12. วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาเผาอิฐ

12.1 การคำนวณหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐ

พลังงานจำเพาะคือ ความร้อนที่ใช้เผาอิฐต่อหน่วยน้ำหนักอิฐสุก พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐเป็นข้อมูลสำคัญที่จะบ่งชี้ว่าเตาเผาอิฐที่ใช้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานมากน้อยเพียงใด สามารถนำไปเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐแบบต่างๆได้ การคำนวณค่าพลังงานจำเพาะจะคำนวณจากพลังงานของไม้ฟืนที่ป้อนให้เตาทั้งหมดตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการเผาในเตาเตาหนึ่งต่อน้ำหนักอิฐสุกที่ได้จากการเผา

$$Q_t = m_f \times HV \qquad , \qquad E_s = \frac{Q_t}{m_b}$$

โดยที่ Q_t = พลังงานจากไม้ฟืนทั้งหมด (kJ)

E_s = พลังงานจำเพาะ (kJ/kg)

m_f = น้ำหนักไม้ฟืนที่ใช้ทั้งหมด (kg)

HV = ค่าความร้อนของไม้ฟืนที่สัดส่วนความชื้นไม้ที่ใช้เผา (kJ/kg)

m_b = น้ำหนักอิฐสุก (kg)

สำหรับค่าความร้อนของไม้ฟืนขึ้นอยู่กับสัดส่วนความชื้นในไม้ฟืนแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ค่าความร้อนของไม้ฟืนตามสัดส่วนความชื้น

ความชื้นไม้ (% ฐานแห้ง)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
11.1	16240
17.6	15200
25	14140
33.3	13100
42.8	12050
53.8	11000
66.6	9960
81.8	8910
100	7870
122.2	6450
150	5360
185.7	4270
233.3	3180
300	2090

ที่มา : Proceeding of European-Asean Conference on Combustion of Solids and Treatment of Products, 1995. pp. E-30.

พลังงานอื่นๆที่ใช้ในกระบวนการเผาอิฐได้แก่พลังงานที่ต้องใช้ในการขับพัดลมดูดอากาศ เพื่อระบายไอเสียออกจากเตา

- กรณีใช้เครื่องยนต์ดีเซลขับพัดลมดูด

พลังงานที่ใช้ (Q_D) = ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล x ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 36.42 MJ/litre

พลังงานจำเพาะรวม $E_{st} = \frac{Q_f + Q_D}{m_b}$

- กรณีใช้ไฟฟ้าขับพัดลมดูด

พลังงานที่ใช้ (Q_E) = กิโลวัตต์-ชั่วโมง x 3600

= กิโลจูล

พลังงานจำเพาะรวม $E_{st} = \frac{Q_f + Q_E}{m_b}$

12.2 การคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียในแต่ละเตาระหว่างกระบวนการเผา

12.2.1 พลังงานที่สูญเสียผ่านผนัง ใช้สมการการนำความร้อนระหว่างผนังด้านในและด้านนอก มีสมการเป็น

$$Q_{wall} = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{t=1}^{j}(Ak\frac{\Delta T}{\Delta X}dt)_t\right)_i$$

โดยที่ Q_{wall} = ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (J)

A = พื้นที่สูญเสียความร้อน (m^2)

k = ค่าการนำความร้อนของผนังสองชั้นมีโพรงอากาศ (W/m K)

ΔT = ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของผนังในช่วงเวลา dt (°C)

ΔX = ความหนาของผนัง (m)

i = ผนังที่มีการสูญเสียความร้อน

j = เวลาที่สูญเสียความร้อน

dt = ช่วงเวลาที่มีการสูญเสียความร้อน (s)

การหาพลังงานสูญเสียผ่านผนังทั้งหมดใช้วิธีการหาผลรวมจากเวลาเริ่มเผาจนถึงเวลาสิ้นสุดการเผาของผนังทุกเตาที่มีการรับความร้อน ผนังที่มีการรับความร้อนและสูญเสียความร้อนผ่านได้แก่ผนังเตา, หลังคาเตา, พื้นเตา, ประตูเตาและท่อทางเดินอากาศร้อน ค่าอุณหภูมิแต่ละค่าที่ใช้ในการ

คำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาที่ถัดกัน คือ $\left(\frac{T_j + T_{j+1}}{2}\right)$

หรือคำนวณได้จากสมการการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน

สมการคือ $$Q_{wall} = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{t=1}^{j}(Ah_m\Delta Tdt)_t\right)_i$$

h_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง ($W/m^2\,^oC$)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง, h_m จะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ ผนังแนวนอนซึ่งประกอบด้วยหลังคาเตา และผนังช่องก๊าซร้อนแนวนอน (หล่อซิเมนต์ทนไฟ) ส่วนอีกกรณีหนึ่งคือผนังแนวตั้ง ประกอบด้วยผนังเตา ประตูเตา และผนังช่องก๊าซร้อนแนวตั้ง (ก่ออิฐฉาบดินทนไฟ)

สมการที่ใช้เป็นสมการการพาความร้อนแบบอิสระ

- free convection on a vertical plate [13]

เลข Nusselt, Nu_m คำนวณได้จาก

$$Nu_m = 0.68 + \frac{0.67Ra_L^{\frac{1}{4}}}{[1+(0.492/\Pr)^{\frac{9}{16}}]^{\frac{4}{9}}} \qquad 10^{-1}<Ra_L<10^{9}$$

$$Nu_m^{\frac{1}{2}} = 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{\frac{1}{6}}}{[1+(0.492/\Pr)^{\frac{9}{16}}]^{\frac{8}{27}}} \qquad 10^{-1}<Ra_L<10^{12}$$

Nu_m คือ mean Nusselt number

โดยที่ $$Ra_L = Gr_L\,\Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Ra_L คือ Rayleigh Number

Gr_L คือ Grashof Number

$\beta = 1/T_f$ ค่า ν และ α คำนวณที่ $T_f = (T_w + T_\alpha)/2$

T_w เป็นอุณหภูมิของผนังที่วัด

T_α เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคำนวณจากสมการ

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

ค่า thermal diffusivity α, ค่า kinematic viscosity ν, ค่า thermal conductivity k, ความหนาแน่น ρ และเลข Prandtl ของอากาศคำนวณจากสมการต่อไปนี้ ซึ่งได้จากตารางคุณสมบัติของอากาศ [13]

$\nu = (0.0035165T^3+0.560446T^2+6.9967T-11.571704)x10^{-6}$ m^2/s

$\alpha = (0.008424T^2+0.10188T-0.16824)x10^{-4}$ m^2/s

$k = 0.005681T+0.010934$ $W/m°C$

$\rho = \exp(1.19635-0.41723T+0.025423T^2-0.00061T^3$ kg/m^3

$Pr = -0.00024774T^3+0.00675818T^2-0.054267T+0.8159336$

โดยที่ $T = (T_a+273.15)/100$ T_a คือ อุณหภูมิของอากาศใกล้ผนังเตา

- Free convection on a horizontal plate [4]

ในที่นี้เป็นกรณีของ heated surface facing upward

$Nu_m = 0.13(Gr_L.Pr)^{1/3}$ $Gr_L.Pr<2x10^8$

$Nu_m = 0.16(Gr_L.Pr)^{1/3}$ $5x10^8<Gr_L.Pr<10^{11}$

12.2.2 พลังงานที่สะสมในเตา คือความร้อนที่ทำให้โครงสร้างของเตามีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นในแต่ละครั้งที่เผาคำนวณโดย

ใช้สมการ $Q_{kiln} = \sum_{i=1}^{n} (mC_p\Delta T)_i$

โดยที่ Q_{kiln} = ปริมาณความร้อนที่สะสมในเตาในกระบวนการเผา (kJ)

m = มวลของวัสดุที่ใช้ทำเตา (kg)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/kg °C)

ΔT = ค่าผลต่างของอุณหภูมิวัสดุที่เวลาเริ่มต้นการเผากับที่อุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการเผา (°C)

ส่วนประกอบของเตาที่มีการรับความร้อนและสะสมความร้อนได้แก่ ผนังเตา, หลังคาเตา, พื้นเตา, ประตูเตา, ผนังกั้นไฟ รถเรียงอิฐและท่อทางเดินก๊าซร้อน (ท่อผนังก่ออิฐและหล่อซิเมนต์ทนไฟ) การคำนวณจะหาผลรวมของปริมาณความร้อนที่สะสมในส่วนประกอบต่างๆของเตาดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้นของกระบวนการเผาจนถึงอุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการเผา ซึ่งค่าอุณหภูมิเหล่านี้ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโครงสร้างเตาที่รับความร้อน

12.2.3 พลังงานที่สูญเสียออกสู่ปล่อง คำนวณได้จากอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องตั้งแต่เริ่มกระบวนการเผาจนสิ้นสุดกระบวนการเผาของแต่ละเตา โดยค่าอุณหภูมิแต่ละค่าที่ใช้ในการคำนวณจะได้จากการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาที่ถัดกัน

ใช้สมการ $Q_{stack} = \sum_{t=1}^{j} \dot{m} C_p \Delta T dt$

หรือสมการ $Q_{stack} = \sum_{t=1}^{j} \dot{m}(h_e - h_i) dt$

โดยที่ Q_{stack} = ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (kJ)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

ΔT = ค่าผลต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศที่เข้าเตาและออกสู่ปล่อง (°C)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่ออกสู่ปล่อง (kJ/kg °C)

h_e = ค่าเอนทาลปีของอากาศที่ออกสู่ปล่อง (kJ/kg)

h_i = ค่าเอนทาลปีของอากาศที่เข้าเตา (kJ/kg)

12.3 พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ

พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐคำนวณจากผลต่างของพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนที่ใช้ทั้งหมดระหว่างกระบวนการเผากับพลังงานความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดระหว่างกระบวนการเผา

$Q_{bnck} = Q_t - (Q_{wall} + Q_{kiln} + Q_{stack})$

Q_{bnck} = พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ (kJ)

12.4 การคำนวณหาสัดส่วนความชื้น

12.4.1 สัดส่วนความชื้นในไม้ฟืน

สัดส่วนความชื้นในไม้ฟืนหาได้จาก

$$\frac{\text{น้ำหนักไม้ฟืนหลังการอบ - น้ำหนักไม้ฟืนก่อนการอบ}}{\text{น้ำหนักไม้ฟืนหลังการอบ}} \times 100\ \%$$

12.4.2 การหาสัดส่วนการดูดกลืนน้ำของอิฐสุก

สัดส่วนการดูดกลืนน้ำของอิฐสุกหาได้จาก

$$\frac{\text{น้ำหนักอิฐอิฐสุกก่อนแช่น้ำ - น้ำหนักอิฐสุกหลังแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักอิฐสุกก่อนแช่น้ำ}} \times 100\ \%$$