บทที่ 4
การออกแบบเครื่องย่อยแร่โมนาไซท์ในระดับกึ่งห้องทดลอง

การแปรสภาพแร่โมนาไซท์เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อที่จะแยกธาตุที่มีค่าอันได้แก่ ซอเรียม, ยูเรเนียม, แรร์เอิร์ท และสิ่งแปลกปลอมที่เรียกว่า gangue ออกจากกัน โดยปกติแร่โมนาไซท์ทั่ว ๆ ไปจะมีสิ่งแปลกปลอมประกอบไปด้วย ไทตาเนียม, เหล็ก ซิลิก้า และฟอสเฟต

การที่จะแยกซอเรียม, ยูเรเนียม และแรร์เอิร์ทออกจากรูปของเกลือฟอสเฟต และ gangue นั้นโดยปกติทั่ว ๆ ไปทำได้ 2 วิธี คือกระบวนการย่อยด้วยกรดซัลฟูริค และกระบวนการย่อยด้วยโซดาไฟ ทั้งกรดซัลฟูริคและโซดาไฟนั้นจะไปทำลายโครงสร้างของโมนาไซท์ให้ธาตุต่าง ๆ ที่ประกอบกันอยู่แยกตัวออกจากกันได้ โดยปกติแล้ววิธีที่ง่ายที่สุดในการทำลายโครงสร้างของโมนาไซท์ ได้แก่การละลายโมนาไซท์ในกรดซัลฟูริคที่ร้อนจะเกิดสารละลายซัลเฟตของซอเรียม, ยูเรเนียม และแรร์เอิร์ท โดยที่กากที่เหลือจะเป็น ซิลิก้า, เซอร์คอน และ gangue อื่น ๆ วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัด แต่จะมีปัญหาที่เกิดจากฟอสเฟตอิออนและซัลเฟตอิออน จะทำให้ยุ่งยากในขั้นทำให้ซอเรียมบริสุทธิ์ ดังนั้นวิธีการเหมาะสมอีกวิธีหนึ่งคือวิธีการย่อยด้วยโซดาไฟที่ร้อนและเข้มข้นซึ่งนอกจากจะได้ซอเรียม, ยูเรเนียมและแรร์เอิร์ทแล้วยังได้ผลผลิตพลอยได้อีกคือไตรโซเดียมฟอสเฟต

สำหรับวิธีการย่อยด้วยกรดซัลฟูริคได้รับการพัฒนาในโครงการพลังงานปรมาณูที่ [2] Ames Laboratory, Iowa State Collage ส่วนวิธีการย่อยด้วยโซดาไฟ ได้รับการพัฒนาโดย Battelle Memorial Institute

กองเคมี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ [1] ได้ทำการศึกษาวิธีการย่อยแร่โมนาไซท์ทั้งวิธีกรดและวิธีด่าง ในระดับปริมาณ 50 กรัมต่อครั้ง การดำเนินงานขั้นต่อไปจึงเป็นการศึกษาทดลองเพื่อขยายกระบวนการผลิตขึ้นสู่ระดับ

กึ่งห้องทดลอง โดยในขั้นแรกนี้จะขยายให้อยู่ในระดับปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อครั้ง เนื่องจากไตรโซเดียมฟอสเฟตเป็นสารที่ใช้มากตัวหนึ่งในประเทศ จึงได้เจาะจงใช้กระบวนการย่อยด้วยวิธีการใช้ด่าง เพื่อให้ได้ไตรโซเดียมฟอสเฟตซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้ตัวหนึ่ง

การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีสำหรับย่อยแร่โมนาไซท์ในขนาดกึ่งโรงงานทดลอง

4.1 สำหรับขนาดการย่อยโมนาไซท์ในระดับกึ่งโรงงานทดลองกำหนดน้ำหนักของโมนาไซท์เป็น 1 กิโลกรัม ก่อนที่จะมีการกำหนดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์เคมีจะต้องคำนึงถึงการเลือกประเภทของเครื่องปฏิกรณ์เคมีที่จะใช้พบว่า [9] เครื่องปฏิกรณ์เคมีที่ใช้งานขนาดเล็ก ๆ และให้ผลของการทำงานสูง ควรจะเป็นเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเฉพาะหน่วย แม้ว่าค่าใช้จ่ายต่าง ๆ จะสูงสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ฯ แบบนี้ แต่การศึกษาในขั้นกึ่งโรงงานทดลองนั้นมีคุณค่าเพียงพอ ดังนั้นแบบของเครื่องปฏิกรณ์เคมีที่จะนำมาย่อยแร่โมนาไซท์ในระดับกึ่งโรงงานทดลองจึงเป็นเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเฉพาะหน่วย

จากการศึกษาทางด้านทฤษฎีและผลการทดลองในห้องทดลองขนาด 50 กรัม [1] พบว่าอัตราส่วนของโมนาไซท์กับโซดาไฟเป็น 1 ต่อ 2 จึงต้องใช้น้ำหนักโซดาไฟ 100 % 2 กิโลกรัมสำหรับโมนาไซท์ 1 กิโลกรัม แต่โซดาไฟที่ใช้ในการย่อยโมนาไซท์ต้องการความเข้มข้น 47 % จึงต้องใช้น้ำ 2.121 กิโลกรัม ทำให้โซดาไฟมีความเข้มข้น 47 %

การหาปริมาตรของเครื่องย่อยแร่โมนาไซท์คำนวนได้จากสมการ 3-2

$$\bar{\Theta} = N_{A_O} \int_{x_{A_O}}^{x_{A_f}} \frac{dx_A}{V(-r_A)}$$

$$= \frac{N_{A_O}}{V(-r_A)} (x_{A_f} - x_{A_O})$$

$$V = \frac{N_{A_O}}{\bar{\theta}(-r_A)} (x_{A_f} - x_{A_O})$$

N_{A_O} กำหนดให้เป็นโมนาไซท์ 1 กิโลกรัม

$\bar{\theta}$ เป็นเวลาที่ใช้ย่อยโมนาไซท์=3 ชั่วโมง

x_{A_f} เป็น Mass fraction ของโมนาไซท์เมื่อเทียบกับน้ำหนักของสารที่ทำปฏิกริยาทั้งหมด

$$= \frac{\text{น้ำหนักของโมนาไซท์}}{\text{น้ำหนักของโมนาไซท์ + น้ำหนักของโซดาไฟ}}$$

$$= \frac{1}{1+2} = \frac{1}{3}$$

x_{A_O} เป็น Mass fraction ของโมนาไซท์ที่เหลือจากการทำปฏิกริยาซึ่งในกรณีการออกแบบ จะกำหนดให้ปฏิกริยาทั้งหมดเกิดอย่างสมบูรณ์ เพราะฉะนั้น $x_{A_O} = 0$

$(-r_A)$ เป็นอัตราการเกิดปฏิกริยา ซึ่ง [1] อัตราการเปลี่ยนแปลงโมนาไซท์ จะเปลี่ยนไป 70.12 % ในเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อใช้โมนาไซท์ 0.5 กรัม ความเข้มข้นของโซดาไฟ 40 % โดยอัตราส่วนของโมนาไซท์ต่อโซดาไฟ = 1 ต่อ 2 ซึ่งจะได้ปริมาตรของสารที่ทำปฏิกริยาทั้งหมด = 4.2 ซี.ซี.

$$\therefore (-r_A) = \frac{0.7012}{3} \times \frac{0.5}{4.2} \times \frac{1000}{1000} \text{ kg/hr.l}$$

จาก $V = \frac{N_{A_O}}{\bar{\theta}(-r_A)} (x_{A_f} - x_{A_O})$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{3}{0.7012} \times \frac{4.2}{0.5} \times \left(\frac{1}{3} - 0\right)$$

$$= 4 \text{ l.}$$

กำหนดให้ปริมาตรของเครื่องย่อยแร่ที่คำนวนได้เป็น 75 % ของปริมาตรของเครื่องย่อยแร่ที่ออกแบบ

ดังนั้นปริมาตรของเครื่องย่อยแร่ที่ออกแบบ

$$= \frac{4}{0.75} = 5.3 \text{ l.}$$

4.2 การหากำลังของเครื่องกวนสาร สำหรับการย่อยแร่โมนาไซท์ 1 กิโลกรัม โดยบดให้ละเอียด 200 mesh ในเครื่องย่อยแร่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว โดยใช้โซดาไฟ 50 % 4 กิโลกรัม ใบพัดที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว วางสูงจากส่วนล่างของถัง 2 นิ้ว และความสูงของโมนาไซท์ที่จะลอยในโซดาไฟเป็น 10 นิ้ว

กำลังของเครื่องกวนสารในเครื่องย่อยแร่หาได้จากสมการ 3-20 โดยให้ $g/g_c = 1$

ดังนั้น $$P = \rho_m V_m W_t (1-\epsilon_m)^{2/3} \left(\frac{D_t}{D_a}\right)^{1/2} e^{4.35\beta}$$

$$D_t = \frac{7}{12} \text{ ft.}, \quad D_a = \frac{3}{12} \text{ ft.}, \quad Z_S = \frac{10}{12} \text{ ft.}, \quad E = \frac{2}{12} \text{ ft.}$$

ปริมาตรของการลอยตัว, $$V_m = \frac{\pi D_t^2 Z_S}{4} \text{ ft.}^3$$

$$= \pi \times \left(\frac{7}{12}\right)^2 \times \frac{10}{12} \times \frac{1}{4} \text{ ft.}^3$$

$$= 0.186 \text{ ft.}^3$$

ความหนาแน่นของโซดาไฟ ρ = 1.5 x 62.3 = 93.45 $lb/ft.^3$

ความหนาแน่นของโมนาไซท์, ρ_p = 5.1 x 62.3 = 317.73 $lb/ft.^3$

ปริมาตรของโมนาไซท์ที่ลอยตัว = $\frac{2.2}{317.73}$ = 0.007 $ft.^3$

ปริมาตรของโซดาไฟ 50 % = $\frac{4 \times 2.2}{93.45}$ = 0.094 $ft.^3$

ความหนาแน่นของการลอยตัว, $\rho_m = \frac{2.2 + (2.2 \times 4)}{0.186} = 59.140$ $lb/ft.^3$

Volume fraction ของของเหลว, $\epsilon_m = \frac{0.094}{0.186} = 0.505$

สำหรับโมนาไซท์บดให้ได้ 200 mesh เมื่อเทียบตาม Tyler Standard Screen แล้วได้ Clear Openning = 0.0029 นิ้ว

$\therefore D_p = \frac{0.0029}{12} = 2.417 \times 10^{-4}$ ft.

ความหนืดของโซดาไฟ 50 % ที่ 147° ซ [9] = 0.48 cp.

$\mu = 0.48 \times 6.72 \times 10^{-4} = 3.2256 \times 10^{-4}$ lb/ft.sec.

จากสมการ 3-22

$$u_t = \frac{a_e D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18 \mu}$$

$$= \frac{32.17 \times (2.417 \times 10^{-4})^2 (317.73 - 93.45)}{18 \times 3.2256 \times 10^{-4}} \text{ ft./sec.}$$

$$= 0.0782 \text{ ft./sec.}$$

จากสมการ 3-21

$$\beta = \frac{Z_S - E}{D_t} - 0.1$$

$$= \frac{\frac{10}{12} - \frac{2}{12}}{\frac{7}{12}} - 0.1 = 1.042$$

จากสมการ 3-20

$$P = \rho_m V_m \mu_t (1-\varepsilon_m)^{2/3} \left(\frac{D_t}{D_a}\right)^{1/2} e^{4.35\beta} \text{ ft.lb/sec.}$$

$$= 59.140 \times 0.186 \times 0.0782(1-0.505)^{2/3} \left(\frac{7/12}{3/12}\right)^{1/2}$$

$$\times e^{4.35 \times 1.042} \text{ ft.lb/sec.}$$

$$= 59.140 \times 0.186 \times 0.0782 \times 0.626 \times 1.527$$

$$\times 93.009 \text{ ft.lb/sec.}$$

$$= 76.503 \text{ ft.lb/sec.}$$

$$= 103.626 \text{ watts.}$$

สำหรับการหาอัตราการหมุนของใบพัดหาได้จากสมการ 3-19 โดย

$$P = \frac{K_T n^3 D_a^5 \rho}{g_c}$$

$$n = \left(\frac{P g_c}{K_T D_a^5 \rho}\right)^{1/3}$$

ค่าของ K_T [8] สำหรับใบพัด 6 แฉก = 6.30 ดังนั้น

$$n = \left(\frac{76.503 \times 32.17}{6.3 \times (3/12)^5 \times 62.3}\right)^{1/3} \text{ rps.}$$

$$= 18.440 \text{ rps.}$$

$$= 1106.4 \text{ rpm.}$$

4.3 การเลือกใช้วัสดุสำหรับเครื่องย่อยแร่โมนาไซท์โดยที่กระบวนการย่อยแร่โมนาไซท์ใช้โซดาไฟเข้มข้น 47 % การเลือกใช้วัสดุจึงต้องคำนึงถึงการทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุที่มีต่อโซดาไฟ พบว่า [10] สเตนเลส สตีล เบอร์ 18-8 และ สเตนเลส สตีล แบบ 316 ซึ่งถูกกัดกร่อนด้วยโซดาไฟ 50 % ที่อุณหภูมิ 225° ฟ

น้อยกว่า 0.02 นิ้วต่อปี เป็นวัสดุที่เหมาะสมที่ใช้ทำเป็นเครื่องย่อยแร่โมนาไซท์ เมื่อเทียบกับเหล็กซึ่งจะถูกกัดกร่อน 0.02-0.05 นิ้วต่อปี ด้วยโซดาไฟที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิเท่ากัน

สเตนเลส สตีล ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเหล็กซึ่งมีโครเมี่ยมผสมอยู่ประมาณ 12-30 %, นิเกิลประมาณ 0-22 % นอกจากนี้ยังมีคาร์บอน, โคลัมเบียม, ทองแดง, โมลิบดินัม, เซเลเนียม, แทนทาลัม และไทตาเนียมผสมอยู่ วัสดุนี้ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติการทนทานต่อความร้อนและการกัดกร่อนและง่ายต่อการประกอบเป็นเครื่องมือ เสตนเลส สตีล แบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

Martensitic Stainless ประกอบด้วยโครเมียม 12-20 % และจำกัดจำนวนของคาร์บอนและสารอื่น ๆ ชนิดนี้มักจะใช้กับงานที่ต้องทนทานต่อการกัดกร่อนของสิ่งแวดล้อม

Ferritic Stainless ชนิดนี้ประกอบด้วยโครเมียม 15-30 % และมีปริมาณคาร์บอนต่ำ เนื่องจากปริมาณโครเมียมสูงขึ้นทำให้การทนทานต่อการกัดกร่อนสูงขึ้น มักจะใช้กับงานที่เป็นเครื่องมือความเร็วสูง

Austenitic Stainless ประเภทนี้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนดีที่สุดใน 3 ประเภท ประกอบด้วยโครเมียม 16-26 % และนิเกิล 6-22 % โดยมีปริมาณคาร์บอนต่ำมากซึ่งสเตนเลส สตีล เบอร์ 18-8 และแบบ 316 อยู่ในประเภทนี้ มีคุณสมบัติเหมาะสมมากสำหรับงานในกรณีที่มีการออกซิไดส์ เนื่องจากสเตนเลส สตีล ประเภทนี้จะเกิดออกไซด์บาง ๆ ฉาบที่ผิวของมันทำให้เพิ่มคุณสมบัติในการทนทานการกัดกร่อนมากขึ้น

4.4 แหล่งพลังงานความร้อนที่จะให้แก่เครื่องย่อยแร่โมนาไซท์ เนื่องจากการย่อยแร่โมนาไซท์ไม่ว่าจะเป็นวิธีกรดหรือโซดาไฟ จะต้องให้ความร้อนในการย่อยประมาณ 140-200° ซ ดังนั้น การออกแบบเครื่องย่อยแร่จึงต้องคำนึงถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่จะใช้ ปกติตามโรงงานอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป จะใช้ความร้อนจากไอน้ำ แต่เครื่องปฏิกรณ์เคมีที่ออกแบบใช้ในขนาดกึ่งโรงงานทดลองจะใช้เป็น

พลังงานไฟฟ้าเพราะสะดวกต่อการควบคุมแฟคเตอร์ต่าง ๆ จากเครื่องปฏิกรณ์เคมี

แบบของเครื่องย่อยแร่ที่เลือกใช้เป็นแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีเฉพาะหน่วย ซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก สมการความร้อนที่ใช้คำนวนใช้สมการ 4-15

$$q = \frac{k(2\pi L)(T_i - T_o)}{\ln (r_o/r_i)}$$

ที่ผนังภายนอกของเครื่องย่อยแร่ซึ่งเป็นสเตนเลส สตีล จะถูกห่อหุ้มด้วย Triton Cement หนา 1/2 นิ้ว ค่าการนำความร้อน (k) ของ Triton Cement ที่ 200° ซ $= 0.43$ $Btu/hr.ft.^2\ ^oF/ft.$
รัศมีภายในของเครื่องย่อยแร่ 1/2 ฟุต รัศมีภายนอกรวมทั้ง Cement : 7.3 นิ้ว
ความสูงของเครื่องย่อยแร่ 1 ฟุต

$$q = \frac{k(2\pi L)(T_i - T_o)}{\ln (r_o/r_i)} \quad Btu/hr.$$

$k = 0.43\ Btu/hr.ft.\ ^oF$

$L = 1\ ft.$

$T_i = 398\ ^oF$

$T_o = 77\ ^oF$

$r_o = \frac{7.3}{12}\ ft.$

$r_i = 1/2\ ft.$

$$q = \frac{0.43(2 \times 3.14 \times 1)(392 - 77)}{\ln \frac{7.3}{12} \times 2} \quad Btu/hr.$$

$= 4339.93\ Btu/hr.$

$= 72.33\ Btu/hr.$

จาก $1\ Btu_{/min.} = 17.6$ Thermal watts

$q = 72.33 \times 17.6$ Thermal watts

$= 1273.045$ Thermal watts

กำหนดให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน = 70 % พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ $= \frac{1273.045}{0.7} = 1818.64$ Electrical watts

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ย่อยแร่ 3 ชม. $= \frac{3 \times 1818.64}{1000} = 5.457$ kWh.

สำหรับลวดความต้านทานที่ใช้เป็นโลหะผสมระหว่างนิเกิลกับโครเมียมของ Hoskins Manufacturing Company, U.S.A. แบบ Chromel-A WIRE A.W. # 18 มีเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด 0.040 นิ้ว มีความต้านทาน 0.4063 $\Omega_{/ft.}$

จาก $R = \frac{V^2}{P}$

ความต้านทานทั้งหมดของลวดที่ใช้ $= \frac{(220)^2}{1818.64} = 26.61$

จะต้องใช้ความยาวของลวด $= \frac{26.61}{0.4063} = 65.50$ ft.

ความยาวของลวด 1 รอบ ที่ใช้พันเครื่องย่อยแร่

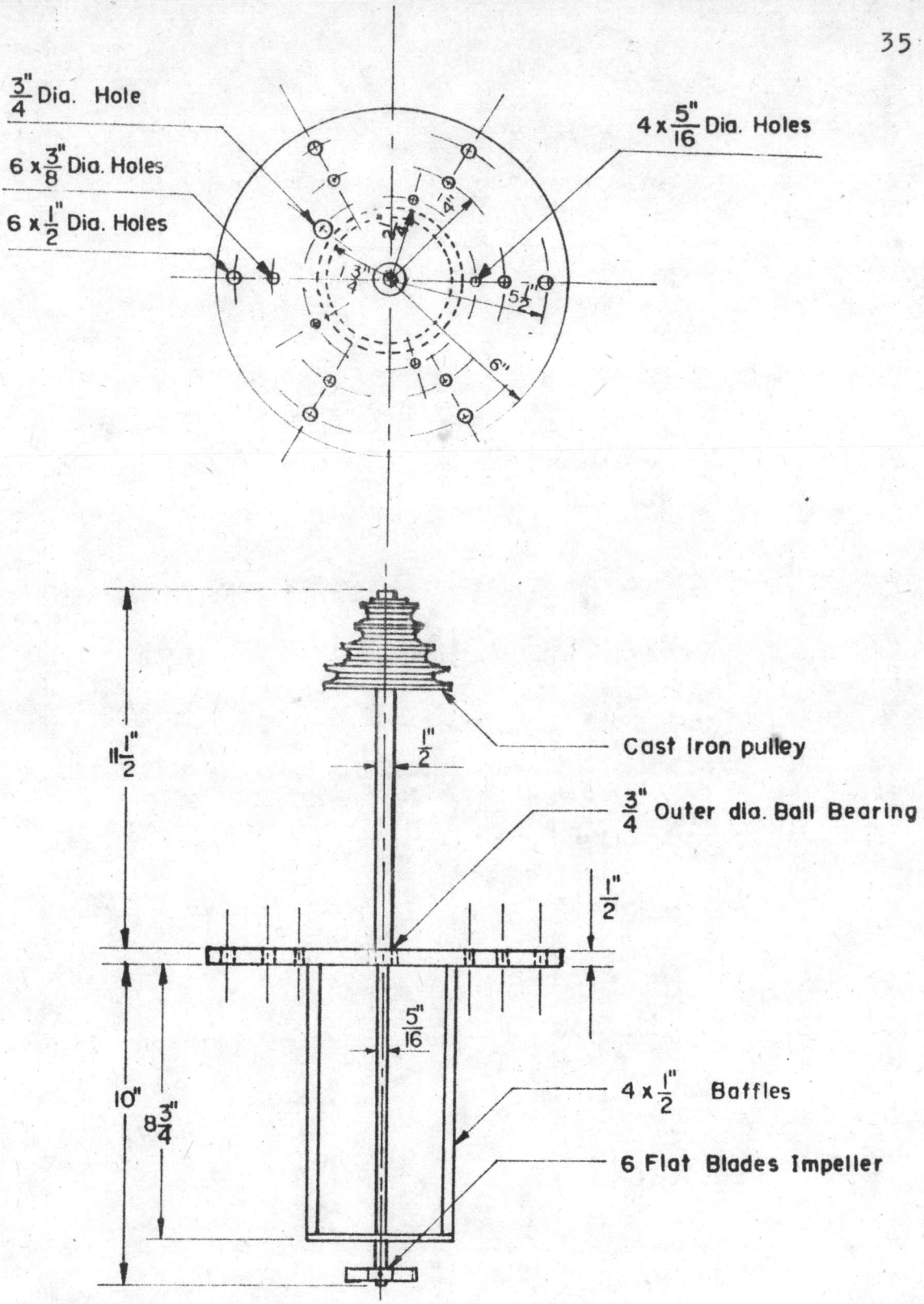
$= \frac{3.14 \times 7.3}{12} = 1.91$ ft.

จะต้องพัน ลวดความต้านทานในเครื่องย่อยแร่ทั้งหมด

$= \frac{65.50}{1.91} = 34$ รอบ

4.5 การเขียนแบบเครื่องย่อยแร่ แบบของเครื่องย่อยเป็นไปตามรูป 4-1, 4-2, 4-3

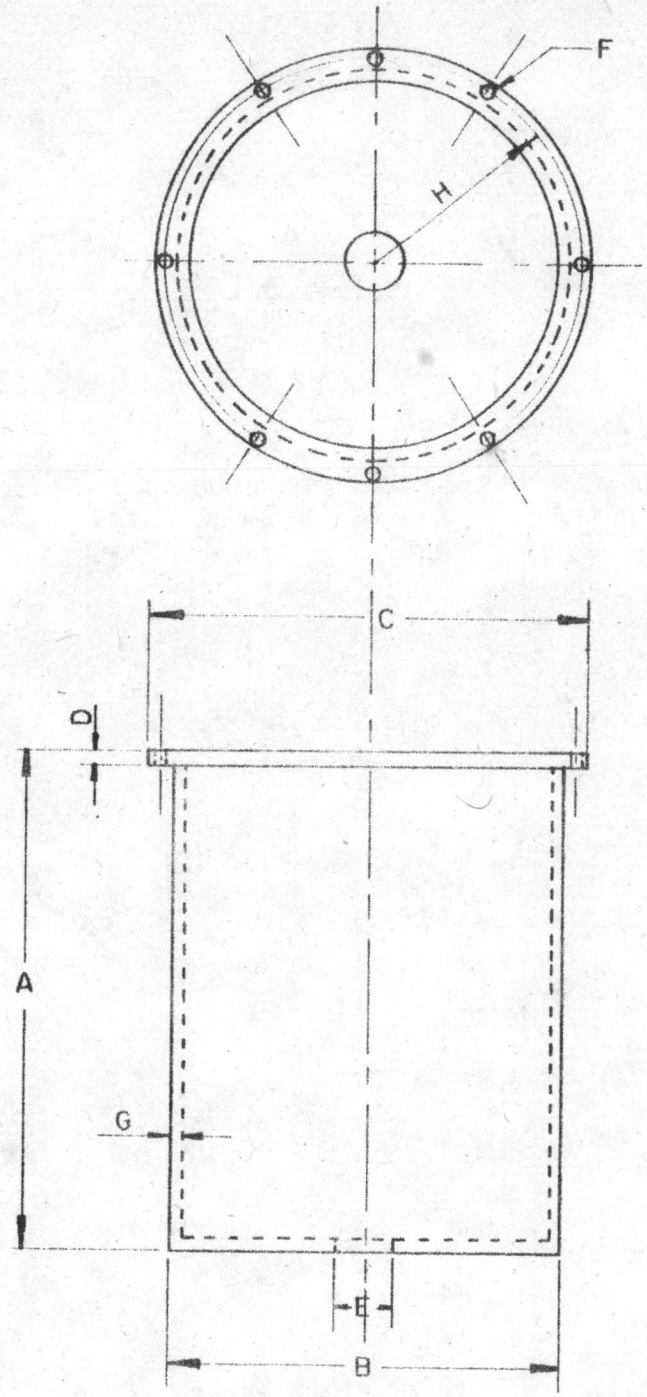
4.6 การวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์



Material : Stainless Steel

Scale 1:5

รูปที่ 4 - 1 แบบของฝาเครื่องย่อยแร่ และชิ้นส่วนของเครื่องกวนสาร

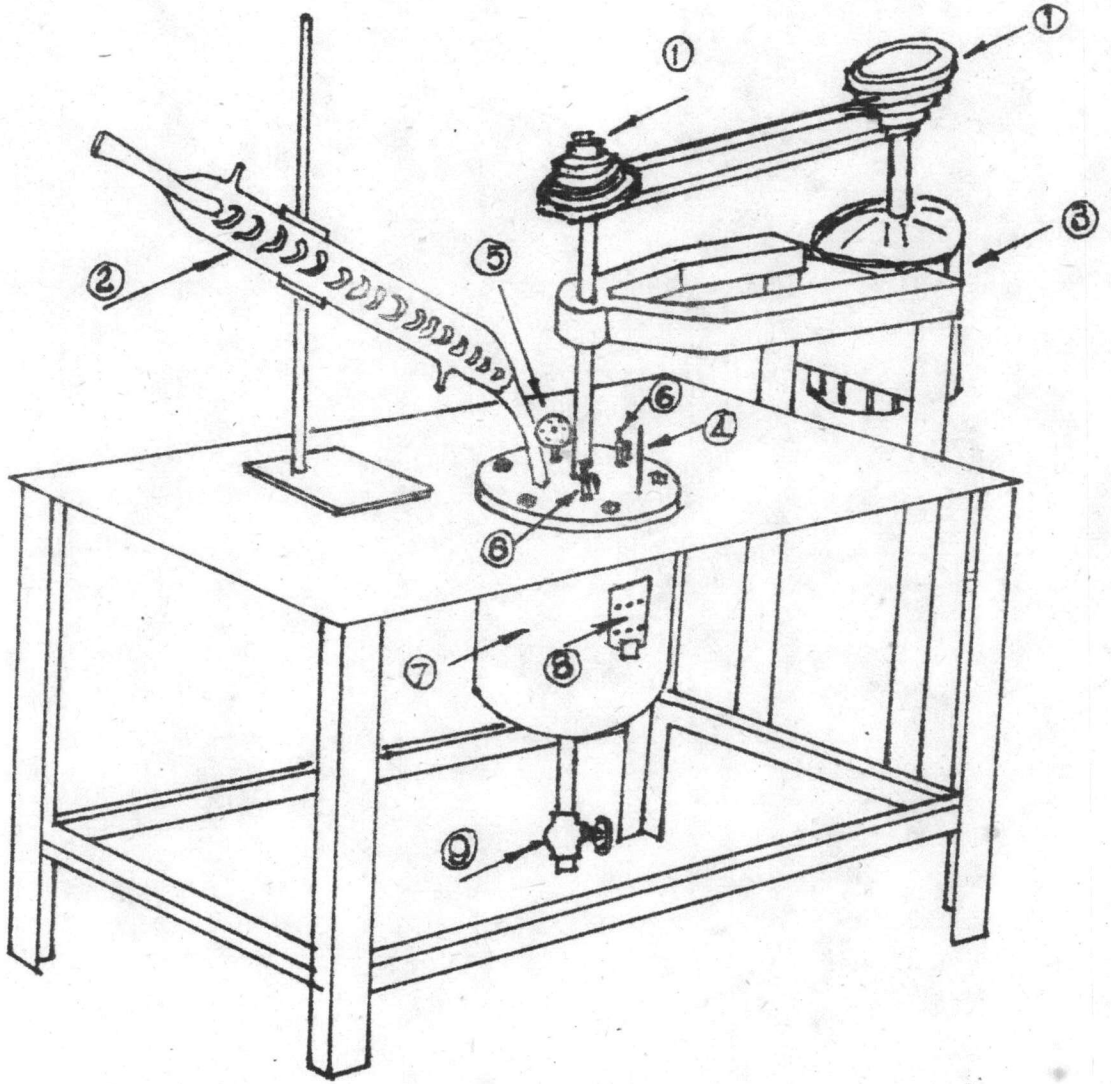


หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

	DIGESTER INCH.	JACKER INCH
A	11	13
B	6	10
C	8 1/2	13
D	1/2	1/16
E	3/4	1
F	3/8 x 6	1/2 x 5
G	1/4	3/32
H	3 7/8	5 1/2

Material: Stainless Steel

รูปที่ 4 - 2 แบบของตัวเครื่องย่อยแร่ และส่วนหุ้มห่อภายนอก



① Pulleys
② Condenser
③ ¼ HP. 3ø induction Motor
④ Thermometer
⑤ Pressure guage
⑥ Safety Valves
⑦ Reactor
⑧ Switch cut out
⑨ Release Valve

รูปที่ 4 - 3 เครื่องย่อยแร่โมนาไซท์

ตัวอย่างแร่โมนาไซท์และผลผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ นั้นวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้คือ Pm 147/Al ปริมาณ 500 mCi มีชีวิตครึ่ง 2.62 ปี รังสีที่ให้เป็น Bremsstrahlung ซึ่งมีพลังงานระหว่าง 10-100 keV สารมาตรฐานที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้จากการผสมสารเคมีจำพวกออกไซด์ของสารประกอบชนิดต่าง ๆ ที่ทราบชนิดและปริมาณโดยแน่นอน หัววัดรังสีเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด Hyper Pure Germanium มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับวัดโฟตอนพลังงานต่ำ หรือระดับรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุ ช่วงที่ใช้งานได้ดีที่สุดคือช่วงพลังงาน 10-58 keV.

เครื่องวัดรังสีเอกซ์มีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้

1. CANBERRA Series 7100 Hp Ge Detector Systems
   - 1.1 Hyper Pure Germanium Detector Model 7105
   - 1.2 Cryostat Model 7500 P-17
   - 1.3 Preamplifier Model 1708
   - 1.4 Liquid Nitrogen reservoir dewar
2. CANBERRA Model 3005 5 kV Power Supply
3. ORTEC Model 410 Linear Amplifier
4. CANBERRA Model 8180 Multichannel Analyzer
5. Teletype Typewriter

สำหรับวิธีวิเคราะห์เป็นไปตามหลักการวิเคราะห์โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์[11] ส่วนปริมาณธาตุในสารตัวอย่างคำนวนได้จากการเปรียบเทียบพีคของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุในสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน ดังสมการ

$$W = W_S \frac{A}{A_S}$$

เมื่อ W = น้ำหนักหรือปริมาณร้อยละของธาตุในสารตัวอย่าง

W_S = น้ำหนักหรือปริมาณร้อยละของธาตุในสารมาตรฐาน

A = พื้นที่ใต้พีคของแต่ละธาตุในสารตัวอย่าง

A_S = พื้นที่ใต้พีคของธาตุนั้นในสารมาตรฐาน