บทที่ 5

ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในแร่ยูซีไนต์

การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในแร่ยูซีไนต์ โดยวิเคราะห์ที่ขนาดเม็ดแร่ต่าง ๆ กันโดยใช้เครื่อง γ-spectrometer ได้ผลตามแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงว่า ขนาดเม็ดแร่ต่าง ๆ กัน จะมีปริมาณยูเรเนียมใกล้เคียงกัน โดยที่ถ้าขนาดเม็ดแร่ใดขึ้น (ในช่วง -200 ถึง -50 เมช) จะมีปริมาณเข้มข้นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.1 ปริมาณยูเรเนียมในแร่ยูซีไนต์ที่บดขนาดเม็ดแร่ต่าง ๆ กัน

ขนาดเม็ดแร่ (เมช)	ปริมาณยูเรเนียม (%)
- 50	2.93
- 100	2.87
- 150	2.75
- 200	2.69

5.2 ผลการย่อยแร่ที่สภาวะต่าง ๆ

5.2.1 การวิเคราะห์ยูเรเนียมในสารละลายโดยวิธี WDX ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ เรืองที่มุม 26.20 องศา จากตัวอย่างสารละลายมาตรฐาน ยูเรนิลซัลเฟตที่มียูเรเนียมเข้มข้นต่าง ๆ แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 5.1 และใช้ปรับเทียบเพื่อวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารละลายหลังชะล้างจากแร่

ตารางที่ 5.2 องค์ประกอบของแร่ยูซีไนต์

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซนต์)
Ta_2O_5	6.52
Nb_2O_5	4.66
SnO_2	28.5
Fe_2O_5	16.23
ThO_2	0.86
U_2O_8	3.46
ZrO_2	4.66
TiO_2	10.20
ClO_2	1.6
ErO_2	0.5
Y_2O_3	4.55
Yb_2O_3	0.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 ค่าความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง (x-ray fluorescence) ของสารละลายมาตรฐานยูเรนิลซัลเฟต เมื่อวัดฤอยู่ในรูปสารละลาย

ความเข้มของยูเรเนียม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มของรังสี (จำนวนนับ/นาที)
0.1	4,200
0.3	8,536
0.5	11,619
1.0	20,461
2.0	36,536

5.2.2 ผลของขนาดเม็ดแร่ต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 20 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

ขั้นเคียวริง

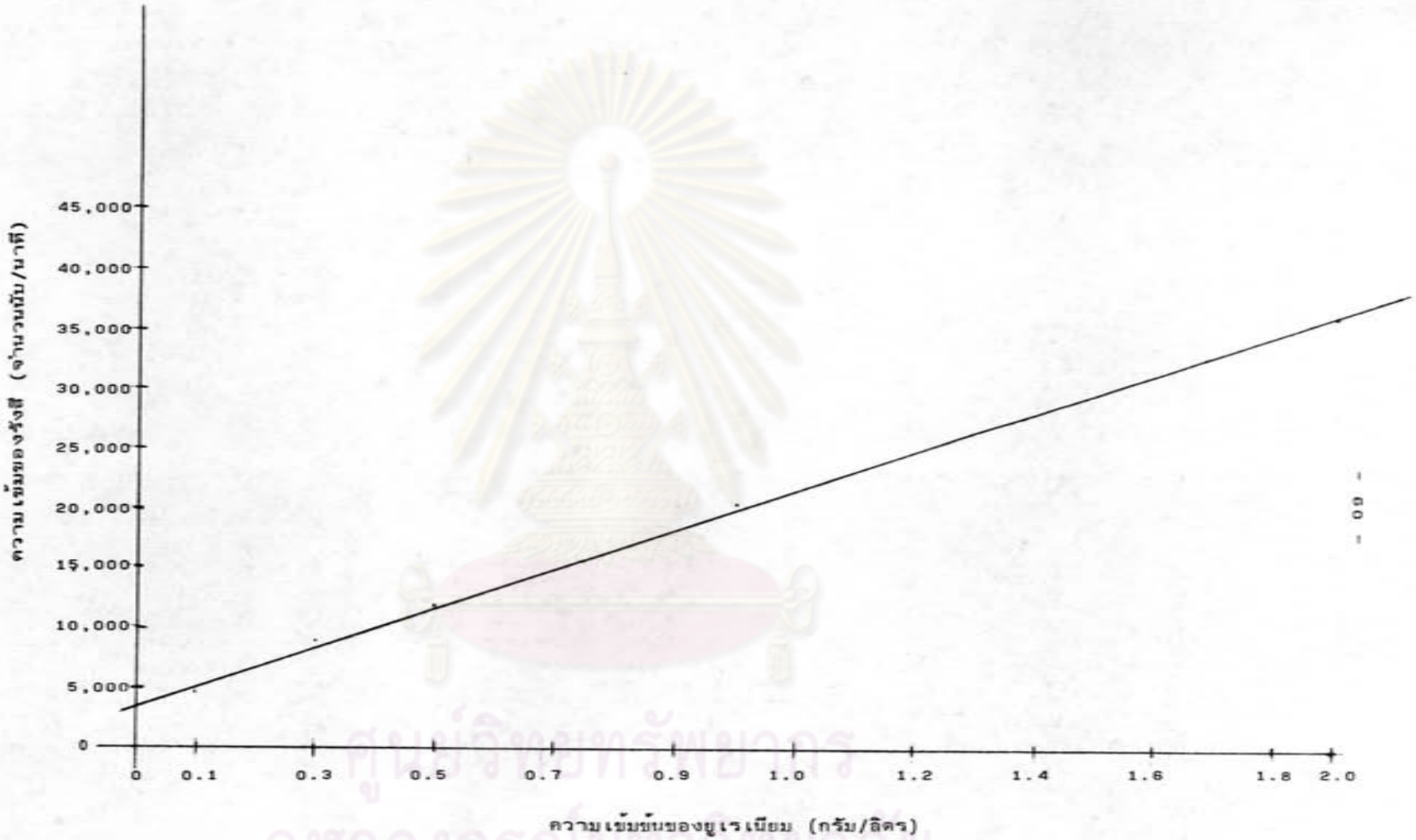
- ย่อยเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- อุณหภูมิประมาณ 320° ซ

ขั้นทำให้ละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ 500 มิลลิลิตร (1.56 N)
- ที่อุณหภูมิห้อง
- กวนตลอดเวลา 30 นาที
- ทิ้งสารละลายไว้ 15 ชั่วโมง

ผลของการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 กราฟสารละลายมาตรฐานยูเรเนียม (วัดในรูปสารสลาย) โดยเครื่องมือ WDX

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 ผลของขนาดเม็ดแร่ต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ขนาดเม็ดแร่ (เมช)	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
- 50	56.05
- 100	73.88
- 150	82.47
- 200	100

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นว่าแร่ที่มีขนาดใหญ่ จะย่อยให้ยูเรเนียมออกมาได้น้อยกว่าแร่ที่มีขนาดเล็ก แร่ที่ผ่านตะแกรง -200 เมช หมดจะย่อยสกัดยูเรเนียมออกมาได้ทั้งหมด

5.2.3 <u>ผลของเวลาในขั้นเคียวริงต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักกิง (เงื่อนไข ขนาดเม็ดแร่ตามหัวข้อ 5.2.2)

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 20 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

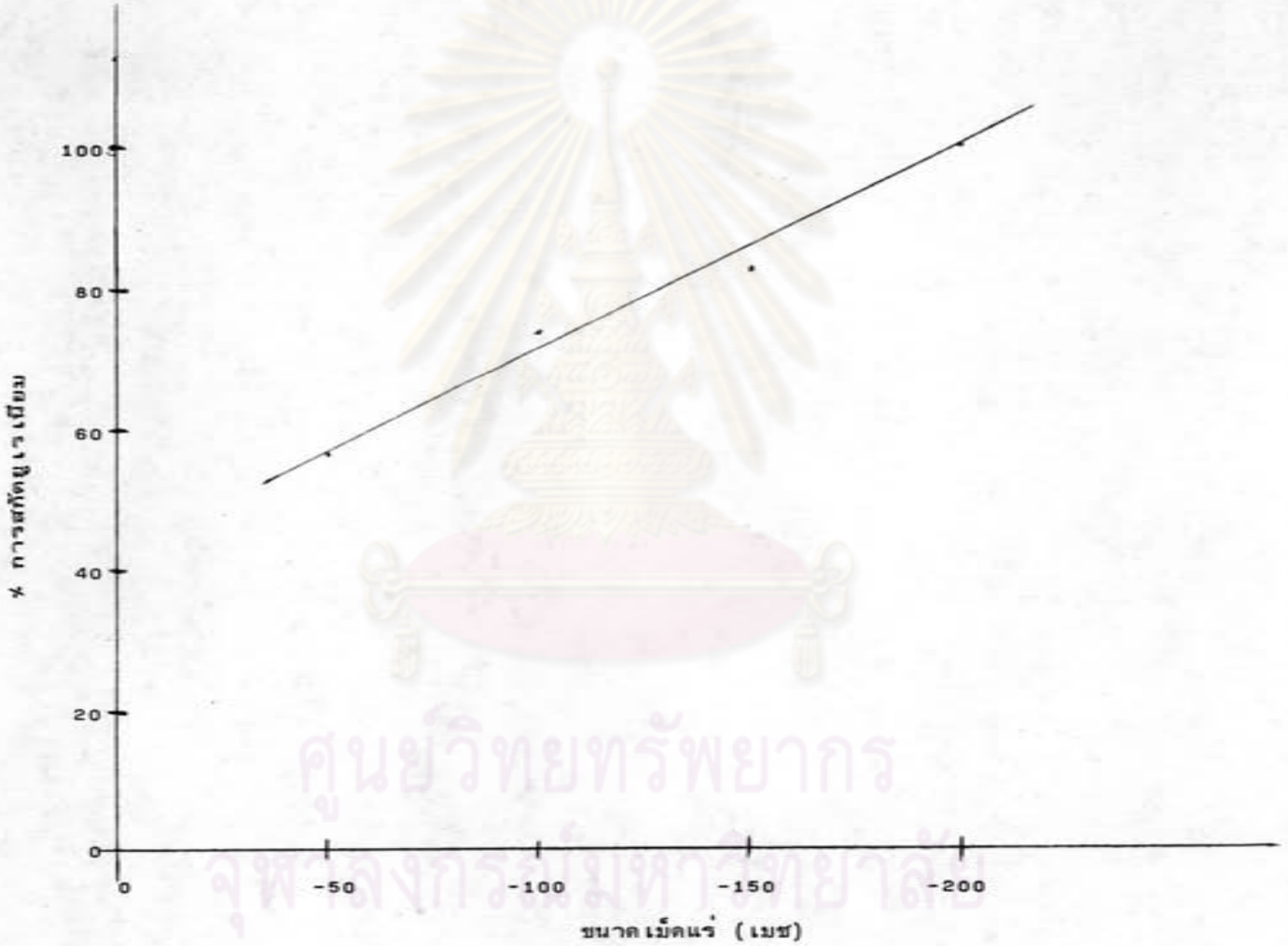
ขั้นเคียวริง

- เวลา 1-6 ชั่วโมง
- อุณหภูมิประมาณ 32๐ ซ

ขั้นทำให้ละลายด้วยน้ำ

- เจือจางด้วยน้ำ 500 มิลลิลิตร
- อุณหภูมิห้อง
- กวนตลอดเวลา 30 นาที
- ทิ้งสารละลายไว้ 15 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ผลของขนาดเม็ดแร่ต่อการสกัดยูเรเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงว่าตามเงื่อนไขที่กำหนด ยูเรเนียมจะถูกสกัดออกมาได้หมดภายในเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.5 ผลของเวลาในขั้นเดียวริง ต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

เวลา (ชั่วโมง)	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
1	71.06
1.30	82.62
2	100
3	100
5	100
6	100

5.2.4 <u>ผลของอุณหภูมิในขั้นเดียวริงต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 20 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

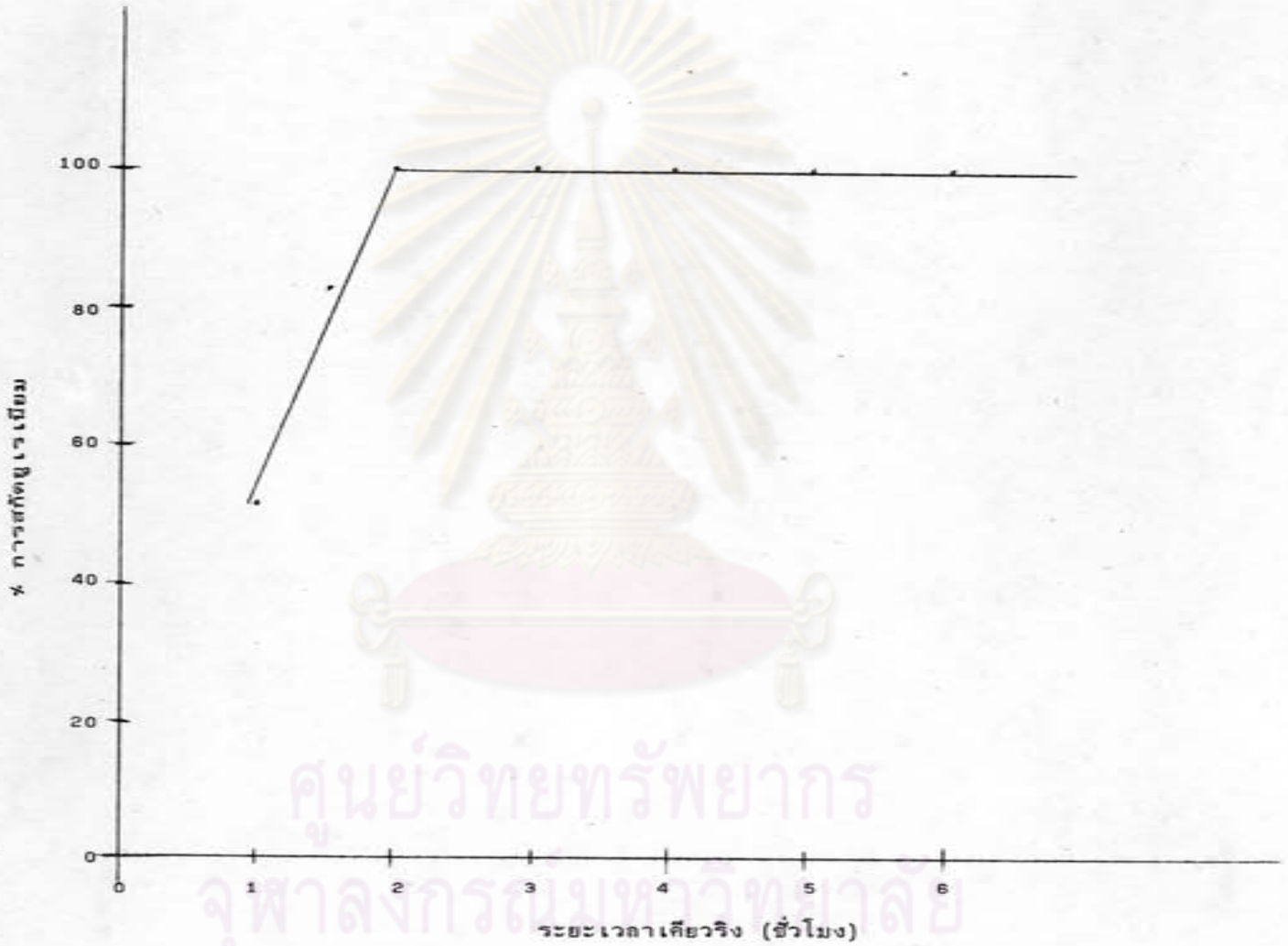
ขั้นเดียวริง

- อุณหภูมิ 50-320° ซ
- เวลา 2 ชั่วโมง

ขั้นทำให้ละลาย

- ละลายด้วยน้ำ 500 มิลลิลิตร
- อุณหภูมิห้อง
- กวนตลอดเวลา 30 นาที
- ทิ้งสารละลายไว้ 15 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 แสดงเวลาในขั้นเคียวริงต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.6 ผลของอุณหภูมิในขั้นเดียวริงต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

อุณหภูมิ (° ซ)	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
50	33.66
80	63.17
100	98
150	100
200	100
320	100

จากตารางที่ 5.6 แสดงว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้ย่อยแร่ คือประมาณ 150° ซ ซึ่งจะให้ยูเรเนียมสกัดออกมาจนหมด

5.2.5 <u>ผลของสัดส่วนของแร่ในกรดต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98%
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

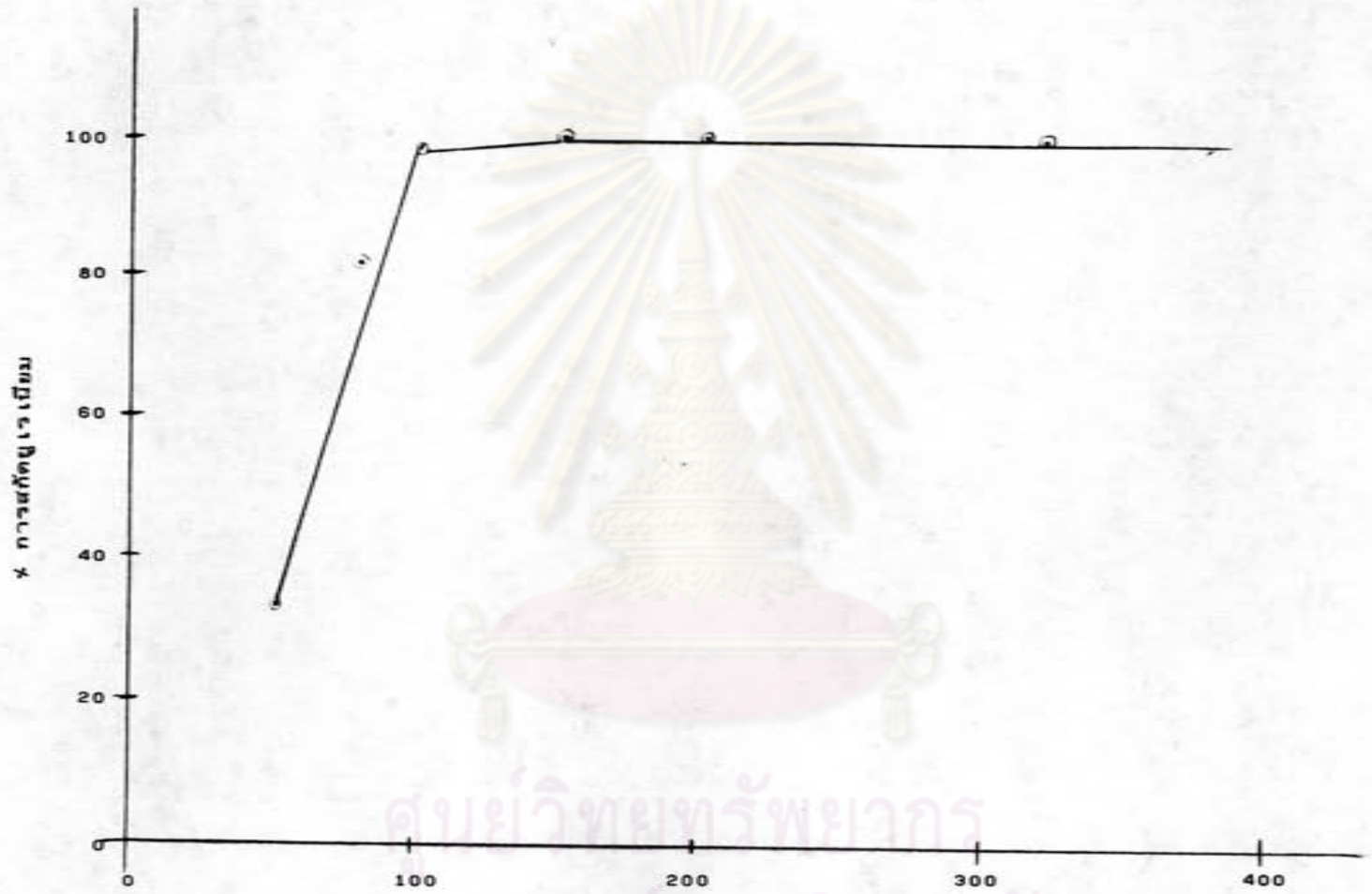
ขั้นเดียวริง

- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150° ซ

ขั้นทำให้ละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ 500 มิลลิลิตร
- อุณหภูมิห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 แสดงอุณหภูมิในขั้นเคี่ยวริงต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กวนตลอดเวลา 30 นาที
- ทิ้งสารละลายไว้ 15 ชั่วโมง

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.7 ผลของสัดส่วนของแร่ในกรดต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

% แร่ต่อกรด	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
10	100
20	100
30	85.76
40	66.75

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าสัดส่วนของแร่ในกรด คือ 20% ซึ่งจะให้ยูเรเนียมสกัดออกมาได้มากที่สุด

5.2.6 <u>ผลของความเข้มข้นของกรดต่อการทำให้ยูเรเนียมออกมาหลังพักกิง</u>

ขั้นพักกิง

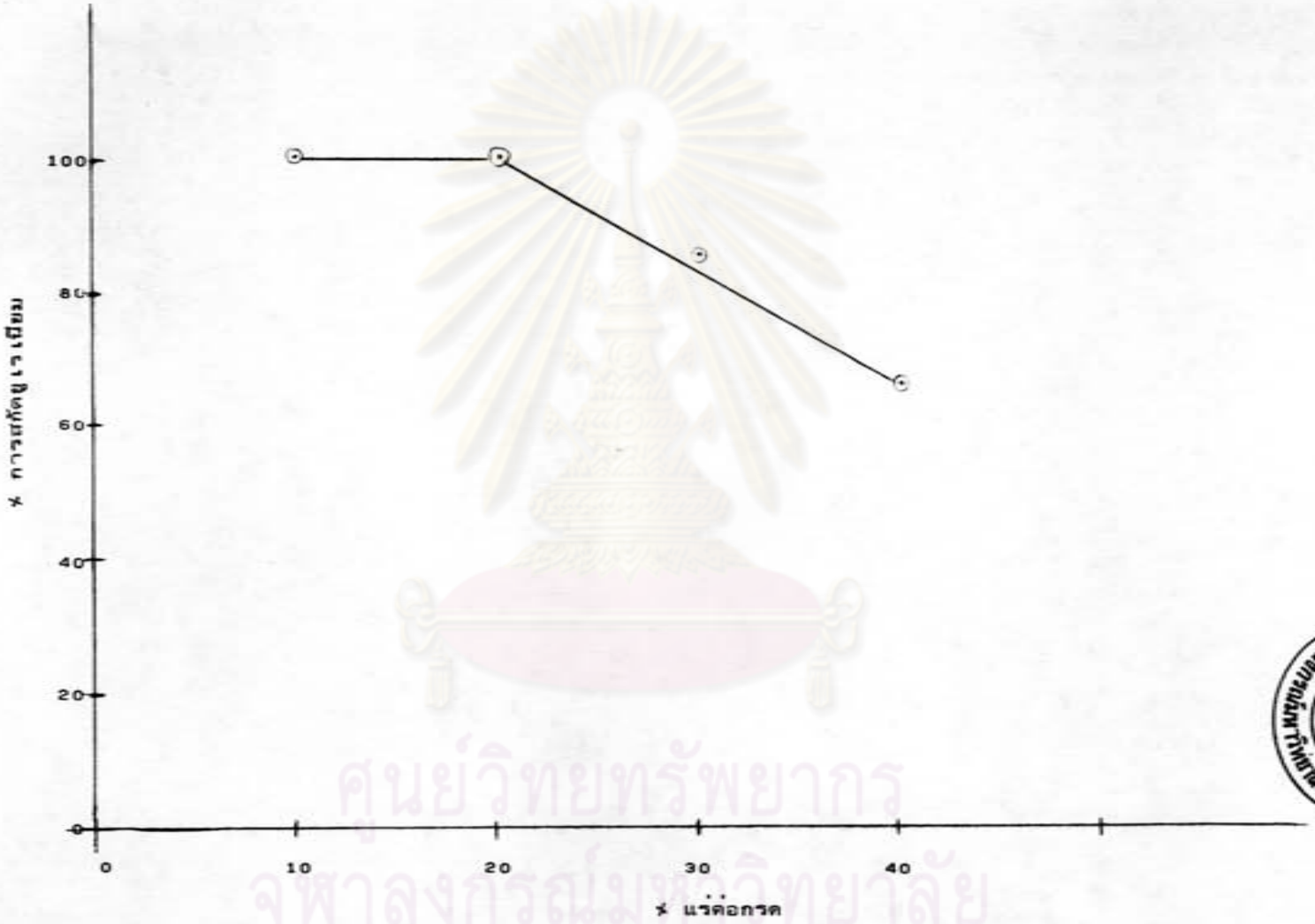
- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้ร้อยละ 20 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

ขั้นเคียวริง

- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150° ซ

ขั้นทำให้ละลาย

- อุณหภูมิห้อง
- กวนตลอด 30 นาที



รูปที่ 5.5 แสดงผลของสัดส่วนของแร่ในกรดต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ทิ้งสารละลายไว้ 15 ชั่วโมง

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.8 ผลของการละลายต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

เจือจางด้วยน้ำ (ml)	ความเข้มข้น (N)	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
200	3.9	100
300	2.6	100
400	1.95	99.38
500	1.56	99.20

จากตารางที่ 5.8 แสดงว่าการเจือจางด้วยน้ำ 300 มิลลิลิตร หรือความเป็นกรดเท่ากับ 2.6 N จะให้ % การสกัดยูเรเนียมได้ 100%

5.2.7 <u>ผลของอุณหภูมิในขั้นการทำละลายต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 30 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

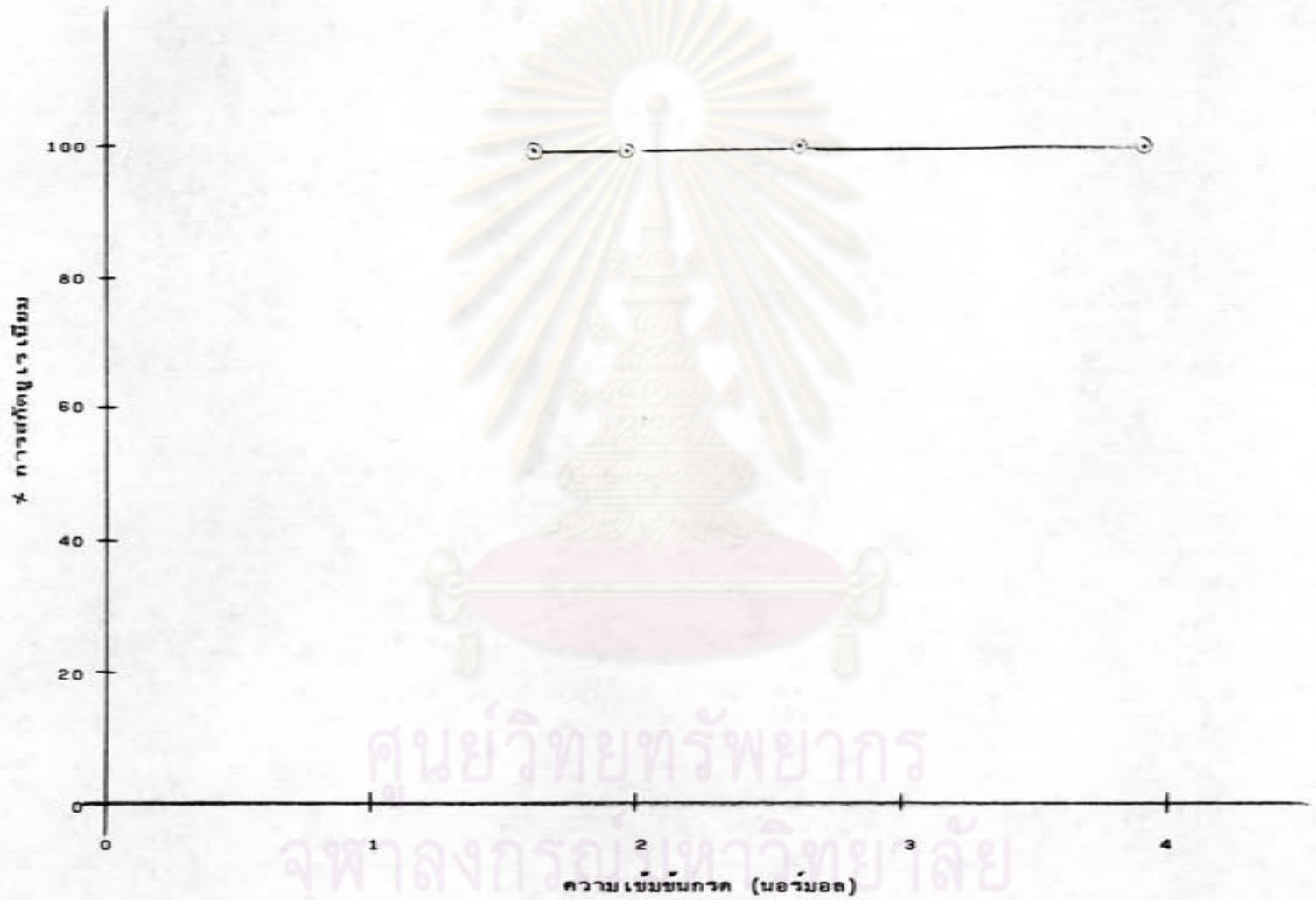
ขั้นเคียวริง

- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150 ซ

ขั้นทำให้ละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ 200 มิลลิลิตร
- กวนตลอด 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 แสดงผลของความเข้มข้นกรดต่อการทำให้ยูเรเนียมละลายออกมาหลังพักกิ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงผลในตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.9 ผลของอุณหภูมิในขั้น dissolution ต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

อุณหภูมิ (ซ)	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
32	94.56
50	98.27
80	89.00
100	81.88

จากตารางที่ 5.9 เมื่อเพิ่มร้อยละ 20 ของแร่ในกรด เป็นร้อยละ 30 ของแร่ในกรด จะได้ว่าที่อุณหภูมิ 50 ซ จะให้ % ยูเรเนียมที่สกัดได้สูงคือ 98.27%

5.2.8 <u>ผลของเวลาในขั้นทำการละลายต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 30 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

ขั้นเคียวริง

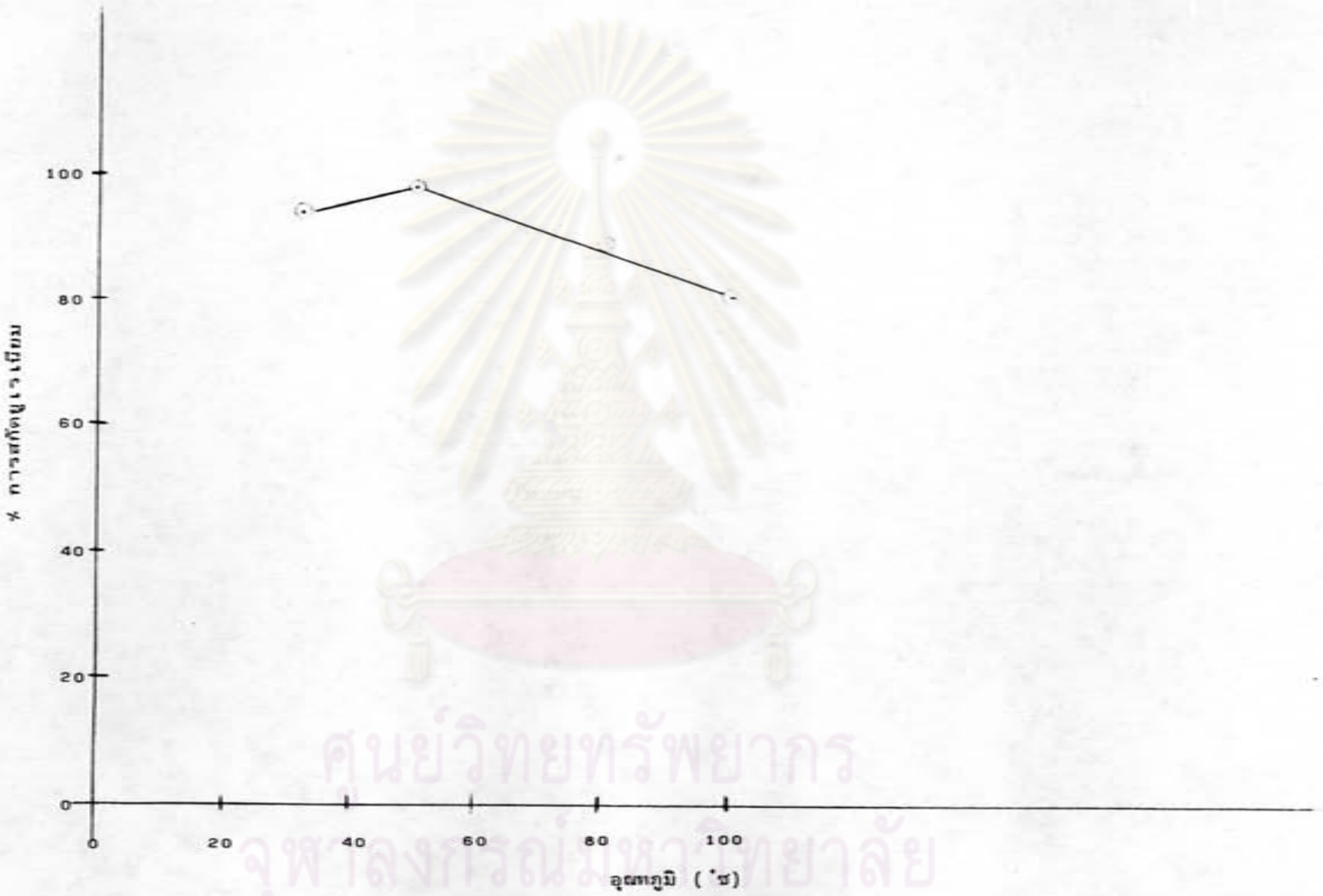
- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150 ซ

ขั้นทำละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ 200 มิลลิลิตร
- อุณหภูมิ 50 ซ
- กวนตลอดเวลา

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 แสดงผลของอุณหภูมิในการทำให้ยูเรเนียมละลายออกมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 ผลของเวลาในขั้นทำการละลายยูเรเนียมต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

เวลา (ชั่วโมง)	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
1	90.48
2	83.07
5	93.45
8	83.81

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าเมื่อใช้แร่ร้อยละ 30 ในกรด เวลาในขั้นทำให้ยูเรเนียมละลาย กวนตลอดเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50° ซ จะทำให้ % ยูเรเนียมที่สกัดได้สูงสุด คือ 93.45%

5.2.9 <u>ผลของการเพิ่มสัดส่วนของแร่ในกรดต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักนิ่ง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98%
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

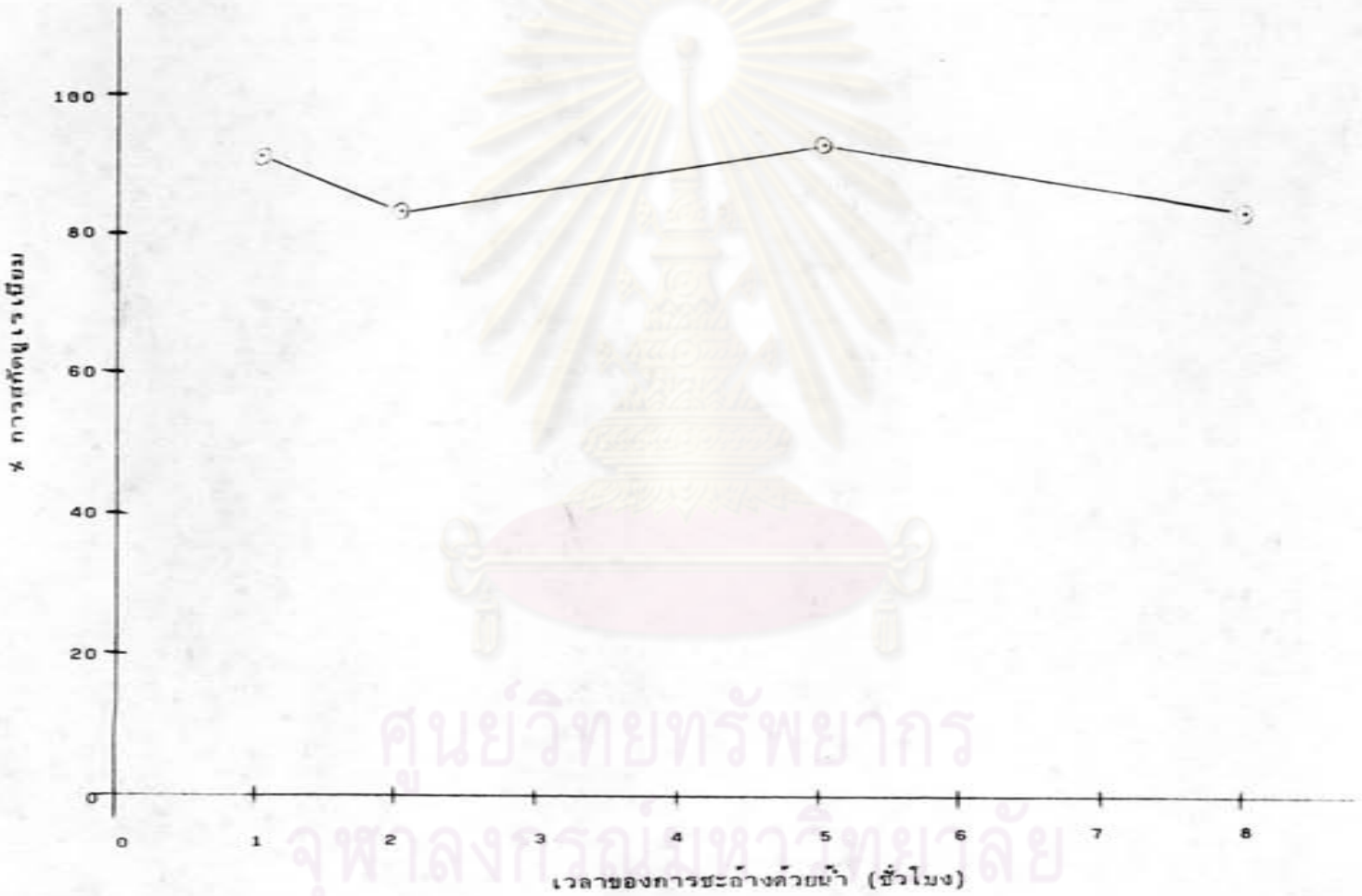
ขั้นเคี่ยวริง

- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150° ซ

ขั้นทำละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ 100 มิลลิลิตร
- อุณหภูมิ 50° ซ
- เวลา 5 ชั่วโมง กวนตลอดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.8 แสดงเวลาในขั้นชะล้างด้วยน้ำต่อการย้อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ล้างตะกอน 5 ครั้งด้วยน้ำ 100 มิลลิลิตร

แสดงผลในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.11 ผลของการเพิ่มสัดส่วนของแร่ในกรดต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

% แร่ต่อกรด	% ยูเรเนียมที่สกัดได้
22	100
27	100
32	100
35	97.77

จากตารางที่ 5.11 พบว่า ถ้าเจือจางด้วยน้ำ 100 ml และทำการล้างตะกอน 5 ครั้ง ด้วยปริมาตร 100 ml ของน้ำจะสามารถเพิ่มร้อยละของแร่ให้สูงขึ้นไปได้อีกเป็น 32% Solid ซึ่งจะให้ 100% ยูเรเนียมที่สกัดได้

5.2.10 ผลของปริมาณกรดที่ใช้ในขั้นเดียวริงต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละร้อย
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 32 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

ขั้นเดียวริง

- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150° ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.9 แสดงการชะล้างยูเรเนียมต่อ % Solid เมื่อเจือจางด้วยน้ำ 100 ml และน้ำล้างตะกอน 100 ml

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นการทำละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ
- อุณหภูมิ 50° ซ
- กวนตลอดเวลา 5 ชั่วโมง
- ล้างตะกอน 5 ครั้ง ด้วยน้ำ 100

แสดงผลในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ปริมาณกรดที่ใช้ไปในขณะย่อยแร่

ปริมาณกรดถ้าไม่มีการใช้ไป (กรัม)	ความเข้มข้นหลังเดียวริง N	ปริมาณกรดที่เหลือ (กรัม)	% กรดที่ใช้ไป
20.8	1.7 (เจือจางด้วยน้ำ 200 ml)	16.66	19.98
28.8	3.43 (เจือจางด้วยน้ำ 100 ml)	16.81	19.27

จากตารางที่ 5.12 จะเห็นว่าปริมาณกรดที่ใช้ย่อยแร่ในขั้นเดียวริงจะใช้ไปประมาณ 4 กรัมหรือ 19% ของกรดซัลฟูริกทั้งหมด

5.2.11 <u>ผลของความเข้มข้นของกรดในขั้นการทำละลายด้วยน้ำต่อการย่อยเพื่อสกัดยูเรเนียม</u>

ขั้นพักกิง

- แร่ 10 กรัม ขนาด -200 เมช ร้อยละห้าสิบ
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% โดยใช้แร่ร้อยละ 32 ในกรด
- เวลา 30 นาที
- อุณหภูมิห้อง

ขั้นเดียวริง

- เวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิ 150° ซ

ขั้นทำละลาย

- เจือจางด้วยน้ำ
- อุณหภูมิ 50° ซ
- กวนตลอดเวลา 5 ชั่วโมง
- ล้างตะกอน 5 ครั้ง ด้วยน้ำ 100 มิลลิลิตร

แสดงผลในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 แสดงผลของปริมาณกรดที่ใช้ในขั้นตอนการทำละลายยูเรเนียม

ความเข้มข้นกรดเจือจางด้วยน้ำ N	ปริมาตรกรด (ml)	ปริมาตรกรด (กรัม)	ความเข้มข้นกรดหลังกวน 5 ชม. N	ปริมาตรกรด (ml)	ปริมาตรกรด (กรัม)	% กรดที่ใช้ไป
1.2	275	16.17	1.40	235	16.12	0.31
1.4	235	16.12	1.60	205	16.07	0.31
1.6	205	16.07	1.90	170	15.83	1.49
2.0	185	16.17	2.10	155	15.94	1.42

จากตารางที่ 5.13 แสดงว่าในขั้นการทำละลายจะไม่มีการใช้กรด เพราะปริมาณกรดจะถูกใช้ไปในขั้นเดียวกันแล้ว

5.3 <u>ผลการวิเคราะห์เค้กเหลือง</u>

นำเค้กเหลืองไปวิเคราะห์ปริมาณของธาตุโบรอน (B) สารหนู (As) วาเนเดียม (V) โมลิบดีนัม (Mo) และยูเรเนียม (U) ว่ามีปนอยู่กับธาตุยูเรเนียมร้อยละเท่าใด ส่วนความเข้มข้นของยูเรเนียมจะวิเคราะห์ออกมาเป็นร้อยละของเค้กเหลืองทั้งหมด ดังแสดงผลในตาราง 5.15 ซึ่งแสดงค่าเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเค้กเหลือง

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการวิเคราะห์เค้กเหลืองโดยใช้ Inductively coupled plasma Emission Spectrometer Model Shimadzu Icps-50

ธาตุ	ผลการวิเคราะห์ (%) เค้กเหลืองที่ผลิต	มาตรฐาน (%) USAEC
Uranium (U)	79.14	65.0
Molybdenum (Mo)	0.009	0.96
Vanadium (V)	0.114	1.26
Arsenic (As)	0.195	2.00
Boron (B)	0.031	0.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย