

บทที่ 4

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้ง ขานอ้อยขั้นต้น (Pre-drying)

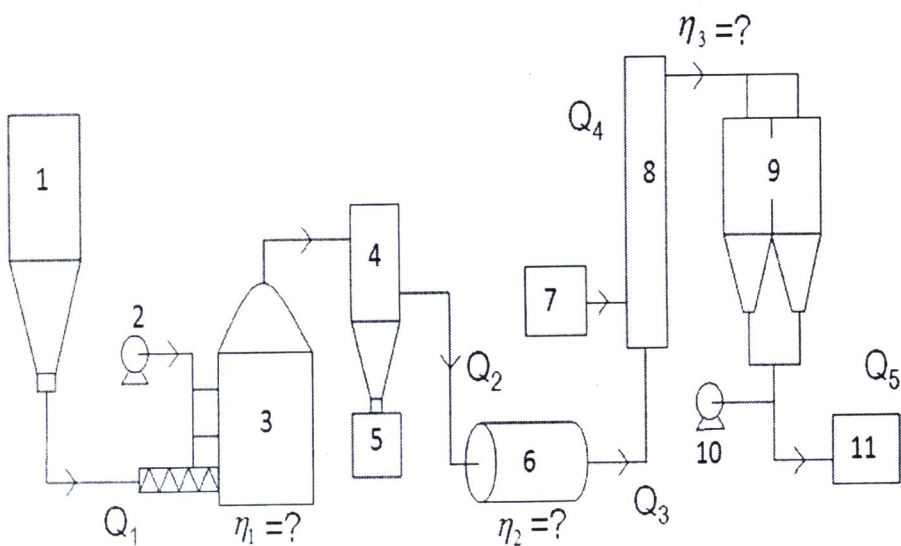
4.1 กำหนดสมมุติฐาน

- (1) เชื่อว่ามีการใช้เชื้อเพลิงฟืนขานอ้อยมากเกินไปจนทำให้เกิดความจำเป็นในการอบแห้งขั้นต้นขานอ้อย
- (2) เชื่อว่าความเร็วรอบระบบลำเลียงเชื้อเพลิงฟืนขานอ้อยเข้าเตาเผาและความชื้นของขานอ้อยในการอบไม่เหมาะสม
- (3) เชื่อว่ามีการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อนของเตาเผาเก่าเป็นจำนวนมาก

4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

การตรวจวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งขานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer) ของบริษัท พาเนล พลาสติก จำกัด ซึ่งทำการอบแห้งขานอ้อยโดยอาศัยก๊าซไอร้อนที่ผลิตจากเตาเผาชีวมวลฟืนขานอ้อยเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และการกำหนดแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่อง จึงควรแบ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- (1) การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาชีวมวลจากฟืนขานอ้อย (Furnace)
- (2) การหาประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเตาเผาเก่า (Old Furnace)
- (3) การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของช่วงการอบแห้ง (Drying process)



ภาพที่ 4.1 กระบวนการอบแห้งขานอ้อยขั้นต้น (Pre-drying)

จากภาพที่ 4.1 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพทางความร้อนของกระบวนการอบแห้งขั้นต้นนี้จะใช้หลักการหาสมดุลพลังงานความร้อน โดยประสิทธิภาพรวมของเตาอบแห้งขั้นต้น (Pre-dryer) สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{pre-dryer} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (4.1)$$

โดยที่

η_1 = ประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวลจากฟืนซานอ้อย

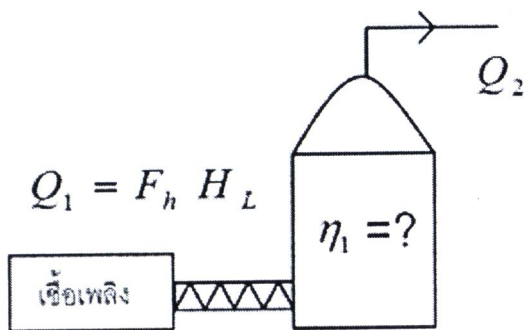
η_2 = ประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเตาเก่า

η_3 = ประสิทธิภาพทางความร้อนของช่วงการอบแห้ง

4.3 การหาประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวลจากฟืนซานอ้อย (Furnace)

จากภาพที่ 4.2 สามารถหาประสิทธิภาพของเตาเผาได้โดยการนำความร้อนออกที่จะนำไปใช้ประโยชน์หารด้วยความร้อนเข้าสู่ระบบ ดังสมการ

$$\eta_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100 \quad (4.2)$$



ภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเตาเผาชีวมวลจากฟืนซานอ้อย (Furnace)

โดยความร้อนเข้าสู่ระบบ (Q_1) จะมีเพียงความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเนื่องจากระบบการป้อน ไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิเชื้อเพลิงและอากาศเข้าเตาจึงทำให้ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิงและอากาศเป็นศูนย์ [22] ซึ่งหาได้จากสมการ

$$Q_1 = F_h H_L \quad (4.3)$$

โดยที่

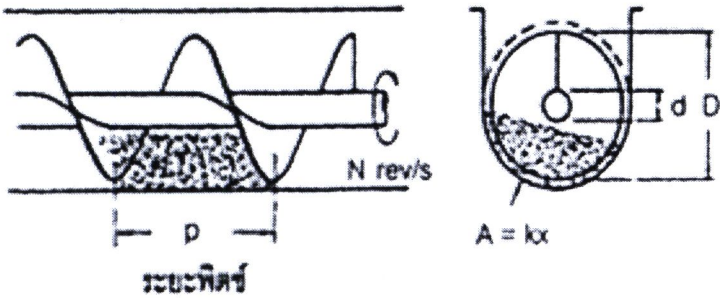
- F_h = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)
- H_L = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงแข็ง (kJ/kg)

ปริมาณเชื้อเพลิงเข้า (F_h) หาจากสูตรการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรู [23] จากระบบลำเลียงของฝุ่นขานอ้อย
คังสมการ

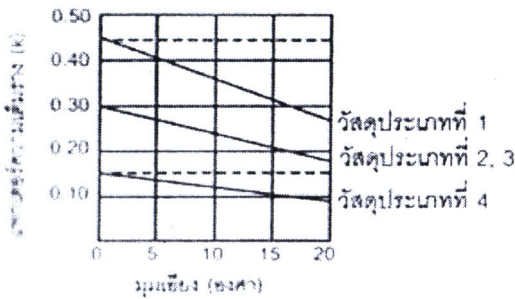
$$F_h = \rho_b \pi (D^2 - d^2) k P N \tag{4.4}$$

โดยที่

- ρ_b = ความหนาแน่นฝุ่นขานอ้อย 120 kg/m³
- D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู (m)
- d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล (m)
- k = แฟกเตอร์ความเต็มราง เท่ากับ 0.03
- P = ระยะพิตช์สกรู (m)
- N = ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)



ภาพที่ 4.3 ส่วนประกอบของสกรูป้อนเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.4 การคำนวณอัตราการขนถ่ายวัสดุ

ความร้อนออกที่จะนำไปใช้ประโยชน์ คือ ความร้อนของไอก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟูลานอ้อยภายในเตาอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะต้องมีมากเกินไปที่จะทำให้การพาความร้อนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งหาได้จาก

$$Q_2 = F_h G C p_g (T_g - T_{ref}) \tag{4.5}$$

- โดยที่
- Q_2 = ความร้อนจากไอเสีย (kJ/h)
- G = ปริมาตรไอเสียจริง (Nm³/kg)
- $C p_g$ = ความร้อนจำเพาะของไอเสีย (kJ/Nm³.°c)
- T_g = อุณหภูมิของไอเสีย (°c)
- T_{ref} = อุณหภูมิบรรยากาศ (°c)

หมายเหตุ: ความร้อนจำเพาะของก๊าซเสีย (Cp_g) มีหน่วยเป็น kJ/Nm³. °C จาก [24]

- $Cp_g = 0.332 \times 4.187$ เป็นค่าเฉลี่ย 0 – 300 °C
- $Cp_g = 0.334 \times 4.187$ เป็นค่าเฉลี่ย 0 – 400 °C
- $Cp_g = 0.337 \times 4.187$ เป็นค่าเฉลี่ย 0 – 500 °C
- Nm³ หมายถึง ปริมาตรของก๊าซที่ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

การหาค่าปริมาณไอก๊าซร้อนจริง(G) หาจาก

(1) ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี

$$\text{ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี} (A_0) = 0.5 + \left(\frac{1.01 H_L}{1000} \right) \tag{4.6}$$

(2) ปริมาณก๊าซไอเสียเชิงทฤษฎี

$$\text{ปริมาณก๊าซไอเสียเชิงทฤษฎี} (G_0) = 1.65 + \left(\frac{0.89 H_L}{1000} \right) \tag{4.7}$$

(3) ปริมาณก๊าซไอเสียจริง

$$\text{ปริมาณก๊าซไอเสียจริง} (G) = G_0 + (m - 1) A_0 \tag{4.8}$$

(4) อัตราส่วนอากาศ (m)

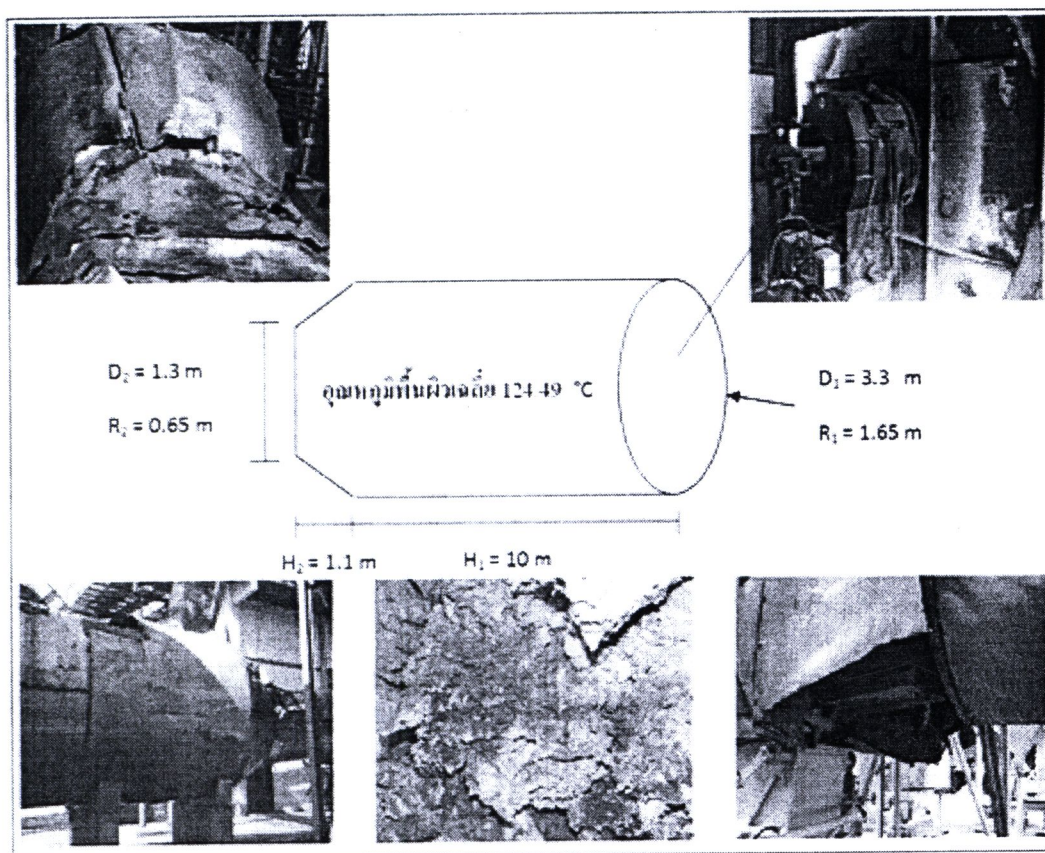
$$\text{อัตราส่วนอากาศ (m)} = \frac{21}{(21 - O_2)} \quad (4.9)$$

โดยที่ O_2 = ปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสีย (%)

4.4 การหาประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเตาเผาเก่า

สามารถหาประสิทธิภาพได้โดยการนำความร้อนออกที่จะนำไปใช้ในการอบหาวด้วยความร้อนเข้าสู่เตาเผาเก่า ดังสมการ

$$\eta_2 = \frac{Q_3}{Q_2} \times 100 \quad (4.10)$$



ภาพที่ 4.5 เตาเผาเก่า (Old furnace)

ปัจจุบันแผ่นอลูมิเนียมและฉนวนใยแก้วที่หุ้มเตาเผาเก่ามีการหุ้มชำรุดเสียหาย ซึ่งอาจเกิดจากการใช้งาน กลางแจ้งและฉนวนใยแก้วเสื่อมคุณภาพเนื่องจากมีอายุการใช้งานถึง 15 ปี เมื่อนำเครื่องมือวัดไปทดสอบอุณหภูมิ พื้นผิวของเตาเผาเก่า พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวของส่วนที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มมีค่าใกล้เคียงกัน จึงพิจารณาความ สูญเสียความร้อนของตัวเตาเผาเก่าทั้งหมดเป็นความสูญเสียความร้อนเนื่องจากไม่หุ้มฉนวน ฉะนั้นความร้อนออก ที่จะนำไปใช้ในการอบสามารถหาได้จากความร้อนเข้าสู่เตาเผาลบด้วยค่าความร้อนที่สูญเสียเมื่อไม่หุ้มฉนวน ดัง สมการ

$$Q_3 = Q_2 - Q_L \quad (4.11)$$

โดยที่ Q_L คือ ค่าความร้อนที่สูญเสียเมื่อไม่หุ้มฉนวนของเตาเผาเก่า [24] ดังสมการ

$$Q_L = \pi d h (T_s - T_{ref}) \times 10^{-3} \quad (4.12)$$

$$h = h_c + h_r \quad (4.13)$$

$$h_c = 7.592 \left[\frac{T_s - T_{ref}}{d} \right]^{0.25} \quad (4.14)$$

$$h_r = (\varepsilon) \left(\frac{5.669}{T_s - T_{ref}} \right) \left[\left(\frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ref} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (4.15)$$

โดยที่

Q_L = ความร้อนสูญเสียจากท่อเปลือย (w/m)

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (w/m²/k)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (mm)

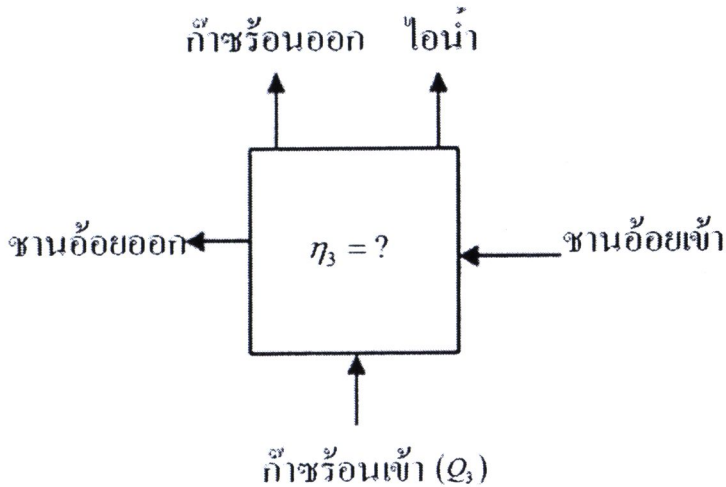
T_s = อุณหภูมิผิวท่อหน่วย °C

ε = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี ในกรณีแผ่นเหล็กกริดเหนียว $\varepsilon = 0.56$

4.5 การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของช่วงการอบแห้ง

สามารถหาประสิทธิภาพได้โดยการนำความร้อนออกที่จะนำไปใช้ประโยชน์หารด้วยความร้อนเข้าสู่ระบบ ดังสมการ

$$\eta_3 = \frac{Q_4}{Q_3} \times 100 \quad (4.16)$$



ภาพที่ 4.6 การวิเคราะห์ทางความร้อนของช่วงการอบแห้ง

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากชานอ้อย (Q_4) สามารถหาได้จากสมการ

$$Q_4 = [(M_a C_{p_g} + M_{dry} C_{p_B} + M_w C_{p_w})x(T_g - T_{ref})] + (4.2)M_w L \quad (4.17)$$

โดยที่

M_a = น้ำหนักของไอลีเซีย (kg.)

M_w = น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป (kg.)

M_{dry} = น้ำหนักของชานอ้อยแห้ง (kg.)

C_{p_g} = ค่าความจุความร้อนไอลีเซีย 1.39 kJ/kg °C

C_{p_w} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.2 kJ/kg °C

C_{p_B} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะชานอ้อย 2.968 kJ/kg °C [25]

T_g = อุณหภูมิของไอลีเซียและไอน้ำปล่อยทิ้ง

L = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ 2257 kJ/kg [26]

T_{ref} = อุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะถูกนำเข้ากระบวนการอบซึ่งก็คือ อุณหภูมิบรรยากาศเพราะไม่มีการอุ่นชานอ้อยก่อนเข้าอบ (°C)

การหาค่าน้ำหนักของน้ำ (m) หาจาก [27]

ความชื้นในขานอ้อย คือ มวลของน้ำที่มีอยู่ในขานอ้อยเทียบกับมวลของขานอ้อยแห้ง สามารถหาได้โดยการคำนวณร้อยละของปริมาณความชื้นในรูปน้ำหนักแห้ง (dry basis)

$$\% \text{ Moisture content cane or bagasse } (m) = \frac{(m_{wet} - m_{dry})}{m_{dry}} \times 100 \tag{4.18}$$

โดยที่

m_{wet} = น้ำหนักขานอ้อยเปียกหรือขานอ้อยเข้า (Kg)

m_{dry} = น้ำหนักขานอ้อยแห้งหรือขานอ้อยออก (Kg)

การหาน้ำหนักของขานอ้อยเข้าอบ (m_{wet}) จะหาได้จากสูตรของการลำเลียงแบบสายพานลำเลียง [28]

$$\text{Chain speed } (v) = \frac{z \ t \ n}{60} \tag{4.19}$$

$$\text{Capacity } (Q) = A \times v \times 3600 \text{ sec} \tag{4.20}$$

โดยที่

v = Chain speed in m per sec

z = number of teeth

t = chain pitch (m)

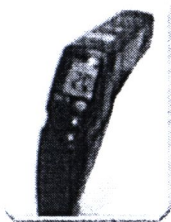
n = rotation per minute

Q = Capacity in m^3 per hour

A = trough width x layer height in m^2

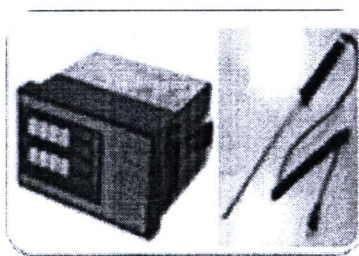
4.6 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

(1) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยอินฟราเรด (Infrared thermometer) มีช่วงการวัด (Measuring Range) : -35 ถึง +950 °c



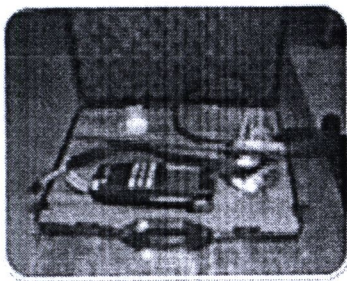
ภาพที่ 4.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยอินฟราเรด

(2) เครื่องเทอร์โมคัปเปิลแบบไทป์เค (Thermocouple probe type k) หัววัดไทป์เคที่ใช้มีช่วงของการวัดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ คือ ไม่เกิน 700°C



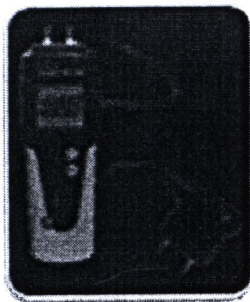
ภาพที่ 4.8 เครื่องเทอร์โมคัปเปิลแบบไทป์เค

(3) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Flue gas analyzer) ที่มีช่วงของการวัดอุณหภูมิ -40 ถึง $+600^{\circ}\text{C} \pm 0.5\%$ ของค่าที่อ่านได้ และช่วงของการวัดก๊าซออกซิเจน 0 ถึง $21\% \text{Vol.}$



ภาพที่ 4.9 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

(4) เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิของไม้แบบเข็มเจาะ (Wood moisture meter) ที่มีช่วงวัดความชื้น $6 - 99.9\%$ และช่วงของการวัดอุณหภูมิ $-35 \sim 80^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 4.10 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิของไม้แบบเข็มเจาะ

(5) เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอบ (Moisture meter) ที่มีอุณหภูมิในการอบ 130°C รุ่น MA30 ของ บริษัท Sartorius



ภาพที่ 4.11 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอบ

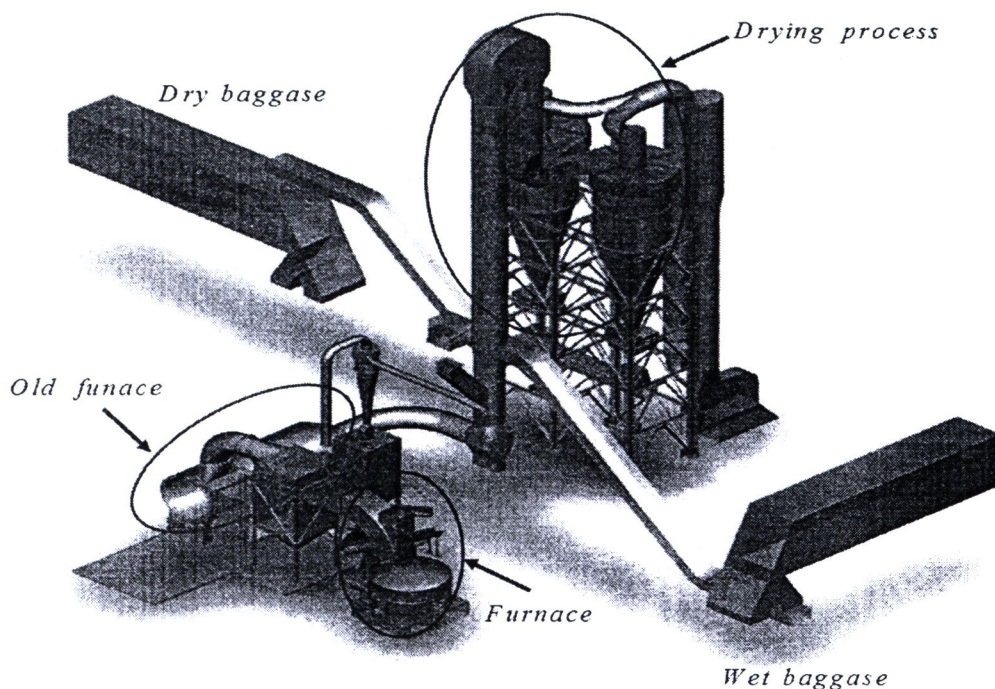
(6) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) รุ่น testo 417 มีช่วงการวัดความเร็วลม $+0.3$ ถึง $+20\text{ m/s}$



ภาพที่ 4.12 เครื่องวัดความเร็วลม

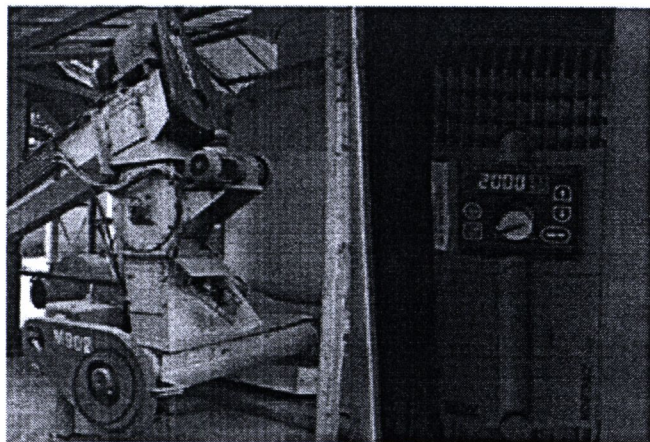
4.7 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการดำเนินงานในปัจจุบันเพื่อนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพรวมของเตาอบแห้งขั้นต้น (Pre-dryer) โดยจะแบ่งเป็นการหาประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวลจากขานอ้อย (Furnace), การหาประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเตาเผาเก่า (Old Furnace) และการหาประสิทธิภาพทางความร้อนของการอบแห้ง (Drying process) เพื่อนำไปกำหนดแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งขั้นต้น ซึ่งได้กำหนดจุดที่จะทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ไว้ดังนี้



ภาพที่ 4.13 จุดตรวจวัดในเตาอบแห้งขานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer)

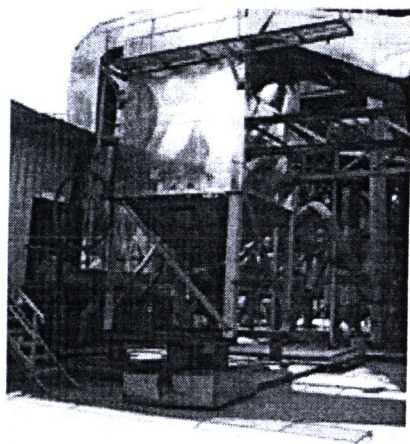
- 4.7.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของเตาเผาชีวมวลจากขานอ้อย (Furnace) ดังต่อไปนี้
- (1) หาค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงฟืนขานอ้อย (LHV)
 - (2) ตรวจวัดอัตราการหมุนของระบบสกรูขนถ่าย (Screw conveyer) ในการป้อนเชื้อเพลิงฟืนขานอ้อยเข้าเตา
 - (3) ตรวจวัดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงฟืนขานอ้อยและอากาศที่เข้าเตาเผา



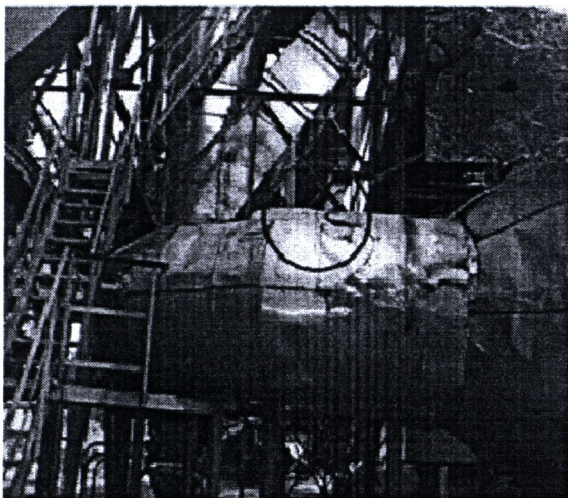
ภาพที่ 4.14 อัตราการลำเลียงฝุ่นขานอ้อยเข้าเตาเผา

4.7.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของเตาเผาเก่า (Old Furnace) ดังต่อไปนี้

- (1) วิเคราะห์ไอก๊าซร้อนก่อนเข้าเตาเผาเก่า
- (2) ตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวของเตาเผาเก่า
- (3) ตรวจวัดพื้นที่ผิวของเตาเก่า
- (4) วิเคราะห์ไอก๊าซร้อนก่อนเข้าสู่การอบ
- (5) ตรวจวัดอุณหภูมิไอก๊าซร้อนภายในท่อก่อนเข้าสู่การอบแห้งขั้นต้น



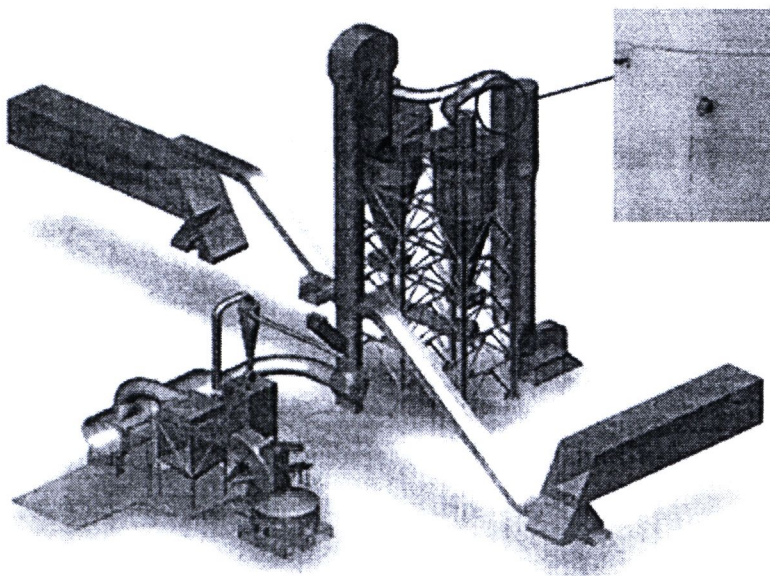
ภาพที่ 4.15 จุดวัดก๊าซไอร้อนเข้า (Q_2)



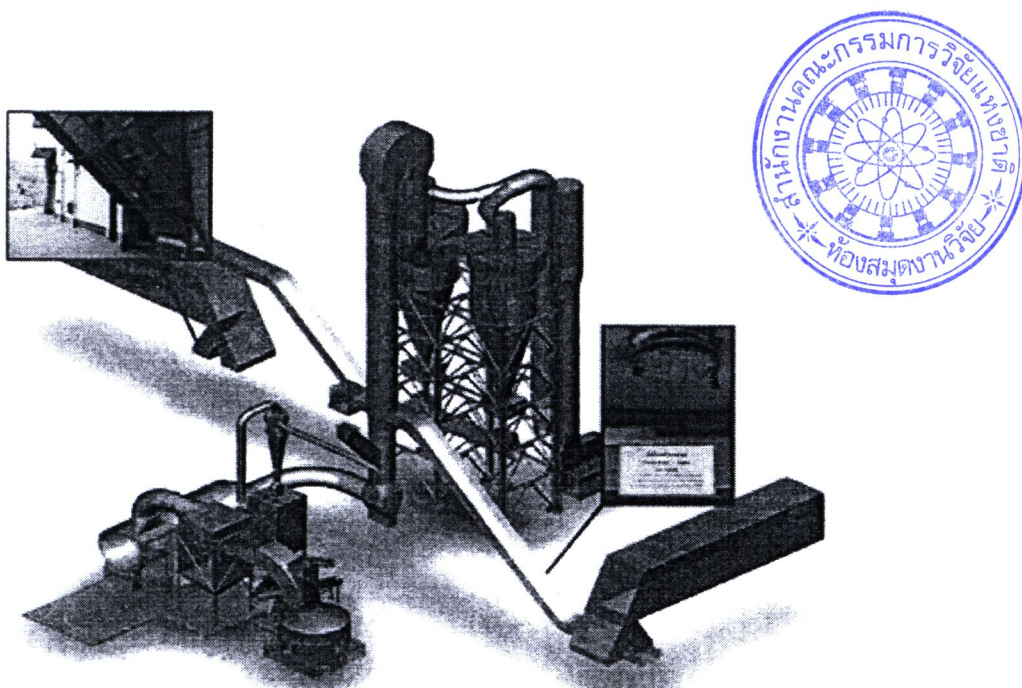
ภาพที่ 4.16 จุดวัดก๊าซไอร้อนก่อนเข้าสู่การอบ

4.7.3 การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของห้องอบ (Drying chamber) ดังต่อไปนี้

- (1) ตรวจวัดปริมาณชานอ้อยก่อนและหลังการอบ
- (2) ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของชานอ้อยก่อนและหลังการอบ
- (3) ตรวจวัดอุณหภูมิไอก๊าซร้อนปล่อยออกและความเร็วลมออก



ภาพที่ 4.17 จุดวัดก๊าซไอร้อนทิ้งหลังการอบ



ภาพที่ 4.18 จุดเก็บตัวอย่างชานอ้อยก่อนและหลังการอบ

เมื่อดำเนินการตรวจวัดแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพก่อนการปรับปรุง จากนั้นดำเนินการพัฒนาระบบอัตโนมัติควบคุมระบบลำเลียงเชื้อเพลิง โดยให้สามารถควบคุมความเร็วรอบที่เหมาะสมกับความชื้นของชานอ้อยได้ จากนั้นทำการตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงเพื่อเปรียบเทียบสรุปต่อไป