รายการอ้างอิง

1. กัญจนา บุญยเกียรติ. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
2. กรรชนรรศ ชัยทัศน์. การศึกษาการเผากากของเหลวและการปล่อยมลสาร โดยใช้หัวพ่นไฟในเตาเผาขยะแบบหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2540.
3. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย Wastewater Treatment. กรุงเทพมหานคร: สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลาย, 2542.
4. ชยันต์ นาคสวัสดิ์. การศึกษาการเผาไหม้หินน้ำมันแหล่งแม่สอดด้วยระบบฟลูอิดไดซ์เบดภายใต้ความดันบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
5. เบ็ญจวรรณ วนวิชาเยนทร์. การพัฒนาระบบเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.
6. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพมหานคร: งานเอกสารและการพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2525.
7. พล สาเกทอง. ฟลูอิดไดเซชั่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
8. พล สาเกทอง. รายงานผลการวิจัยการเผาไหม้แกลบ โดยวิธีฟลูอิดไดเซชั่นและการนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
9. วรเดช เพริศพรายวงศ์. การเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ในฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
10. วสันต์ แสงจันทร์. การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
11. ศิริกุล วงศ์ประกรณ์กุล. การเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
12. ศศิวิมล สูงสว่าง. การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

13. สมบัติ นิธิฐิมณีรัตน์. การเผาไหม้ถ่านหินและการควบคุมมลพิษในฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

14. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชั่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528

15. สุวิทย์ เตีย. การเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 22,2. (พฤษภาคม-สิงหาคม 2542): 41-43.

16. อมรรัตน์ ศรีไพจิตร. การใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมกระดาษ. วารสาร กฟผ.7,1. (มกราคม-มีนาคม 2541): 10-14.

17. Baerg, A., Klassen, J. and Gishler, P.e., Can. J. Reserch (1950): 287.

18. Brown, G.G. et al. Unit Operation. New York : John Wiley and Sons, 1950.

19. Ergun, S., Chem. Eng. Progr (1952): 89

20. Frass, A.P. and Holcomb, R.S. Atmospheric Fluidized Bed Combustion Technology Test Unit For Industrial Cogeneration Plant. Washington, 1977.

21. Jhonson, E., Inst. Gas Engrs. (London), Rept (1949-1950): 179.

22. Keating and Wrigth. The Fluidized Combustion of Coal. London : Mill & Boon Limited, 1971.

23. Kharchonko. The Fluidized Combustion of Coal. London : Mill & Boon Limited, 1971.

24.Leon, A.M. and Choksey, P.J. Combustion Characteristic of antharcite culm in a Fluidized Bed. Atlanta, 1980.

25. Leva, M., Takashi, S. and Wen, C.Y., Genie Chem (1956): 33.

26. Miller, C.O. and Logwinuk, A.K. Ind. Eng. Chem (1951): 1220.

27. Perry, R., Cecil, H. and Chilton, H. Perry's Chemical Engineers Handbook. Tokyo : McGraw-Hill, 1973.

28. Pinchbeck, P.H. and Poper, F., Chem. Eng. Sci (1956): 57.

29. R. J. Reed. Nort American Combustion Handbook. Ohio, 1978.

30. Van heerden, G., Nobel, P. and Van Krevelen, D.W., Chem. Eng. Sci.(1951): 51.

31. Wen, C.Y. and Yu, Y.H., A.I. Ch.E. Journal (1966): 610.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การหาคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบด

สำหรับการหาคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบดจะทำการหาคุณสมบัติทางกายภาพของทรายที่ใช้เป็นเบดคือ สัดส่วนช่องว่าง ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า และความหนาแน่น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การหาสัดส่วนช่องว่าง (ε_m)

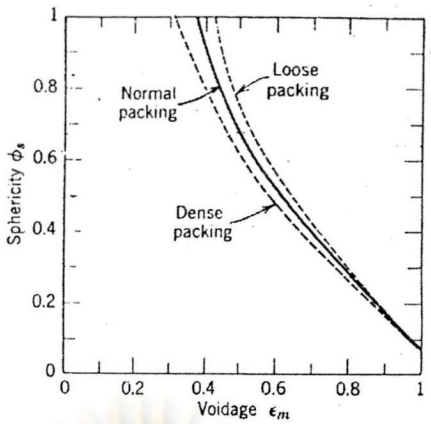
ปริมาตรของทรายรวมช่องว่าง	=	40	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ปริมาตรของนอร์มอลเฮกเซนก่อนผสมกับทราย	=	25	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ปริมาตรหลังทำการผสม	=	50	ลูกบาศก์เซนติเมตร
สัดส่วนช่องว่างของทรายที่ใช้เป็นเบด	=	[(40+25)-50]/40	
	=	0.38	

2. การหาความเป็นทรงกลมเทียบเท่า (ϕ_s)

จากการหาค่าสัดส่วนช่องว่างจะพบว่าทรายที่ใช้เป็นเบดมีสัดส่วนช่องว่าง 0.38 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ ก.1 จะพบว่าความเป็นทรงกลมเทียบเท่ามีค่า 0.97

.3 การหาค่าความหนาแน่นของทรายที่ใช้เป็นเบด (ρ_s)

น้ำหนักของทรายที่ใช้ทดลอง	=	31.28	กรัม
ปริมาตรของทรายที่ใช้ทดลอง	=	14	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่นของทราย	=	31.28/14	
	=	2.23	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
	=	2,230	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนช่องว่างกับความเป็นทรงกลมเทียบเท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่น

สำหรับวิธีการคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่นนั้นในเบื้องต้นต้องทำการร่อนทรายด้วยตะแกรงร่อนขนาดมาตรฐานเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ใช้เป็นเบด จากนั้นทำการหาสัดส่วนของน้ำหนักทรายที่มีขนาดแตกต่างกันหลังจากนั้นทำการหาอัตราส่วนระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณต่อไป สำหรับการทดลองร่อนทรายด้วยตะแกรงร่อนขนาดมาตรฐานได้ผลดังนี้

ขนาดตะแกรง (เมช)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย D_{pi}(ไมครอน)	น้ำหนักทราย (กรัม)	สัดส่วนน้ำหนัก X_i	X_i/D_{pi}
20-30	725	86.47	0.097	1.338×10^{-4}
30-35	550	59.42	0.067	1.218×10^{-4}
35-40	462.5	49.22	0.055	1.189×10^{-4}
40-45	390	48.58	0.055	1.410×10^{-4}
45-50	327.5	643.79	0.725	22.137×10^{-4}
			รวม $\Sigma(X_i/D_{pi})$	27.292×10^{-4}

รายละเอียดการคำนวณมีดังต่อไปนี้

เพราะว่า $D_p = 1/\Sigma (x_i / D_{pi})$

ดังนั้นจะได้ว่า $D_p = 1/(27.292\times10^{-4})$

$= 366.41$ ไมครอน

$= 0.036641$ เซนติเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการที่ (3.3.6)

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s D_p)^2}{150} \frac{\rho_s - \rho_g}{\mu} g_c \frac{(\varepsilon_{mf}^3)}{1-\varepsilon_{mf}}$$

เมื่อ $Re < 20$

ในการทดลองกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคืออุณหภูมิห้องที่ 33 °C ความดัน 1 บรรยากาศ จะพบว่า ค่าความหนาแน่นของอากาศและค่าความหนืดของอากาศมีค่าดังต่อไปนี้คือ

ความหนาแน่นของอากาศ	ρ_g =	0.00115	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
	=	1.15	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ความหนืดของอากาศ	μ_g =	0.00185	เซนติพอยส์
	=	1.85×10^{-4}	กรัม/เซนติเมตร.วินาที

และสำหรับทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.036641 เซนติเมตร จากหนังสือ Engineering Handbook Perry [27] จะพบว่ามีค่าเทอม $\frac{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2}{(1-\varepsilon_{mf})}$ คือ

$$\frac{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2}{(1-\varepsilon_{mf})} = 0.1258$$

สำหรับค่า g_c มีค่าคือ

g_c =	980	เซนติเมตร/วินาที^{2}
=	9.8	เมตร/วินาที^{2}

เมื่อนำค่าทั้งหมดที่ได้คือค่า ϕ_s, ρ_s, ρ_g, μ_g และค่าของเทอม $\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2 / (1-\varepsilon_{mf})$ มาแทนลงในสมการที่ (3.3.6) จะพบว่ามีค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่นได้คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$U_{mf} = \frac{(0.97\times0.036641)^2(2.234-0.00115)(980)(0.1258)}{150(0.000185)}$$

$$= 12.53 \quad \text{เซนติเมตร/วินาที}$$

$$= 0.125 \quad \text{เมตร/วินาที}$$

จากนั้นทดสอบหาค่า Re โดย

$$Re = D_p U_{mf} \rho_g / \mu_g$$

จะพบว่าค่า Re ที่คำนวณได้คือ

$$Re = \frac{0.0366408(12.531)(0.00115)}{0.00185}$$

$$= 2.854$$

ซึ่งค่า Re ดังกล่าวอยู่ในขอบเขตที่กำหนดคือ $Re < 20$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การหาค่าความเร็วตกอิสระของของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่ง

สำหรับการหาค่าความเร็วตกอิสระของของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่งนั้นสามารถทำได้โดยการคำนวณตามสมการที่ (3.3.25) คือ

$$U_t = \left| \frac{4(\rho_s - \rho_f)^2 g_c^2}{225\rho_s \mu} \right|^{\frac{1}{3}} D_p \qquad \text{สำหรับ } 0.4 < Re_p < 500$$

ซึ่ง ρ_f มีค่าเท่ากับ ρ_g เพราะของไหลในที่นี้คืออากาศเมื่อทำการแทนค่าต่างๆลงไปในสมการแล้วจะพบว่าค่าความเร็วตกอิสระของของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่งคือ

$$U_t = \frac{[4(2{,}230\text{-}1.15)^2(9.8)^2]^{1/3}(0.00036641)}{[(225)(1.15)(0.0000185)]^{1/3}}$$

$$= 2.7 \qquad \text{เมตร/วินาที}$$

สำหรับค่า Re_p ที่ความเร็วตกอิสระสามารถหาได้จาก

$$Re_p = \frac{D_p \rho_f U_t}{\mu}$$

เมื่อแทนค่าต่างๆแล้วจะพบว่าค่า Re_p มีค่าคือ

$$Re_p = \frac{(0.00036641)(1.15)(2.7)}{0.0000185}$$

$$= 61.50$$

ซึ่งค่า Re_p ดังกล่าวอยู่ในขอบเขตที่กำหนดคือ $0.4 < Re_p < 500$

ภาคผนวก ง

การหาค่าความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่น

โดยทั่วไปแล้วนั้นค่าความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่นจะมีค่าประมาณ 2-5 เท่าของค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่นดังนั้นจากภาคผนวก ข จะพบว่าค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่นนั้นมีค่าคือ

$$U_{mf} = 0.125 \quad \text{เมตร/วินาที}$$

ดังนั้นค่าความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่นซึ่งมีค่าประมาณ 2-5 เท่าของค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่นได้ก็คือ

$$\begin{aligned} U_f &= 2 \times U_{mf} \\ &= 2 \times 0.125 \\ &= 0.25 \quad \text{เมตร/วินาที} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} U_f &= 5 \times U_{mf} \\ &= 5 \times 0.125 \\ &= 0.63 \quad \text{เมตร/วินาที} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะพบว่าค่าความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.63 เซนติเมตร/วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สมดุลมวลสาร

สำหรับตัวอย่างการทำสมดุลมวลสารจะใช้ผลการทดลองการเผากากตะกอนจากกระบวนการผลิตกระดาษในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 850±10 °C ครั้งที่ 1 โดยใช้ฐานการคำนวณในเวลา 1 นาทีซึ่งรายละเอียดการคำนวณมีดังต่อไปนี้

มวลสารทางเข้าประกอบด้วย

1. น้ำหนักของกากตะกอน 666 กรัม
2. น้ำหนักของน้ำในกากตะกอน

กากตะกอนหลังจากทำการตากแห้งแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงพบว่ามีความชื้น 15% ดังนั้น

น้ำในกากตะกอน = (15×666)/100

= 99.9 กรัม

ดังนั้นจะมีกากตะกอนแห้งคือ

กากตะกอนแห้ง = 666-99.9

= 566.1 กรัม

3. น้ำหนักอากาศ

อัตราการไหลของอากาศ = 1.6 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

$$(V_1 \times P_1)/T_1 = (V_2 \times P_2)/T_2$$

เนื่องจาก $P_1 = P_2$ = ความดันบรรยากาศ

$V_1 = 1.6$ ลูกบาศก์เมตร

$T_1 = 273$ K

$T_2 = 273 + 33$

$= 306$ K

แทนค่าต่างๆลงในสมการจะได้ค่า V_2 คือ

$V_2 = 1.79$ ลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากอากาศที่สภาวะมาตรฐาน 1 กรัม-โมล มีปริมาตร 0.0224 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจำนวนกรัม-โมลของอากาศที่ทางเข้ามีค่าคือ

$1.79/0.0224 = 79.91$ กรัม-โมล

ดังนั้นในอากาศมีไนโตรเจนและออกซิเจนคือ

ไนโตรเจนในอากาศ $= 79.91 \times 0.79$

$= 63.13$ กรัม-โมล

$= 63.13 \times 28$

$= 1,767.64$ กรัม

ออกซิเจนในอากาศ $= 79.91 \times 0.21$

$= 16.78$ กรัม-โมล

$= 16.78 \times 32$

$= 536.96$ กรัม

ดังนั้นน้ำหนักของอากาศทางเข้าทั้งหมดมีค่าคือ

น้ำหนักอากาศทางเข้า $= 1,767.64+536.96$

$= 2,304.6$ กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นเมื่อรวมน้ำหนักของมวลสารทางเข้าทั้งหมดจะมีค่าคือ

น้ำหนักมวลสารทางเข้าทั้งหมด = 2,304.6+666

= 2,970.6 กรัม

มวลสารทางออกประกอบด้วย

1. น้ำหนักของก๊าซและน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้

เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย ดังนั้นจำนวนกรัม-โมล ของก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าจึงเท่ากับจำนวนกรัม-โมล ที่ทางออกจะได้ว่าจำนวนกรัม-โมล ของก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกมีค่าคือ

จำนวนกรัม-โมลของก๊าซไนโตรเจนที่ทางออก = 63.13 กรัม-โมล

และเมื่อใช้ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 850±10 °C ครั้งที่ 1 จะพบว่าส่วนประกอบของก๊าซและน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้มีดังตารางต่อไปนี้

ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้	อัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตร	จำนวนกรัม-โมล	น้ำหนัก(กรัม)
ออกซิเจน	18.4	15.57	498.24
คาร์บอนไดออกไซด์	6.5	5.5	242
คาร์บอนมอนอกไซด์	0.1	0.08	2.24
ไนโตรเจน	74.6	63.13	1,767.64
น้ำ	0.4	0.34	6.12
รวมส่วนประกอบก๊าซจากการเผาไหม้	99.6	84.28	2,510.12
รวมส่วนประกอบก๊าซจากการเผาไหม้และน้ำ	100	84.62	2,516.24

2. น้ำหนักของเถ้า

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของเถ้ามีค่า = 202.5 กรัม

ดังนั้นเมื่อรวมน้ำหนักของมวลสารทางออกทั้งหมดจะมีค่าคือ

น้ำหนักของมวลสารทางออกทั้งหมด = 2,516.24+202.5

= 2,718.74 กรัม

เมื่อนำน้ำหนักของมวลสารที่ทางเข้าและทางออกมาเขียนตารางสมดุลมวลสารจะได้ดังนี้

น้ำหนักของมวลสารทางเข้า (กรัม)		น้ำหนักของมวลสารทางออก (กรัม)	
น้ำหนักของกากตะกอน	666	น้ำหนักของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้	2,510.12
น้ำหนักของอากาศ	2,304.6	น้ำหนักของน้ำ	6.12
		น้ำหนักของเถ้า	202.5
		น้ำหนักที่สูญเสีย	251.86
รวม	2,970.6	รวม	2,970.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

สมดุลพลังงานความร้อน

สำหรับตัวอย่างการทำสมดุลพลังงานความร้อนจะใช้ผลการทดลองการเผากากตะกอนจากกระบวนการผลิตกระดาษในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 850±10 °C ครั้งที่ 1 โดยใช้ฐานการคำนวณในเวลา 1 นาทีเช่นเดียวกับการทำสมดุลมวลสารซึ่งรายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

พลังงานความร้อนทางเข้า

1. พลังงานความร้อนจากกากตะกอน

เนื่องจากความชื้นของกากตะกอนหลังจากทำการตากแห้งแล้วมีค่า 15% ดังนั้นจะพบว่ามีคุณค่าทางความร้อนคือ

คุณค่าทางความร้อน = 483/(1-0.709)

= 1,665.52 แคลอรี่

Q_{sludge} = (1-% sludge dry)(HV)(flow rate)

= (1-0.15)(1,665.52)(666)

= 942,850.87 แคลอรี่

= 3,944.88 กิโลจูล

2. พลังงานความร้อนจากอากาศที่ป้อน

จากการสมดุลมวลสารจะได้ว่าอัตราการป้อนอากาศคือ

อัตราการป้อนอากาศ = 2,304.6 กรัม

= 2.3 กิโลกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

สมดุลพลังงานความร้อน

สำหรับตัวอย่างการทำสมดุลพลังงานความร้อนจะใช้ผลการทดลองการเผากากตะกอนจากกระบวนการผลิตกระดาษในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 850±10 °C ครั้งที่ 1 โดยใช้ฐานการคำนวณในเวลา 1 นาทีเช่นเดียวกับการทำสมดุลมวลสารซึ่งรายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

พลังงานความร้อนทางเข้า

1. พลังงานความร้อนจากกากตะกอน

เนื่องจากความชื้นของกากตะกอนหลังจากทำการตากแห้งแล้วมีค่า 15% ดังนั้นจะพบว่ามีคุณค่าทางความร้อนคือ

คุณค่าทางความร้อน = 483/(1-0.709)

= 1,665.52 แคลอรี่

Q_{sludge} = (1-% sludge dry)(HV)(flow rate)

= (1-0.15)(1,665.52)(666)

= 942,850.87 แคลอรี่

= 3,944.88 กิโลจูล

2. พลังงานความร้อนจากอากาศที่ป้อน

จากการสมดุลมวลสารจะได้ว่าอัตราการป้อนอากาศคือ

อัตราการป้อนอากาศ = 2,304.6 กรัม

= 2.3 กิโลกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นพลังงานความร้อนจากอากาศที่ป้อนคือ

$$Q_{air} = (2.3)(\text{เอนทาลปีของอากาศที่ } 33\ ^\circ C)$$
$$= 705.2 \quad \text{กิโลจูล}$$

ดังนั้นเมื่อรวมพลังงานความร้อนทางเข้าทั้งหมดจะมีค่าคือ

$$Q_{input} = 3,944.88+705.2$$
$$= 4,650.08 \quad \text{กิโลจูล}$$

พลังงานความร้อนทางออก

1. พลังงานความร้อนจากเถ้า

$$Q_{ash} = (202.5)(825.92)$$
$$= 699.77 \quad \text{กิโลจูล}$$

2. พลังงานความร้อนจากก๊าซเสีย (อุณหภูมิ 446 °C)

ในก๊าซเสียมีส่วนประกอบคือ H_2O, O_2, CO_2, CO และ N_2

จากกฎของก๊าซอุดมคติจะได้ว่า

$$(V_1)/T_1 = (V_2)/T_2$$

เมื่อ $V_1 = 1.6$ ลูกบาศก์เมตร

$T_1 = 33$

$= 306$ K

$T_2 = 446$

$= 719$ K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำค่าดังกล่าวแทนลงในสมการจะได้ว่า

$$V_2 = (719/306)\times 1.6$$

$$= 3.76 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

mass flow rate ของ H_2Oมีค่าคือ

$$\text{mass flow rate } H_2O = (\%H_2O)\rho V$$

$$= (0.4)(0.306)(3.76)$$

$$= 0.46 \quad \text{กิโลกรัม}$$

พลังงานความร้อนจาก H_2O

Q_{H2O} = (0.46)(เอนทาลปีของ H_2O ที่ 446 °C-เอนทาลปีของ H_2O ที่ 33 °C)

= 373.6 กิโลจูล

พลังงานความร้อนจาก O_2

mass flow rate ของ O_2มีค่าคือ

$$\text{mass flow rate } O_2 = (\%\ O_2)\rho V$$

$$= (0.184)(0.537)(3.76)$$

$$= 0.37 \quad \text{กิโลกรัม}$$

ดังนั้นพลังงานความร้อนจาก O_2 มีค่าคือ

Q_{O2} = (0.37)(เอนทาลปีของ O_2 ที่ 446 °C-เอนทาลปีของ O_2 ที่33 °C)

= 149.2 กิโลจูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลังงานความร้อนจาก CO_2

mass flow rate ของ CO_2มีค่าคือ

mass flow rate CO_2 = (% CO_2)ρV

= (0.065)(0.737)(3.76)

= 0.18 กิโลกรัม

พลังงานความร้อนจาก CO_2 มีค่าคือ

Q_{CO2} = (0.18)(เอนทาลปีของ CO_2 ที่ 446 °C-เอนทาลปีของ CO_2 ที่33 °C)

= 75.23 กิโลจูล

พลังงานความร้อนจาก N_2

มวล N_2 ทางเข้า = มวล N_2 ทางออก

ในอากาศมี N_2 = 79% โดยโมล

มวลโมเลกุลของ N_2 = 28

mass flow rate ของอากาศทางเข้า = 1,767.64 กรัม

ดังนั้นจะมี N_2 ในอากาศ = (0.79)(1,767.64)/1000

= 1.4 กิโลกรัม

พลังงานความร้อนจาก N_2 มีค่าคือ

Q_{N2} = (1.4)(เอนทาลปีของ N_2 ที่ 446 °C-เอนทาลปีของ N_2 ที่33 °C)

= 614.7 กิโลจูล

พลังงานความร้อนจาก CO

mass flow rate ของ CO มีค่าคือ

mass flow rate CO = (% CO)ρV

= (0.001)(0.469)(3.76)

= 0.002 กิโลกรัม

พลังงานความร้อนจาก CO มีค่าคือ

Q_{CO} = (0.002)(เอนทาลปีของ CO ที่ 446 °C-เอนทาลปีของ CO ที่33 °C)

= 0.89 กิโลจูล

ดังนั้นเมื่อรวมพลังงานความร้อนทางออกทั้งหมดจะมีค่าคือ

Q_{output} = 699.77+373.6+149.2+75.23+614.7+0.89

= 1,913.39 กิโลจูล

เมื่อนำพลังงานความร้อนที่ทางเข้าและทางออกมาเขียนตารางสมดุลพลังงานความร้อน จะได้ดังนี้

พลังงานความร้อนทางเข้า (กิโลจูล)		พลังงานความร้อนทางออก (กิโลจูล)	
พลังงานความร้อนจากกากตะกอน	3,944.88	พลังงานความร้อนจากเถ้า	699.77
พลังงานความร้อนจากอากาศ	705.2	พลังงานความร้อนจาก H_2O	373.6
		พลังงานความร้อนจาก O_2	149.2
		พลังงานความร้อนจาก CO_2	75.23
		พลังงานความร้อนจาก N_2	614.7
		พลังงานความร้อนจาก CO	0.89
		พลังงานความร้อนสูญเสีย	2,736.69
รวม	4,650.08	รวม	4,650.08

ภาคผนวก ช

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้

จากข้อมูลของการสมดุลพลังงานสามารถนำค่าจากข้อมูลต่างๆมาหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้กล่าวคือ

$$\eta = \frac{(Q_{in}-Q_{ash}-Q_{co}) \times 100}{Q_{in}}$$

โดยที่ η = ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)

Q_{in} = ค่าความร้อนที่ให้กับระบบ (กิโลจูล)

Q_{ash} = ค่าความร้อนของเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ (กิโลจูล)

Q_{co} = ค่าความร้อนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (กิโลจูล)

ดังนั้นเมื่อแทนค่าต่างๆลงไปในสมการจะได้ว่า

$$\eta = \frac{(4{,}650.08-699.77-0.89) \times 100}{4{,}650.08}$$

$$= 84.93\ \%$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	เรือเอกธนพงษ์ สุริเย
วัน/เดือน/ปีเกิด	24 กรกฎาคม 2516
การศึกษา	2540 วศ.บ.(เครื่องกลเรือ) โรงเรียนนายเรือ
	2546 วศ.ม.(เครื่องกล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
การทำงาน	นายช่างกล เรือหลวงอ่างทอง กองเรือยกพลขึ้นบก
	กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ
	นายช่างกล เรือหลวงมกุฎราชกุมาร กองเรือตรวจอ่าว กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ
	รองต้นกล เรือหลวงมกุฎราชกุมาร กองเรือตรวจอ่าว กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย