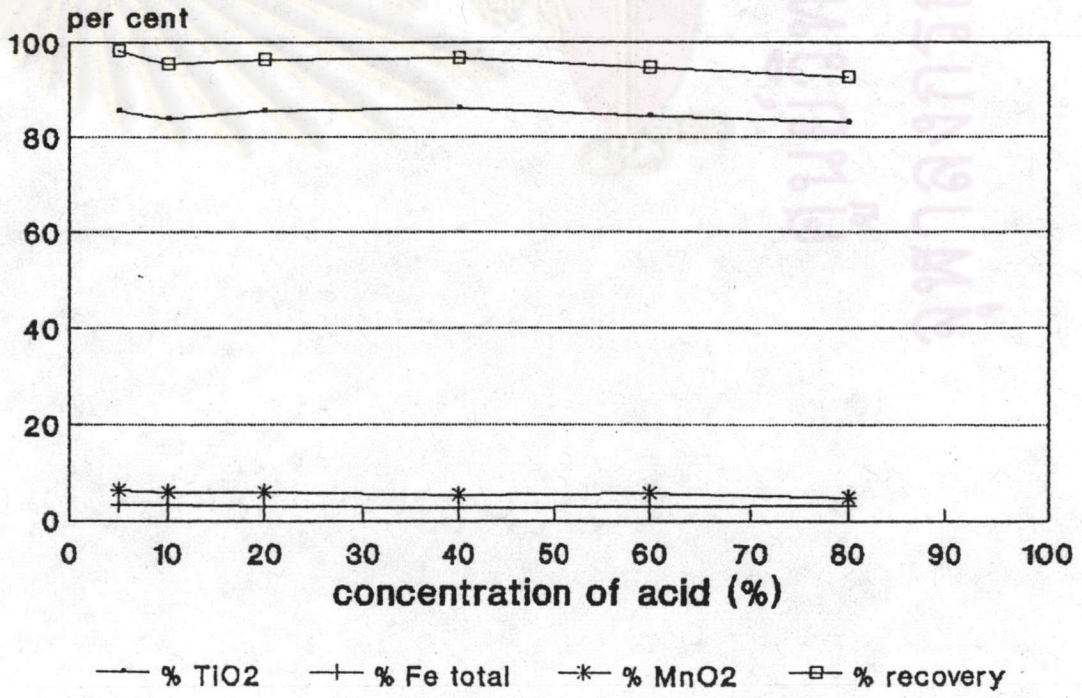
ตัวแปรเปลี่ยนค่า

						*	
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	0.5	1	2	4	8	16	24
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0003	5.0011	5.0018	5.0010	5.0003	5.0017	5.0022
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.8344	4.8310	4.8095	4.7711	4.7672	4.7365	4.7374
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.1659	0.1701	0.1923	0.2299	0.2331	0.2652	0.2648
% TiO_2	84.63	84.46	87.50	85.42	87.19	87.61	87.32
% Fe total	3.84	3.62	2.36	2.83	2.82	2.44	2.82
% MnO_2	5.47	4.93	5.25	5.90	4.20	4.90	5.06
% การเก็บ TiO_2 ได้	96.68	96.41	99.42	96.30	98.22	98.03	97.72

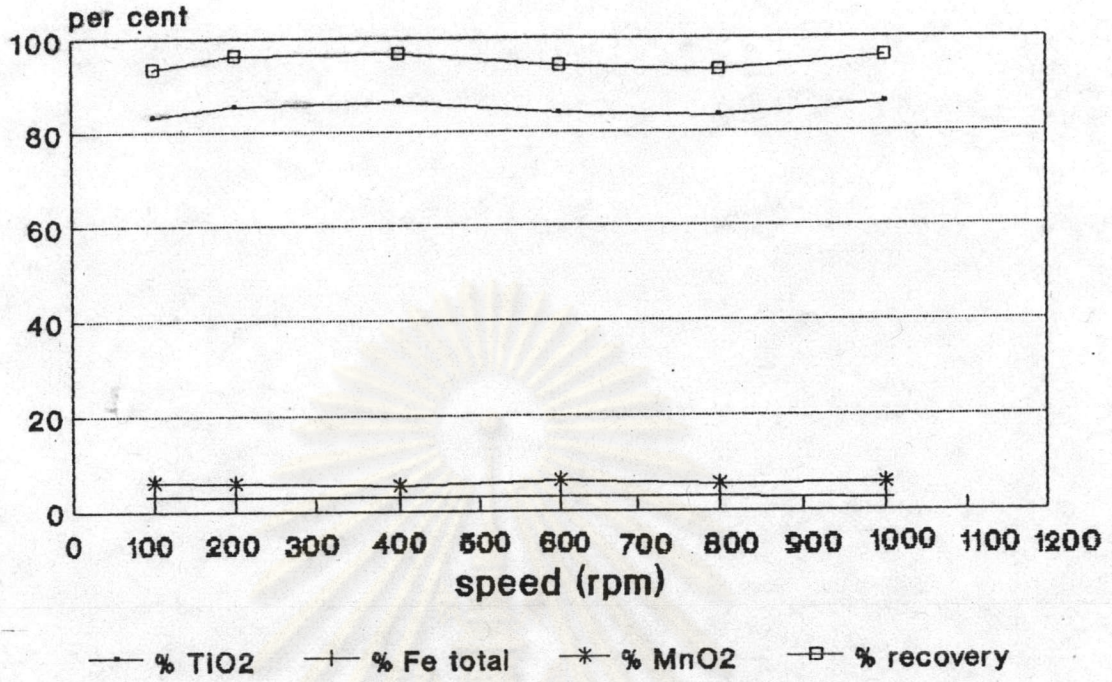
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



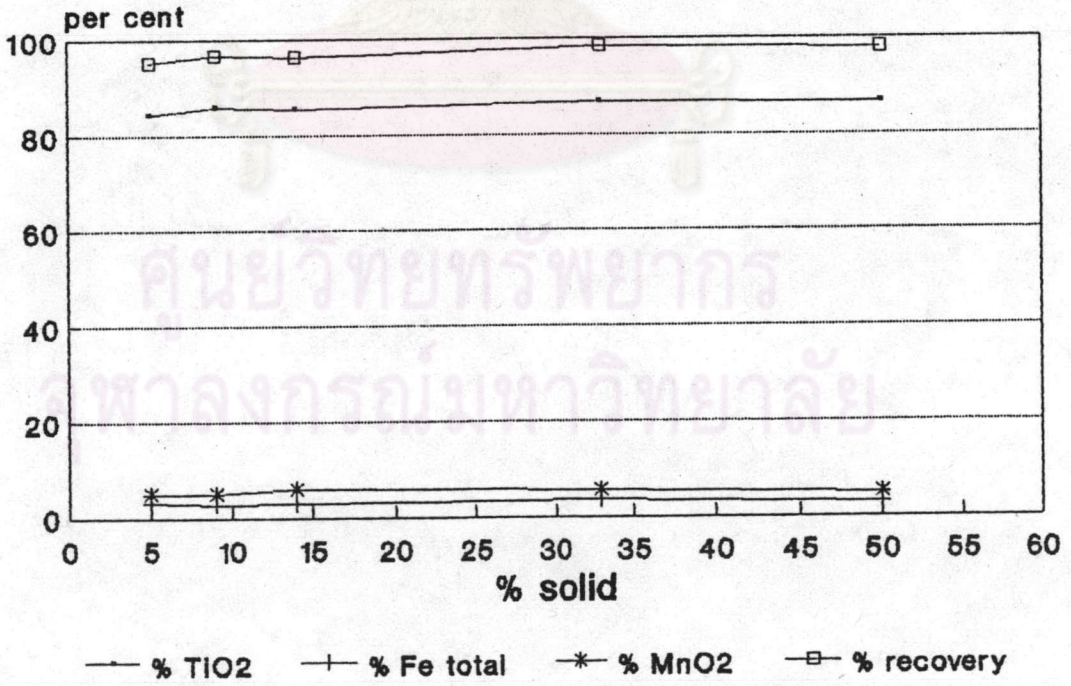
รูปที่ 6.7 ผลของอุณหภูมิในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก



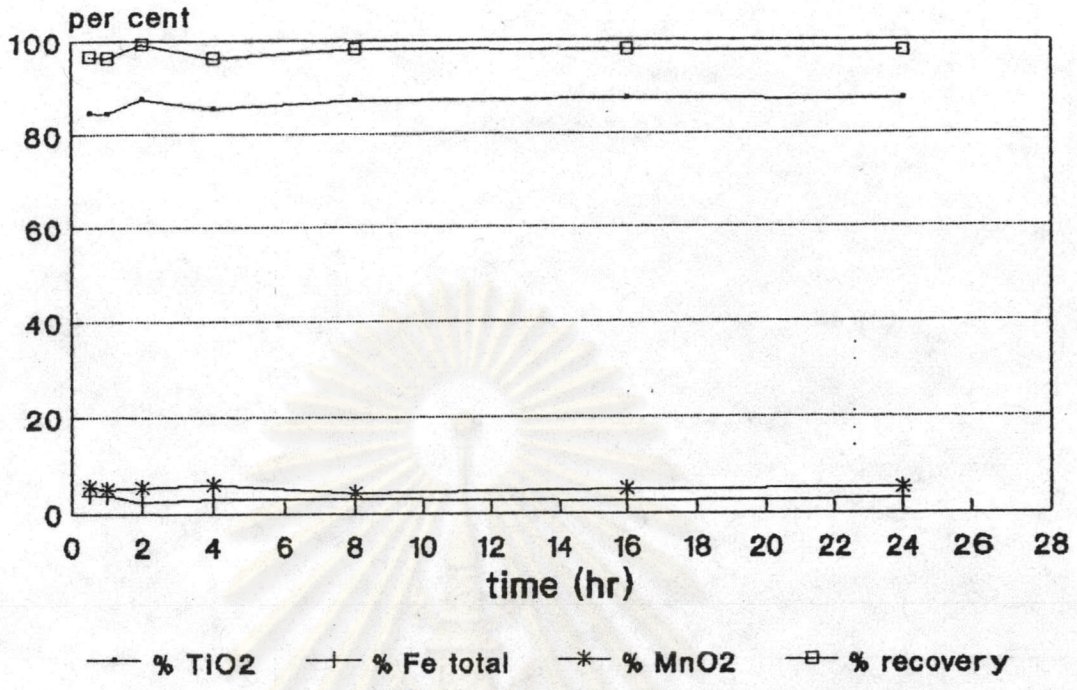
รูปที่ 6.8 ผลของความเข้มข้นของกรดในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก



รูปที่ 6.9 ผลของความเร็วรอบในการกวนในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก



รูปที่ 6.10 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวมในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก



รูปที่ 6.11 ผลของเวลาในการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

2. <u>การชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก</u>

ตารางที่ 6.6 และรูปที่ 6.12 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก แปรผันอุณหภูมิ

ตารางที่ 6.7 และรูปที่ 6.13 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก แปรผันความเข้มข้นของกรด

ตารางที่ 6.8 และรูปที่ 6.14 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก แปรผันความเร็วรอบในการกวน

ตารางที่ 6.9 และรูปที่ 6.15 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก แปรผันเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม

ตารางที่ 6.10 และรูปที่ 6.16 แสดงผลการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก แปรผันเวลาในการชะละลาย

ตารางที่ 6.6 ผลของอุณหภูมิในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

ตัวแปรคงที่

-ความเข้มข้นของกรด	40 % , 30 มล.
-ปริมาณกรดที่ใช้ : ตันต่อตันแร่	4.33
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-% solid	11 % นน./นน.
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-อุณหภูมิ : °C	30	40	55	70	80	100
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0002	5.0018	5.0017	5.0009	5.0000	5.0015
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.7867	4.8587	4.8201	4.7228	4.4132	3.3703
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.2135	0.1431	0.1816	0.2781	0.5868	1.6312
-pH	1.0	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0
% TiO_2	82.33	84.06	82.04	86.01	82.34	84.64
% Fe total	3.01	3.30	3.20	3.30	2.36	2.08
% MnO_2	6.26	6.88	4.80	5.39	4.99	5.40
% การเก็บ TiO_2 ได้	93.13	96.48	93.42	95.98	85.88	67.39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.7 ผลของความเข้มข้นของกรดในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ปริมาตรของสารละลายกรด : มล.	30
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-ความเข้มข้นของกรด : %	5	10	20	40	60	80
-ปริมาณกรดที่ใช้ : ตันต่อตันแร่	0.54	1.08	2.16	4.33	6.49	8.66
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0009	5.0003	5.0006	5.0009	5.0012	5.0010
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.8269	4.7994	4.7631	4.7228	4.7110	4.7146
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.1740	0.2009	0.2375	0.2781	0.2902	0.2864
-% solid : นน./นน.*	14	13	12	11	10	9
-pH	1.0	0.8	0.7	0.1	0.0	0.0
% TiO_2	83.21	83.80	85.64	86.01	84.13	84.09
% Fe total	3.64	3.40	3.24	3.30	3.24	3.24
% MnO_2	4.39	5.55	6.16	5.39	4.94	6.05
% การเก็บ TiO_2 ได้	94.90	95.04	96.39	95.98	93.64	93.67

หมายเหตุ * : เนื่องจากกรดซัลฟิวริกมีความถ่วงจำเพาะสูง 1.84 และมีค่า assay 98.0 % ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดจึงมีผลให้ % solid เปลี่ยนตามไปด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 ผลของความเร็วรอบในการกวนในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ความเข้มข้นของกรด	20 % , 30 มล.
-ปริมาณกรดที่ใช้ : ตันต่อตันแร่	2.16
-% solid	12 % นน./นน.
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4
-pH	0.7

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	100	200	400	600	800	1000
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0005	5.0006	5.0017	5.0012	5.0021	5.0006
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.7103	4.7631	4.7039	4.6844	4.6664	4.6185
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.2902	0.2375	0.2978	0.3168	0.3357	0.3821
% TiO_2	83.61	85.64	82.49	83.22	87.94	87.89
% Fe total	3.39	3.39	3.64	2.82	3.69	2.82
% MnO_2	5.21	5.21	5.69	5.50	4.27	4.91
% การเก็บ TiO_2 ได้	93.06	96.39	91.67	92.11	96.94	95.92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.9 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวมในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ความเข้มข้นของกรด	20 %
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	4
-pH	0.7

ตัวแปรเปลี่ยนค่า

-% solid : นน./นน.	4	8	12	30	46
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0012	5.0022	5.0006	5.0011	5.0013
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.7301	4.7424	4.7631	4.7344	4.7719
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.2711	0.2598	0.2375	0.2667	0.2294
-ปริมาตรของกรด : มล.	95	50	30	10	5
-ปริมาณกรดที่ใช้ : ตันต่อตันแร่	6.85	3.61	2.16	0.72	0.36
% TiO_2	85.86	85.36	85.64	83.81	85.06
% Fe total	3.05	2.81	3.24	2.83	3.05
% MnO_2	5.64	5.76	6.16	5.00	5.29
% การเก็บ TiO_2 ได้	95.96	95.62	96.39	93.75	95.90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.10 ผลของเวลาในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

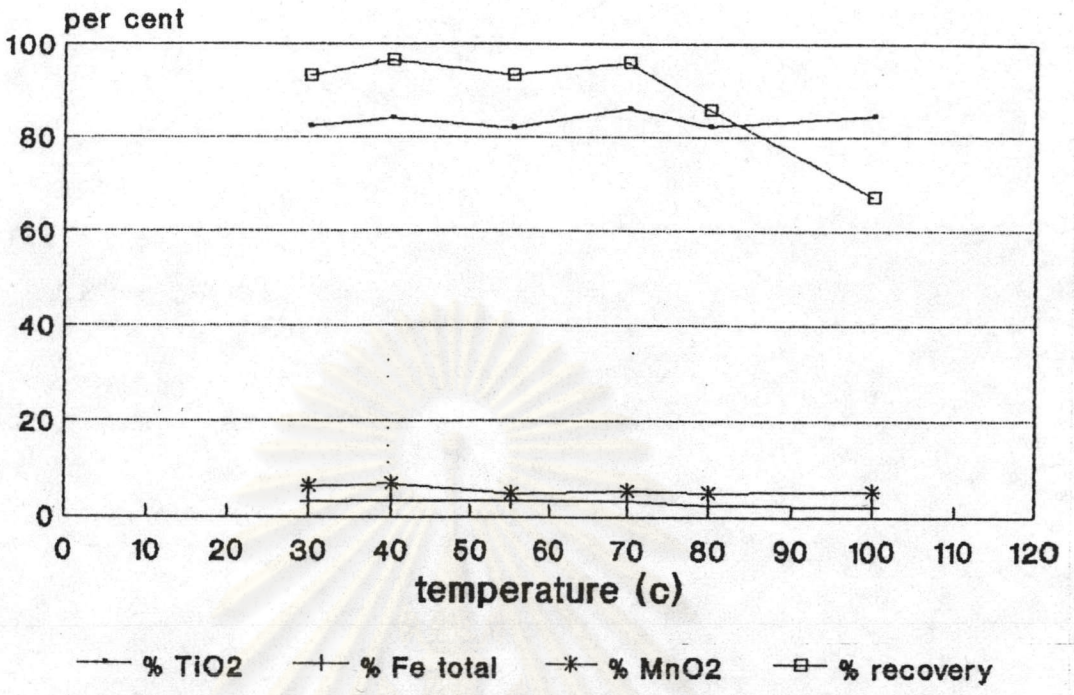
ตัวแปรคงที่

-อุณหภูมิ : °C	70
-ความเข้มข้นของกรด	20 % , 30 มล.
-ปริมาณกรดที่ใช้ : ตันต่อตันแร่	2.16
-ความเร็วรอบในการกวน : รอบต่อนาที	200
-% solid	12 % นน./นน.
-pH	0.7

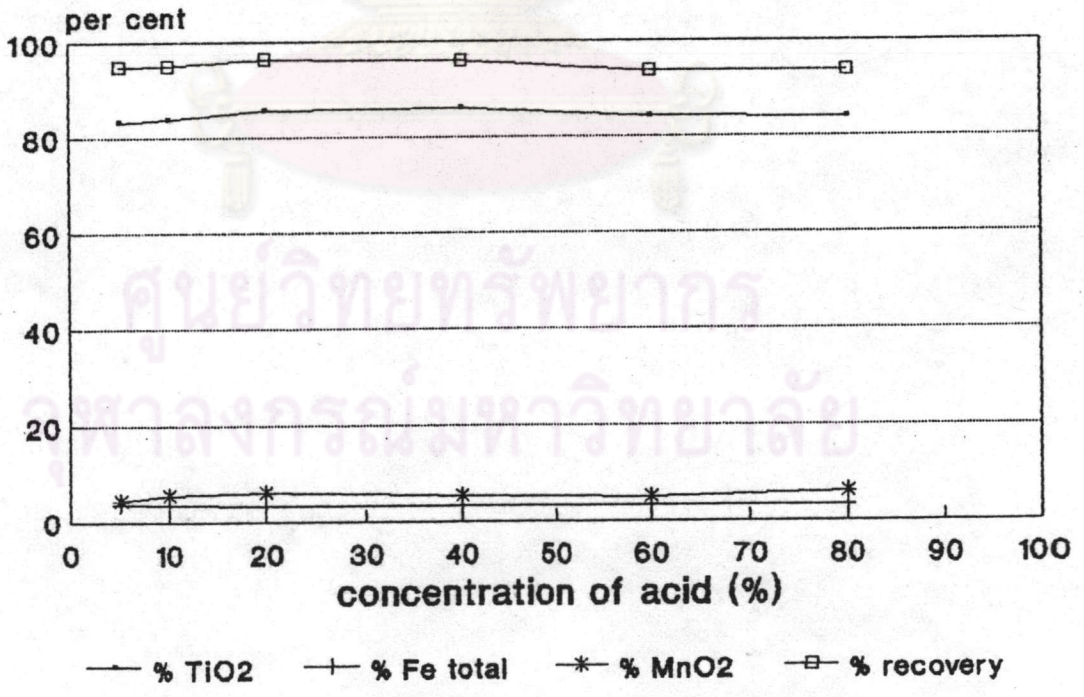
ตัวแปรเปลี่ยนค่า *

-เวลาในการชะละลาย : ชั่วโมง	0.5	1	2	4	8	16	24
-น้ำหนักก่อนการชะละลาย : กรัม	5.0000	5.0026	5.0007	5.0006	5.0009	5.0009	5.0022
-น้ำหนักหลังการชะละลาย : กรัม	4.8665	4.8602	4.7940	4.7631	4.7292	4.6288	4.5230
-น้ำหนักที่หายไป : กรัม	0.1335	0.1424	0.2067	0.2375	0.2717	0.3721	0.4792
% TiO_2	84.66	84.43	84.81	85.64	84.03	86.56	88.13
% Fe total	3.84	3.28	3.38	3.24	3.60	2.83	2.72
% MnO_2	5.47	5.64	5.65	6.16	5.26	5.63	5.07
% การเก็บ TiO_2 ได้	97.37	96.92	96.07	96.39	93.89	94.67	94.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

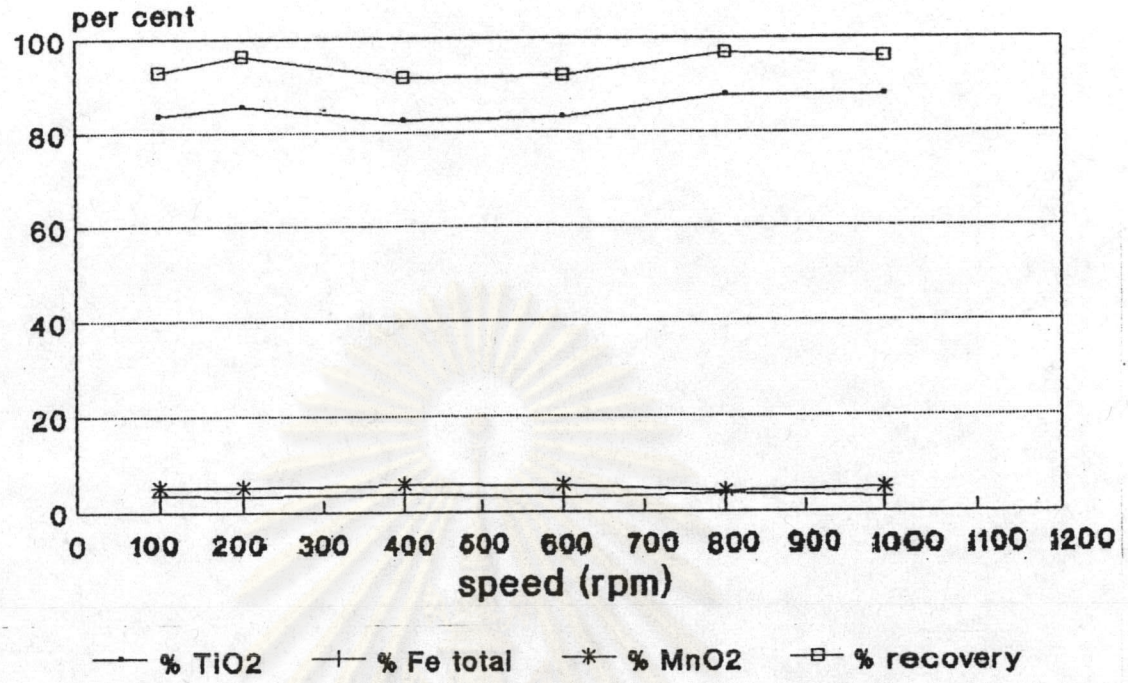


รูปที่ 6.12 ผลของอุณหภูมิในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

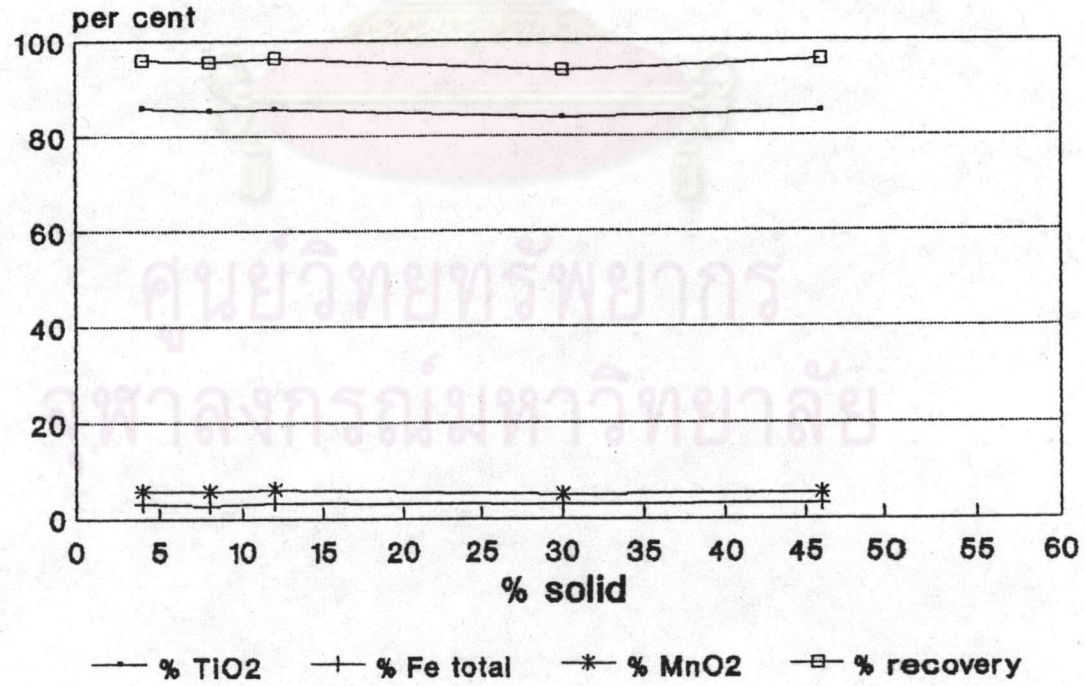


รูปที่ 6.13 ผลของความเข้มข้นของกรดในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

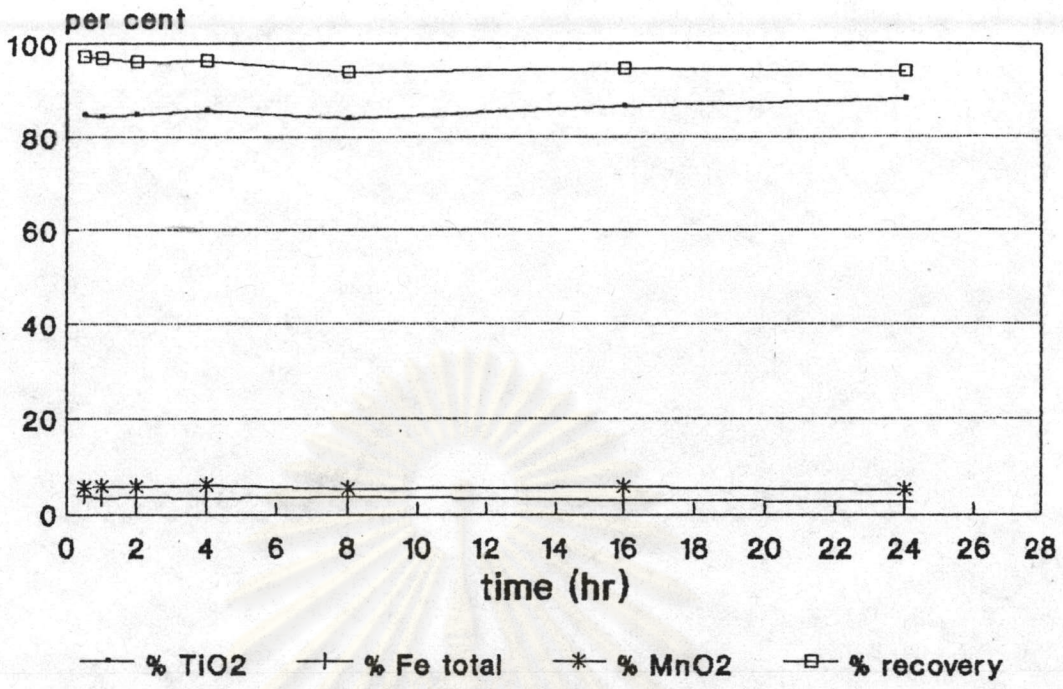
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.14 ผลของความเร็วรอบในการกวนในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก



รูปที่ 6.15 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวมในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก



รูปที่ 6.16 ผลของเวลาในการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

6.1.5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1. การชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

จากตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.7 แปรผันตัวแปรอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิในการชะละลายสูงขึ้น ปริมาณเหล็กทั้งหมดและแมงกานีสออกไซด์จะน้อยลง โดยที่ค่าไทเทเนียมออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน ค่า % การเก็บ TiO_2 ได้มีค่าลดลง

จากตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.8 แปรผันตัวแปรความเข้มข้นของกรด เมื่อความเข้มข้นสูง ค่าไทเทเนียมออกไซด์และ % การเก็บ TiO_2 ได้จะลดลง อาจเพราะกรดชะละลายไทเทเนียมออกไซด์บางส่วนออกไป

จากการแปรผันค่าตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความเข้มข้นของกรด ความเร็วรอบในการกวน เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม และเวลาในการชะละลาย จะเห็นว่าค่าไทเทเนียมออกไซด์ เหล็กทั้งหมด และแมงกานีสออกไซด์ มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีผลต่อตัวอย่างแร่ที่ประกอบด้วยเฟสซูโดบรูคไกต์ และอะนาเทสน้อย

จากการตรวจสอบเฟสของตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายด้วยเครื่องรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน โดยนำตัวอย่างจากการทดลองที่ 6 ในตารางที่ 6.5 (ที่มีเครื่องหมาย *) แปรผันเวลาในการชะละลาย ซึ่งเป็นผลผลิตที่มีเปอร์เซ็นต์ไทเทเนียมออกไซด์สูง เปอร์เซ็นต์

เหล็กทั้งหมดต่ำ จะเป็นเฟสอะนาเทสส่วนใหญ่ และรูไทล์ ดังแสดงตามรูปที่ 6.17 จะเห็นว่ามีเฟสรูไทล์เกิดขึ้น เฟสซูโดบรูคไกต์หายไป อาจจะเกิดจากการชะละลาย ดังปฏิกิริยา

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

ตัวอย่างดังกล่าวมีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

TiO_2	87.61 %
Fe_2O_3	3.49 %
MnO_2	4.90 %

ส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องรังสีเอกซ์เรือง ดังนี้

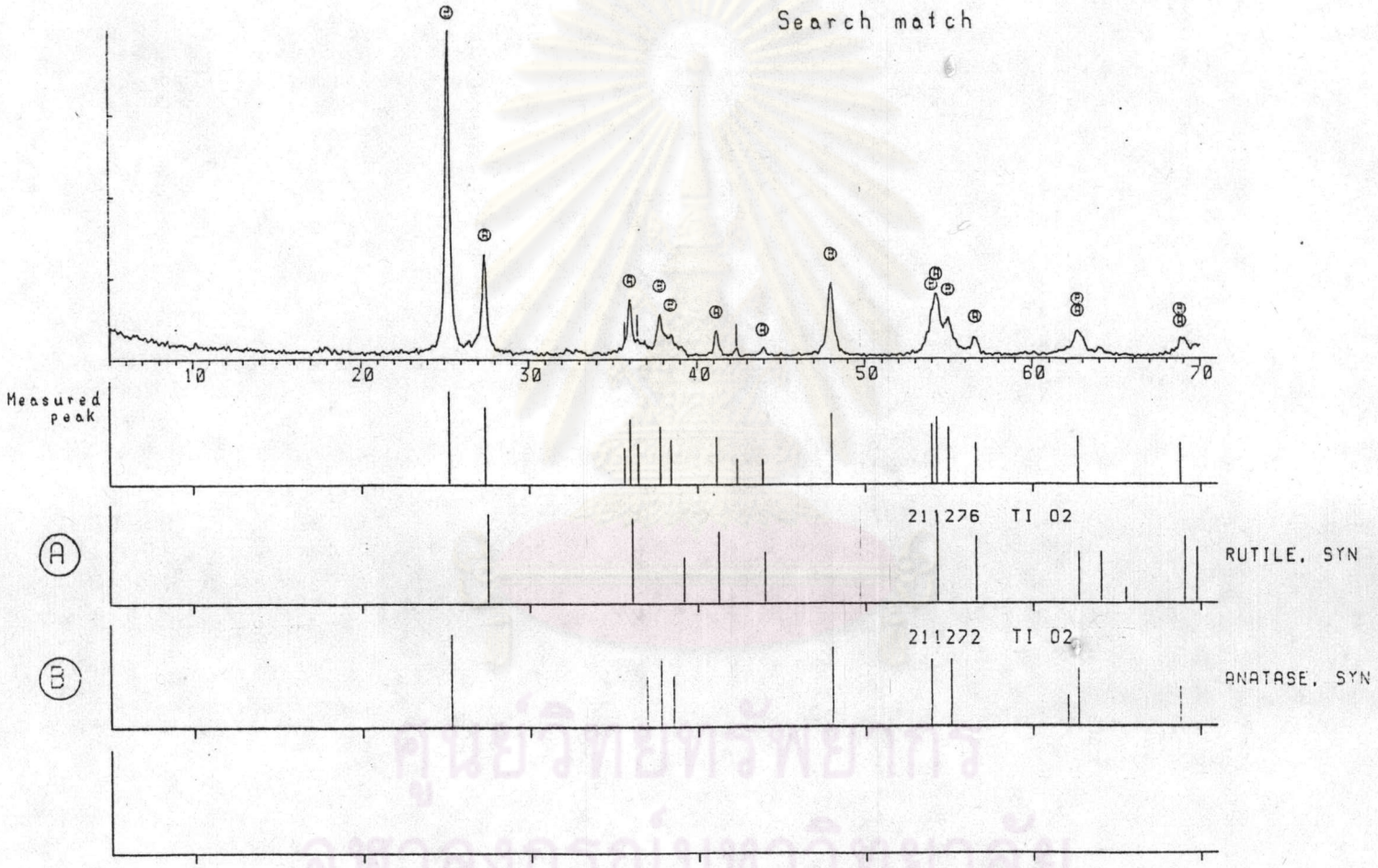
SiO_2	2.05 %
Nb_2O_5	0.88 %
Ta_2O_5	0.14 %
Cr_2O_3	0.42 %
Al_2O_3	1.01 %
ZrO_2	0.13 %
Y_2O_3	0.04 %

รูปที่ 6.18 แสดงตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน และการกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม เหล็ก แมงกานีส

2. <u>การชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก</u>

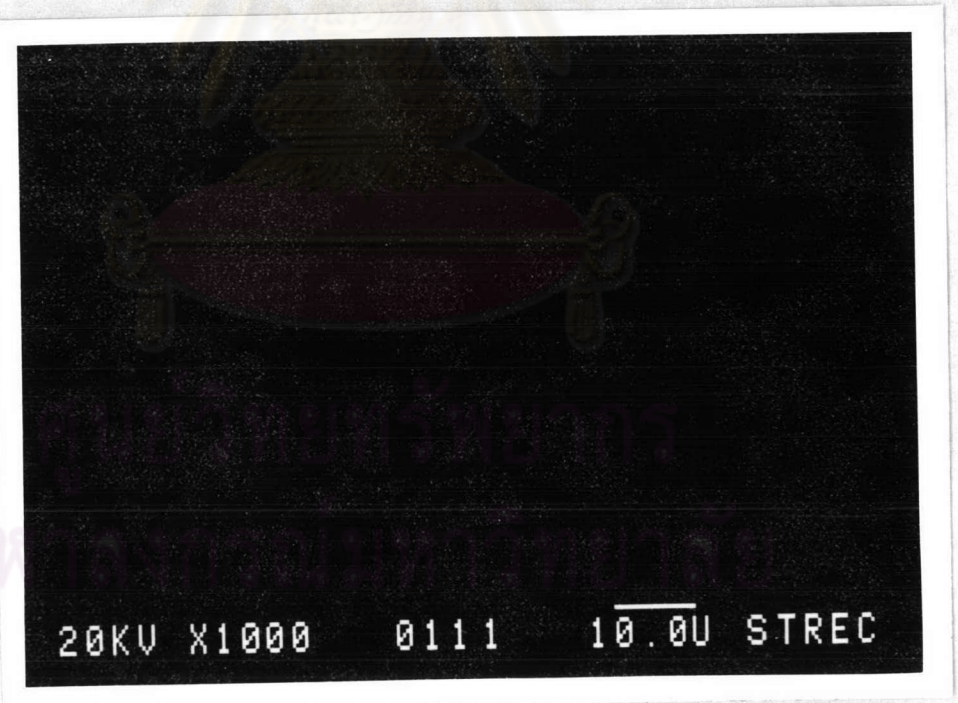
จากผลการวิจัยจะเห็นว่า เมื่อแปรผันตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของกรด ความเร็วรอบในการกวน เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม และเวลาในการชะละลาย มีผลต่อตัวอย่างแร่ที่ผ่านขั้นตอนการกวนที่มีการพ่นอากาศซึ่งประกอบด้วยเฟสซูโดบรูคไกต์ และอะนาเทสน้อย เพราะค่าไทเทเนียมออกไซด์ เหล็กทั้งหมด และแมงกานีสออกไซด์ ที่ได้จากผลผลิตมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก

จากการตรวจสอบเฟสของตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายด้วยเครื่องรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน โดยนำตัวอย่างจากการทดลองที่ 7 ในตารางที่ 6.10 (ที่มีเครื่องหมาย *) แปรผันเวลาในการชะละลาย จะเป็นเฟสอะนาเทสส่วนใหญ่และรูไทล์ ดังรูปที่ 6.19 จะเห็นว่ามี



รูปที่ 6.17 แบบอย่างรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนของตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริก

(ก)

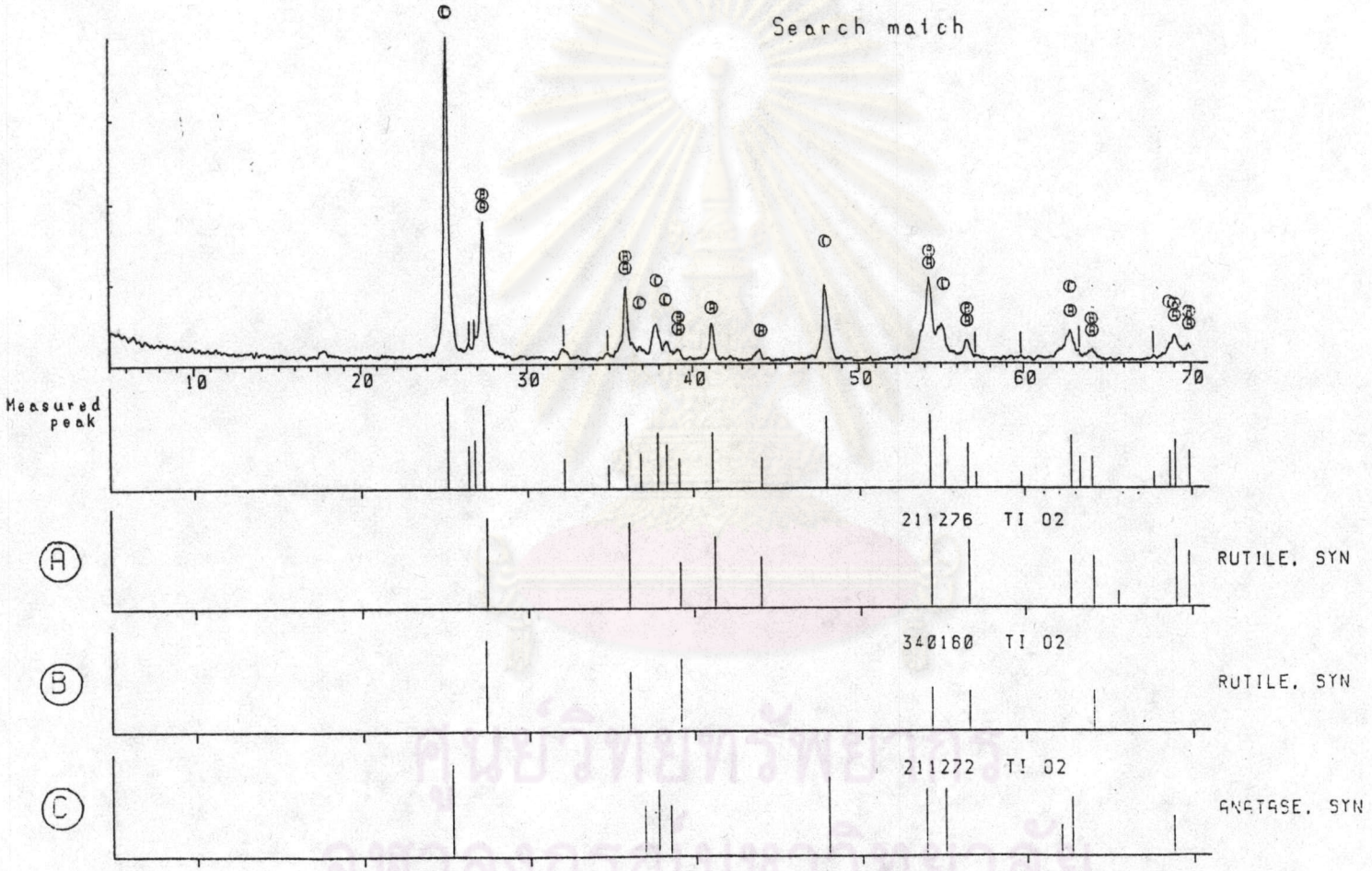


(ข)

รูปที่ 6.18 (ก) ตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริกถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน x 1000 (ข) การกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม (ค) การกระจายตัวของธาตุเหล็ก (ง) การกระจายตัวของธาตุแมงกานีส

(ค)

(ง)



รูปที่ 6.19 แบบอย่างรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนของตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก

เฟสรูไทล์เกิดขึ้น เฟสซูโดบรูคไกต์หายไป อาจจะเกิดจากปฏิกิยาการชะละลาย ดังนี้

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

ตัวอย่างดังกล่าวมีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

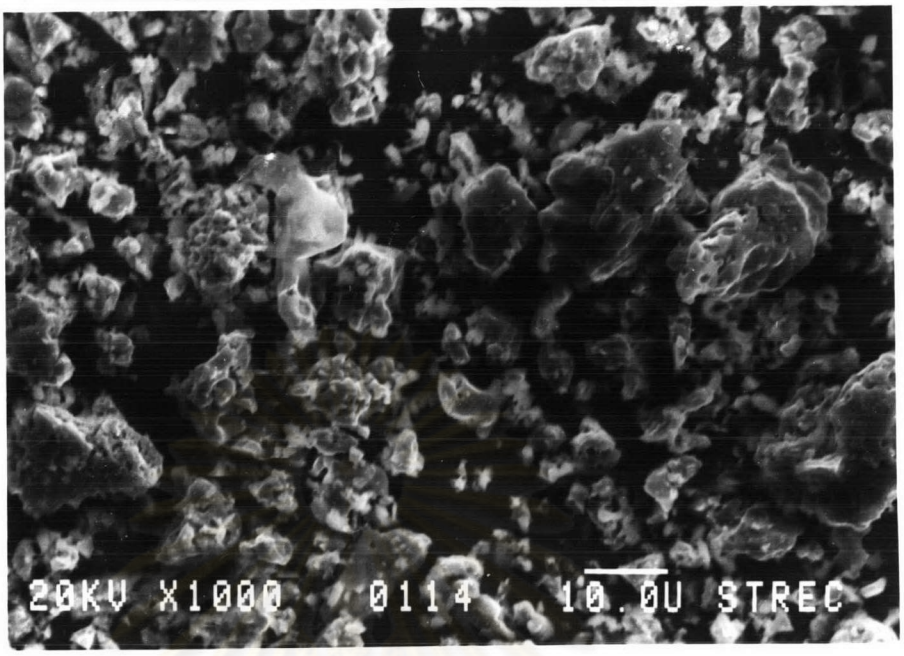
TiO_2	88.13 %
Fe_2O_3	3.89 %
MnO_2	5.07 %

ส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องรังสีเอกซ์เรือง ดังนี้

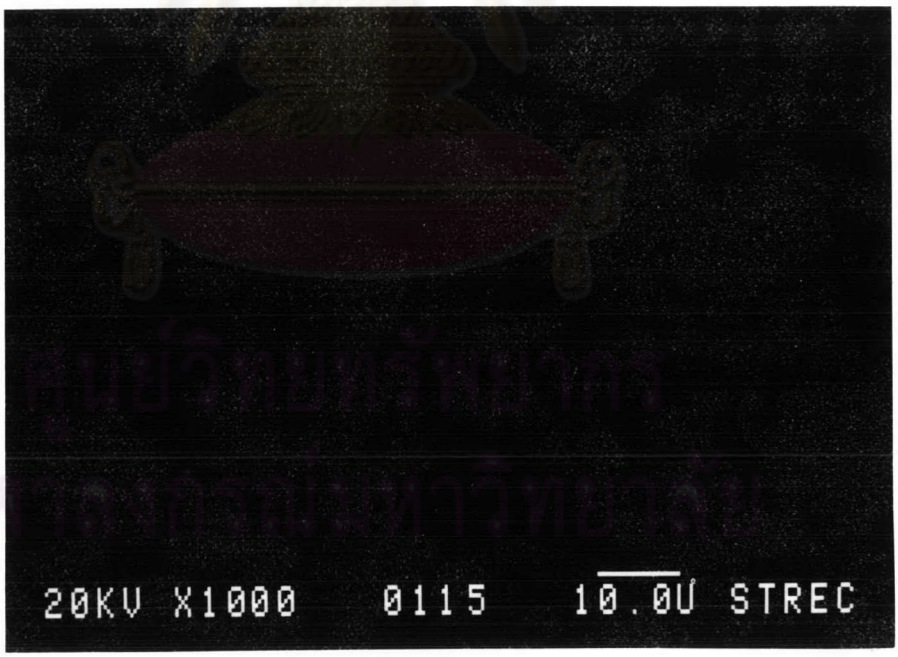
SiO_2	2.78 %
Nb_2O_5	0.83 %
Ta_2O_5	0.12 %
Cr_2O_3	0.42 %
Al_2O_3	1.06 %
ZrO_2	0.13 %
CuO	0.18 %
Y_2O_3	0.02 %

รูปที่ 6.20 แสดงตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน และการกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม เหล็ก แมงกานีส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.20 (ก) ตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชะละลายเหล็กด้วยกรดซัลฟิวริกถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน × 1000 (ข) การกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม (ค) การกระจายตัวของธาตุเหล็ก (ง) การกระจายตัวของธาตุแมงกานีส

(ค)

(ง)