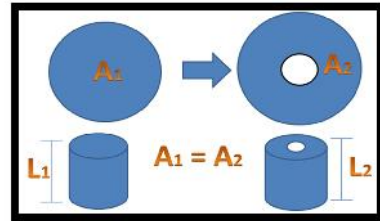
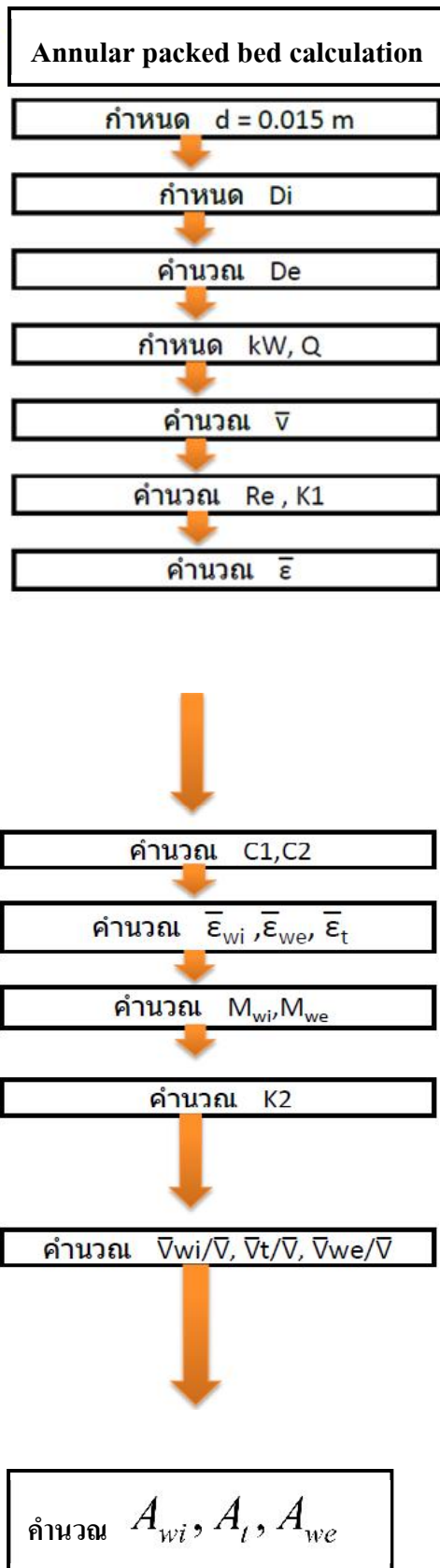


## บทที่ 4 การคำนวณหาขนาดมิติของเตาเผาวัสดุพูนแบบวงแหวน

การคำนวณหาขนาดและความสูงของ Packed bed ( $L$ ) สามารถทำนายได้จากสมการความสัมพันธ์ของ J.R. Sodre & J.A.R. Parise [21] โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาแบบวงแหวน ( $D$ ) จะออกแบบโดยให้พื้นที่การไหล (Flow area) เท่ากันกับเตาเผาที่มีการจัดเรียงตัวของ packed bed แบบ cylindrical [18] เนื่องจากต้องการนำผลที่ได้จากการทดลองของเตาเผาทั้ง 2 ชนิดนี้ไปเปรียบเทียบกัน โดยวิธีการออกแบบเตาทั้ง 2 แบบจะต้องถูกออกแบบให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกันคือค่า Pressure drop ( $\Delta P$ ) ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเดียวกันคือค่า  $\Delta P$  ที่ได้จากการวัดจากเตาแก๊สทั่วไปที่มีขนาด KB-10 โดยมีค่าตามรูปที่ 3.6 ได้แสดงค่าการวัด  $\Delta P$  ของเตาแก๊ส KB-10 ไว้ที่ FR ค่าต่างๆ ซึ่งความยาว ( $L$ ) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.12 จะเป็นค่าที่บอกว่าการออกแบบมิติ Packed bed แบบวงแหวนเหมาะสมเป็นไปตามเงื่อนไขและอยู่บนพื้นฐานเดียวกับทั้งเตาแก๊ส KB-10 และเตาเผาที่มีการจัดเรียงตัวของ packed bed แบบ cylindrical [18] และจะต้องมีความสูงไม่เกินกว่าค่าที่คำนวณได้ ถ้า  $L$  มากกว่าค่าที่คำนวณได้จะทำให้เกิด  $\Delta P$  สูงกว่าเตาแบบ KB-10 ซึ่งจะไม่เหมาะสมที่จะนำผลจากการทดลองของเตาเผาวัสดุพูนแบบวงแหวนไปเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับเตาทั้ง 2 แบบ

### กำหนดเงื่อนไขในการออกแบบคือ

1. Flow area เท่าเดิมคือเท่ากับเตาเผาวัสดุพูนที่มีการจัดเรียงตัวแบบ Cylindrical packed bed
2. ใช้วัสดุพูนขนาด  $d=15$  mm ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับ Cylindrical packed bed
3. ใช้ Firing rate ในการทดลองเหมือนกัน
4. ใช้ Pressure drop ของเตาแก๊ส KB-10 เป็นพื้นฐานในการออกแบบ
5. ใช้ Nozzle ขนาดเดียวกันคือ 1.5 mm



$$De = \sqrt{0.15^2 + Di^2}$$

$$\bar{v} = \frac{Q}{A_b}$$

$$Re = \frac{\rho \bar{v} d}{\mu}$$

$$K_1 = \frac{150}{3.5 Re}$$

$$\epsilon(r) = \epsilon_{\infty} [1 + c_1 e^{-c_2(r-r_i)/d}], \quad r_i \leq r \leq \frac{r_e + r_i}{2}$$

$$\epsilon(r) = \epsilon_{\infty} [1 + c_1 e^{-c_2(r_e-r)/d}], \quad \frac{r_e + r_i}{2} \leq r \leq r_e$$

$$c_1 = \frac{1}{\epsilon_{\infty}} - 1$$

$$c_2 = \frac{2c_1 \epsilon_{\infty} d [1 - e^{-c_2(r_e-r_i)/2d}]}{(\bar{\epsilon} - \epsilon_{\infty})(r_e - r_i)}$$

$$\bar{\epsilon}_{wi} = \frac{1}{A_{wi}} \int_{r_i}^{r_i+d} \epsilon(r) 2\pi r dr$$

$$\bar{\epsilon}_{we} = \frac{1}{A_{we}} \int_{r_e-d}^{r_e} \epsilon(r) 2\pi r dr$$

$$M_{wi} = 1 + \frac{D_i}{6(D_i + d)(1 - \bar{\epsilon}_{wi})}$$

$$M_{we} = 1 + \frac{D_e}{6(D_e - d)(1 - \bar{\epsilon}_{we})}$$

$$K_2 = [1 + 2K_1(1 - \bar{\epsilon})] \frac{(1 - \bar{\epsilon})}{\bar{\epsilon}^3}$$

$$\frac{\bar{v}_{wi}}{\bar{v}} = -K_1(1 - \bar{\epsilon}_{wi})M_{wi} + [K_1^2(1 - \bar{\epsilon}_{wi})^2 M_{wi}^2 + K_2 \frac{\bar{\epsilon}_{wi}^3}{1 - \bar{\epsilon}_{wi}} \frac{1}{M_{wi}}]^{1/2}$$

$$\frac{\bar{v}_{we}}{\bar{v}} = -K_1(1 - \bar{\epsilon}_{we})M_{we} + [K_1^2(1 - \bar{\epsilon}_{we})^2 M_{we}^2 + K_2 \frac{\bar{\epsilon}_{we}^3}{1 - \bar{\epsilon}_{we}} \frac{1}{M_{we}}]^{1/2}$$

$$\frac{\bar{v}_t}{\bar{v}} = -K_1(1 - \bar{\epsilon}_t) + [K_1^2(1 - \bar{\epsilon}_t)^2 + K_2 \frac{\bar{\epsilon}_t^3}{1 - \bar{\epsilon}_t}]^{1/2}$$

$$A_{wi} = \pi[(r_i + d)^2 - r_i^2]$$

$$A_{we} = \pi[r_e^2 - (r_e - d)^2]$$

$$A_t = \pi[(r_e - d)^2 - (r_i + d)^2]$$

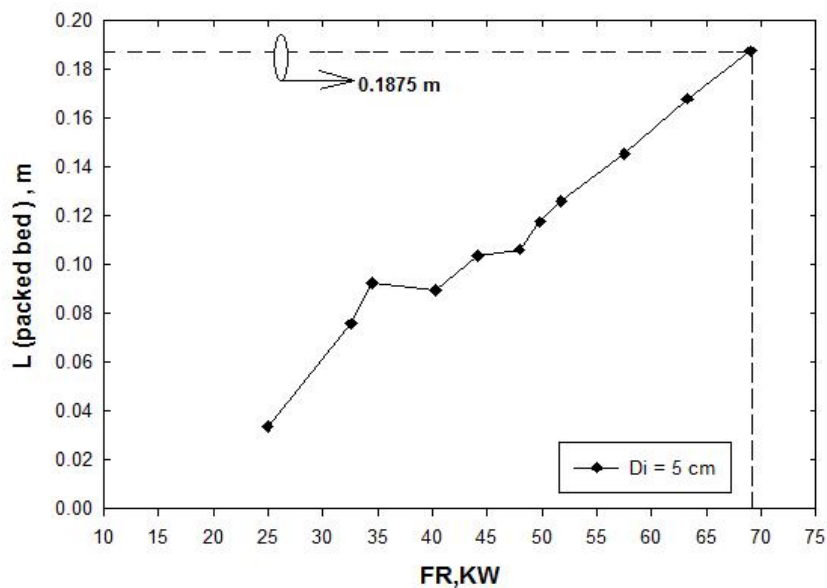
คำนวณค่า C หรือ Correction

$$C = \frac{\bar{v}_c}{\bar{v}} = \frac{\bar{v}_{wi} A_{wi}}{\bar{v} A_b} + \frac{\bar{v}_t A_t}{\bar{v} A_b} + \frac{\bar{v}_{we} A_{we}}{\bar{v} A_b}$$



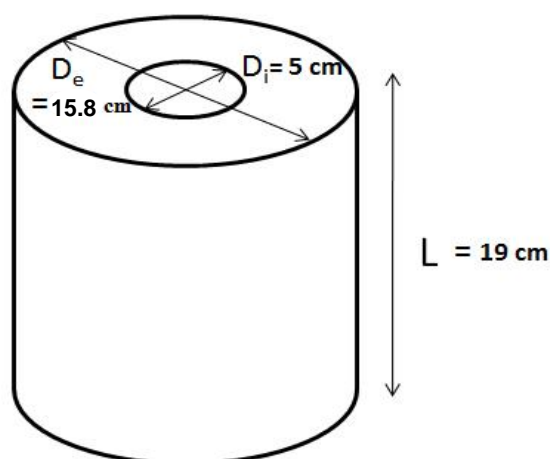
$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{\mu (1 - \bar{\epsilon})^2}{d^2 \bar{\epsilon}^3} (C\bar{V}) + 1.75 \frac{\rho}{d} \left( \frac{1 - \bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}^3} \right) (C\bar{V})^2$$

ในการคำนวณออกแบบมิติของเตาหรือความสูงของ packed bed จะต้องเริ่มจากการกำหนดขนาดของรูทางเข้าของ Secondary air ( $D_i$ ) ที่เหมาะสมเป็นขั้นตอนแรกเพื่อหาขนาดความสูงของ Packed bed ( $L$ ) โดยขนาดของ  $D_i$  ที่มากที่สุดที่จะเป็นไปได้คือ  $D_i = 7$  cm. เพราะจะทำให้สามารถจัดเรียงวัสดุพูนขนาด  $d = 15$  mm ในแนวรัศมีได้ 3 เม็ดซึ่งให้ขึ้นไปตามทฤษฎีการแบ่ง region ภายใน Annular packed bed ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (การจัดวางเม็ดวัสดุพูนในแนวรัศมีจะต้องจัดวางไม่ต่ำกว่า 3 เม็ด) และในที่นี่จะเลือกขนาด  $D_i$  เท่ากับ 5 cm. เนื่องจากต้องเผื่อความหนาของปูนทนไฟในการหล่อเตาด้วย เมื่อได้ขนาด  $D_i = 5$  cm ก็จะได้ขนาดของ  $L$  ที่ FR ต่างๆ โดยค่า  $L$  ที่ FR สูงสุด จะเป็นความสูงที่มากที่สุดของ Packed bed ที่สามารถสร้างได้ จะสร้างเกินนี้ไม่ได้ เนื่องจากจะทำให้  $\Delta P$  ของเตามากกว่า  $\Delta P$  ของ FR ที่ป้อนในการทดลองจริงและจะเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเตาเผาจริงเนื่องจากจะต้องทำการทดลองเตาที่ค่า FR สูงสุดที่ประมาณ 69 KW



รูปที่ 4.1 ขนาดความสูงของ Annular packed bed ที่ FR ต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 แสดงขนาดความสูงของ packed bed ที่คำนวณได้ที่ค่า FR ต่างๆ โดยกำหนดขนาดรูทางเข้าไว้ที่ 5cm ซึ่งจะเห็นว่าที่ความสูงของ packed bed ที่จะนำไปใช้คือ 0.1875 m หรือ 18.75 cm แต่ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการกรรมวิธีการสร้างจึงกำหนดให้ความสูงของ packed bed เท่ากับ 19 cm ดังนั้นสรุปว่าจะได้ขนาดมิติของเตาที่มีการจัดเรียง Packed Bed แบบวงแหวน (Annular Bed Porous Burner) ซึ่งจะมีขนาดของ Packed bed ดังนี้ขนาดรูทางเข้า secondary air ( $D_i$ ) = 5 cm ,ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาหรือ packed bed ( $D_e$ ) = 15.8 cm และความสูงของเตาหรือ packed bed ( $L$ )=19 cm. ดังรูปที่ 4.2 และจะได้รูปร่างเตาที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตและสั่งสร้างจริงตามรูปที่ 4.3 ซึ่งรายละเอียดการให้ขนาดและมิติต่างๆ สามารถดูได้ตามที่แสดงไว้ในภาคผนวก ซ

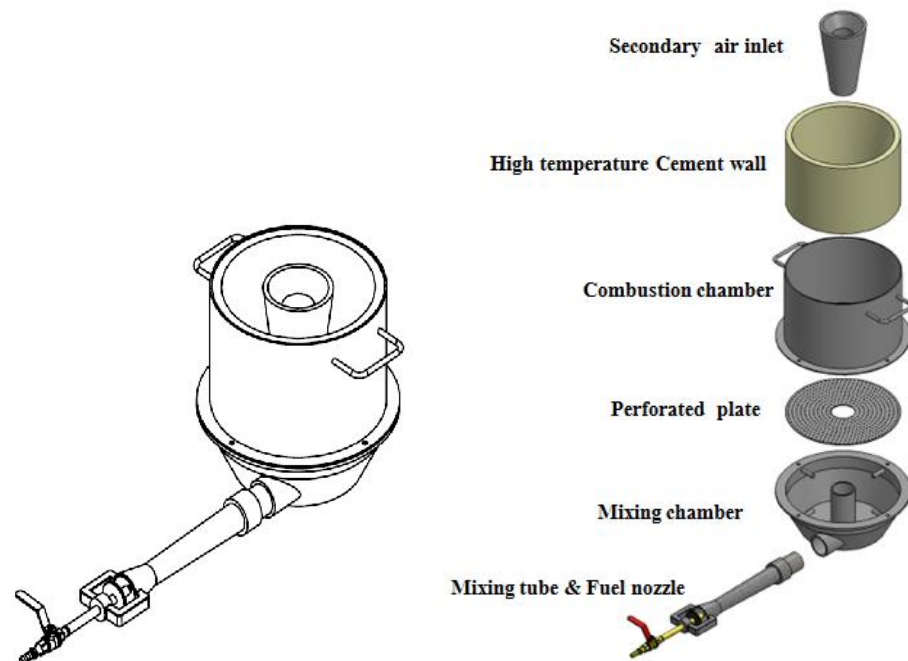


รูปที่ 4.2 ขนาดมิติของเตาเผาวัสดุพูนที่มีการจัดเรียงตัวแบบวงแหวน (Annular packed bed)

การคำนวณหาขนาดของเม็ดวัสดุพูนที่ใช้เป็นตัวกลางในการเผาไหม้ในเตาเผาแบบวงแหวนนี้จะใช้ค่า Peclet Number ( $Pe$ ) [22] ตามสมการที่ 3.1 เป็นตัวกำหนดขนาดซึ่งค่า  $Pe$  ที่ใช้ออกแบบชั้นของวัสดุพูนมีค่าวิกฤตอยู่ที่ 65 นั่นคือถ้า  $Pe < 65$  จะไม่มีเกิดการติดไฟ เพราะวาขนาดของโพรงหรือรูภายในวัสดุพูนมีค่าน้อยมาก ทำให้เกิด quenching effect ขึ้นภายในวัสดุพูน จึงเป็นเหตุทำให้เปลวไฟไม่สามารถติดหรือลามได้ ซึ่งเหมาะกับการออกแบบชั้นวัสดุพูนที่ใช้ในส่วนผสม และ เปลวไฟสามารถติดและลามในชั้นวัสดุพูนได้เมื่อ  $Pe > 65$  ดังนั้นจากการคำนวณจะได้ขนาดวัสดุพูนที่ใช้สำหรับเตานี้ต้องมีขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางมากกว่า 3.5 mm ในที่นี้จึงเลือกขนาดที่เหมาะสมคือ 15 mm ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับงานวิจัยของ W. Yoksenakul [18]

ตะแกรงเหล็กที่มีรูขนาดเล็กมีหน้าที่ช่วยทำให้การไหลของส่วนผสมมีความสม่ำเสมอและป้องกันการเกิด Flash back ของเปลวไฟไม่ให้ลามเข้าไปติดในห้องผสม โดยการคำนวณต้องให้ตะแกรงสแตนเลสมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงมีค่าน้อยกว่า Quenching distance ของ LPG ซึ่งจะใช้ Peclet number[22] เป็นตัวกำหนดขนาดและคำนวณได้จากสมการ (3.1) โดยให้ค่า  $Pe < 65$  ที่  $S_L = 0.4158$  m/s จะได้ Quenching distance  $< 3.5$  mm ดังนั้นเหล็กที่นำมาใช้ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงน้อยกว่า 3.5 mm โดยในทางปฏิบัติจะเลือกใช้ตะแกรงเหล็กหนา 3 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง 3 mm. ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด



รูปที่ 4.3 ภาพ 3 มิติแสดงรูปร่างเตาแก๊สอุปกรณ์ที่มีการจัดเรียงตัวแบบวงแหวน