

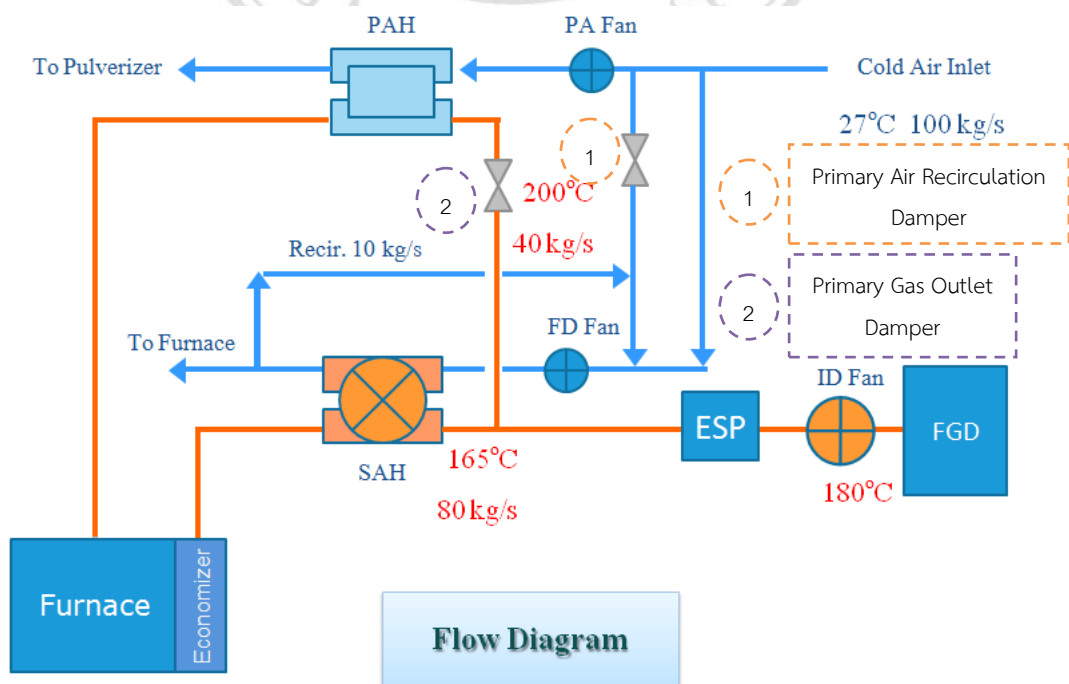
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

จากปัญหาอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปัจจุบัน มีค่าสูงเกินที่กำหนด วิธีการเพิ่มขนาด หรือจำนวนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ก็เป็นหนทางหนึ่งในการแก้ปัญหา แต่ทั้งสองวิธีดังกล่าว ต้องมีการลงทุนค่อนข้างสูง และไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในปัจจุบัน เนื่องจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 6 มีอายุการใช้งานมานาน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่วิธีการผันปริมาณอากาศ และปริมาณก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองตัว

ก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD จะมีการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater : PAH) และทุติยภูมิ (Secondary Air Heater : SAH) เพื่อนำความร้อนทิ้งไปใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยอากาศที่เข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิจะใช้ในการเป่าลำเลียงถ่านหินเข้าสู่หม้อไอน้ำด้วย ส่วนอากาศที่เข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ จะผันเข้าสู่เตาโดยตรง เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

อย่างไรก็ตามก๊าซไอเสียทั้งหมดจะไหลเข้าสู่ระบบ FGD โดยที่อุณหภูมิไม่เกิน 180°C เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ทิศทางการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด

เมื่อพิจารณาทิศทางการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ในรูปที่ 3.1 พบว่า

1. เมื่อเปิด Primary Air Recirculation Damper (1) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH) มากขึ้น อากาศจะดูดซับความร้อนจากก๊าซไอเสียมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH Gas Outlet) มีค่าลดลง จึงทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่จะเข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) มีค่าลดลงตาม

2. เมื่อเปิด Primary Gas Outlet (2) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณก๊าซไอเสีย ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH) มากขึ้น และเนื่องจาก ก๊าซไอเสียส่วนแรกจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (PAH) 30 % และส่วนที่เหลือจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH) 70 % ซึ่งปริมาณก๊าซไอเสียที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ทุติยภูมิ (SAH) น้อยลง ทำให้อากาศดูดซับอุณหภูมิได้มากขึ้น ส่งผลต่ออุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าสู่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) ลดลงตาม

ดังนั้น แนวทางในการแก้ปัญหา คือ การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD โดยวิธีการดึงความร้อนออกจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศ ที่จะป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ ลดผลกระทบต่อระบบ FGD และยังประหยัดพลังงานที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบหม้อไอน้ำ

3.1 การหาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (PAH)

พิจารณาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater; PAH) ด้วยวิธีดุลพลังงานจากอากาศและก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวจะได้ ดังสมการที่ (3.1)

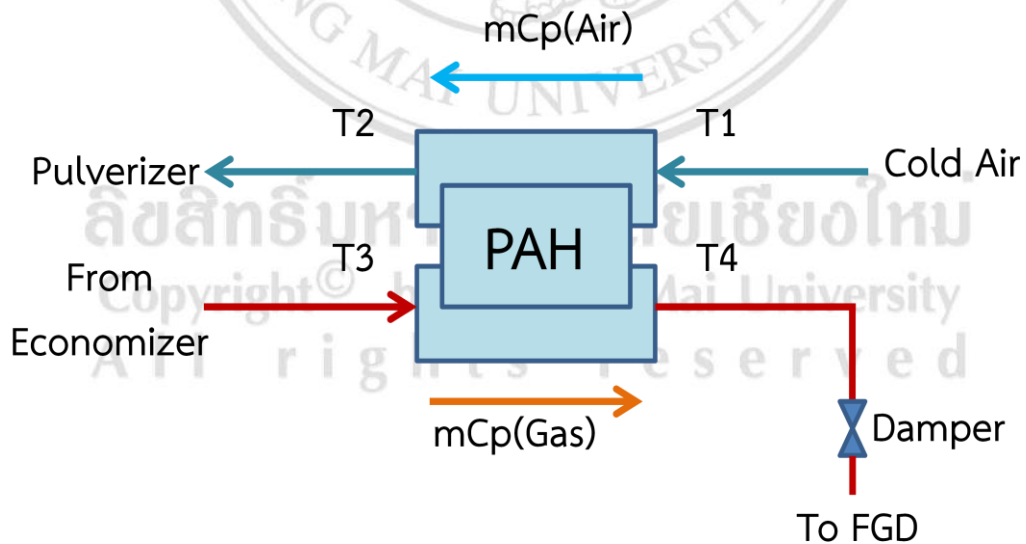
$$PAH; (\dot{m}C_p)_{G_{PAH}} (T_3 - T_4) = (\dot{m}C_p)_{A_{PAH}} (T_2 - T_1) = UA_{PAH} \left[\frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{\ln \left(\frac{(T_3 - T_2)}{(T_4 - T_1)} \right)} \right] \quad (3.1)$$

โดยที่ ในกรณีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่เป็นแบบไหลสวนทางกันจะได้

$$T_4 = T_3 - \left[\frac{(T_3 - T_1)(1 - e^D)}{(\dot{m}C_p)_G - e^D} \right] \quad \text{โดยที่ } D = UA \left[\frac{1}{(\dot{m}C_p)_G} - \frac{1}{(\dot{m}C_p)_A} \right] \quad (3.2)$$

จากสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3) สามารถคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA) ที่เหมาะสม สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater; PAH) จาก ข้อมูลการเดินเครื่อง และการทดสอบสมรรถนะพบว่า ค่า $(UA)_{PAH}$ มีค่าอยู่ในช่วง 112.50 – 113.70 kW°C ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 113.10 kW°C

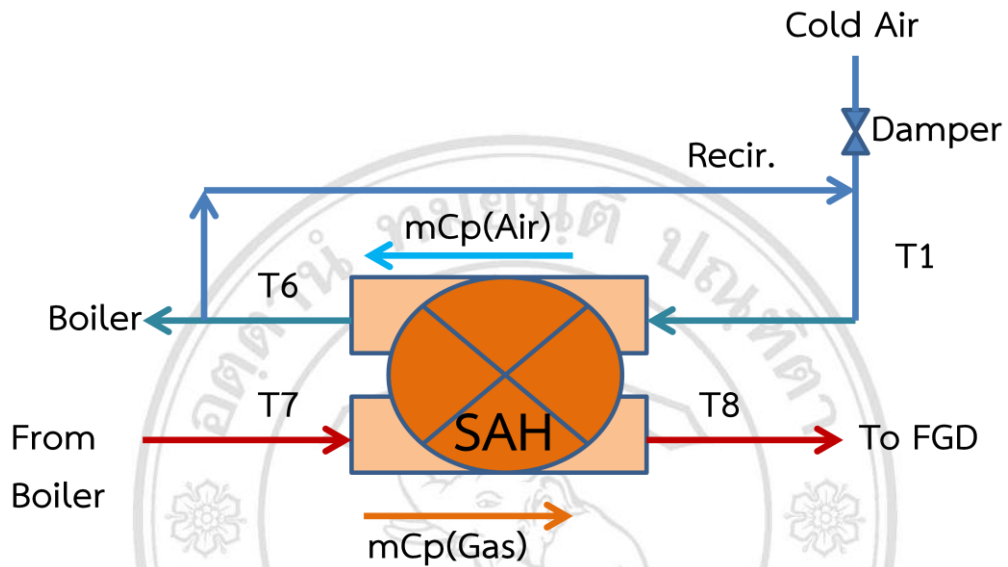
การคำนวณหาค่า อุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ T_4 ที่เหมาะสมของ PAH นั้น หาได้โดยการกำหนดค่าอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ PAH $(\dot{m}C_p)_{A_{PAH}}$ ให้คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกจาก PAH $(\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}$ เนื่องจากค่าดังกล่าว ไม่สามารถระบุค่าที่แน่นอนได้ รวมทั้งยังมี Damper ที่สามารถทำให้อัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกจาก PAH มีค่าเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิและอัตราการไหล ของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่เข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ PAH

3.2 การหาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (SAH)

เมื่อพิจารณาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater; SAH) ด้วยวิธีดุลพลังงานจากอากาศ และก๊าซไอเสียที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ ดังแสดงในรูป 3.3 จะได้ ดังสมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.3 อุณหภูมิและอัตราการไหล ของอากาศและก๊าซไอเสีย ที่เข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ SAH

$$SAH; (\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} (T_7 - T_8) = (\dot{m}C_p)_{A_{SAH}} (T_6 - T_1) = UA_{SAH} \left[\frac{(T_7 - T_6) - (T_8 - T_1)}{\ln \left(\frac{(T_7 - T_6)}{(T_8 - T_1)} \right)} \right] \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (UA) ที่เหมาะสม สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater; SAH) จากข้อมูลการเดินเครื่อง และการทดสอบสมรรถนะ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 604.80 – 606.00 kW/°C และมีค่าเฉลี่ย 605.40 kW/°C

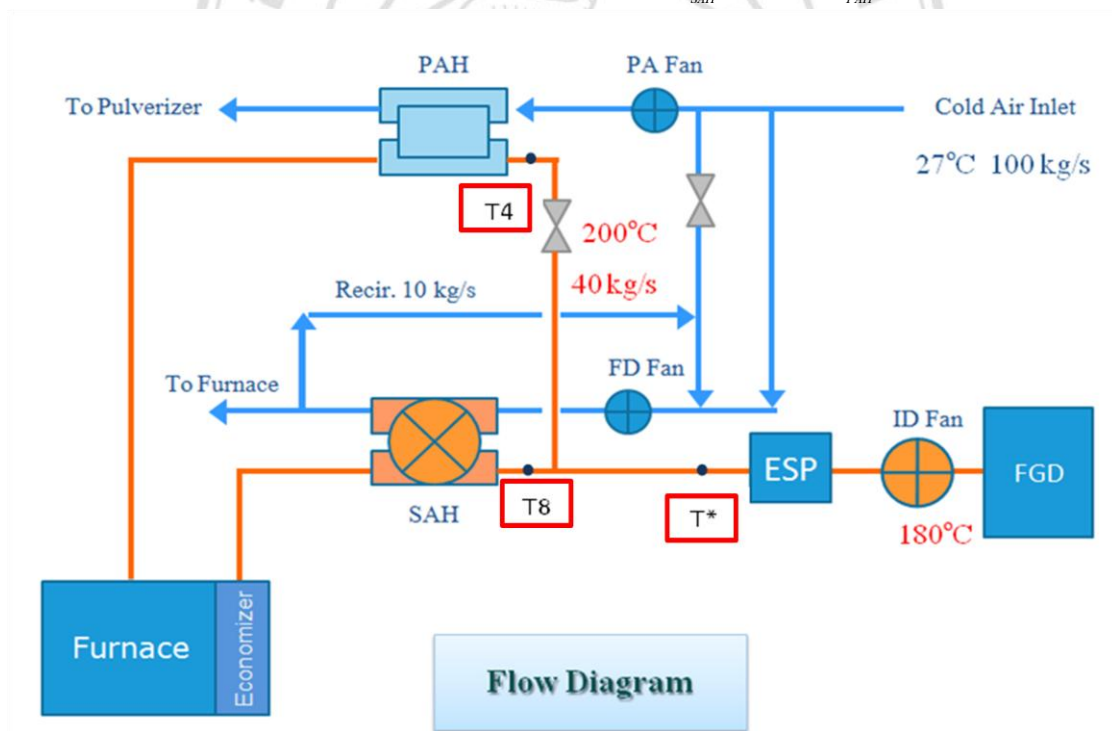
ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (T_8) นั้น สามารถหาค่าได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ $(\dot{m}C_p)_{A_{SAH}}$ ได้ตั้งแต่

120 – 150 kg/s และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย $(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}}$ ได้ตั้งแต่ 225 – 230 kg/s (อ้างอิงจากการทดสอบสมรรถนะโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 6) ซึ่งค่าดังกล่าว สามารถกำหนดค่าได้ เนื่องจากเป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก

3.3 สมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD

เมื่อพิจารณาที่จุดสุดท้าย ก่อนที่ก๊าซไอเสียจะเข้าสู่ระบบ FGD สามารถหาค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียได้จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย และอัตราการไหลของก๊าซไอเสีย ที่ออกมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสอง ดังสมการที่ (3.4) และแสดงในรูปที่ 3.4

$$\text{Final Flue Gas Temperature; } T^* = \frac{(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} * T_8 + (\dot{m}C_p)_{G_{PAH}} * T_4}{(\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} + (\dot{m}C_p)_{G_{PAH}}} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสุดท้ายก่อนเข้าสู่ระบบ FGD (T^*) กับอุณหภูมิด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด (T_4, T_8)

3.4 พิจารณาค่าอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อทราบค่าอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสีย ที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิดแล้ว จะพิจารณาค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว โดยสามารถพิจารณาจากอัตราความร้อนสูงสุดรวมที่ได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิด ดังแสดงในสมการที่ (3.5)

$$Q_{max} = (\dot{m}C_p)_{G_{PAH}} (T_3 - T_4) + (\dot{m}C_p)_{G_{SAH}} (T_7 - T_8) \quad (3.5)$$

ทั้งนี้ T_3 และ T_7 จะมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ 408.39°C และ 347.88°C ตามลำดับ

เมื่อเลือกค่าอัตราความร้อนสูงสุดรวมที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.5) จากนั้น จึงพิจารณาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงถ่านที่ลดลงก่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ เมื่ออัตราความร้อนเพิ่มขึ้น อัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะลดลง โดยอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราความร้อนสูงสุด, ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ และ LHV ดังแสดงในสมการที่ (3.6)

Rate of Coal Reduction

$$Coal\ Consumption = \frac{Q_{max} \times Boiler\ Efficiency}{LHV} \quad (3.6)$$

3.5 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

3.5.1 พิจารณาที่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (Primary Air Heater, PAH)

ค่าอัตราการไหลของอากาศ ที่ผ่าน PAH มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย มีค่าไม่แน่นอน จากข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพบว่า มีค่าตั้งแต่ $50 - 70\text{ kg/s}$ เมื่อนำค่าอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียป้อนลงในสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะสามารถหาค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปฐมภูมิ (T_4) ได้

3.5.2 พิจารณาที่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (Secondary Air Heater, SAH)

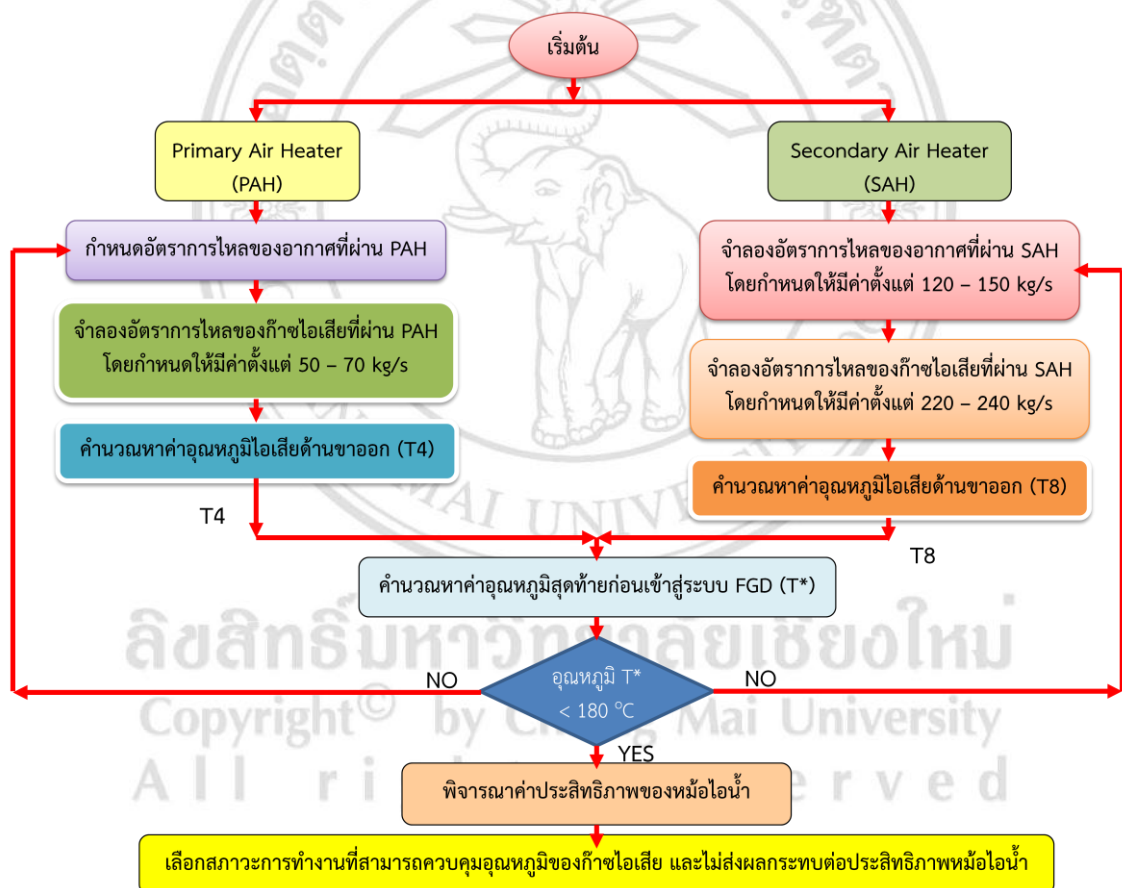
จำลองอัตราการไหลของอากาศที่ผ่าน SAH ให้มีค่าตั้งแต่ $120 - 150\text{ kg/s}$ และจำลองอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ผ่าน SAH ให้มีค่าตั้งแต่ $220 - 240\text{ kg/s}$ เมื่อนำค่าอัตราการไหลของอากาศ และก๊าซไอเสียดังกล่าว ป้อนลงในสมการที่ (3.3) จะสามารถหาค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียด้านขาออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทุติยภูมิ (T_8) ได้

3.5.3 นำค่าอุณหภูมิ T_4 และ T_8 แทนค่าลงในสมการที่ (3.4) เพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิสุดท้ายก่อนเข้าสู่ระบบ FGD (T^*)

3.5.4 พิจารณาอุณหภูมิ T^* มีค่ามากกว่า $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ให้กลับไปพิจารณาข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 ตามลำดับ แต่ถ้าอุณหภูมิ T^* มีค่าน้อยกว่า $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำสภาวะที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ ดังกล่าว คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

3.5.5 เลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด จากอัตราความร้อนที่มีค่ามากที่สุด และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าสู่ระบบ FGD ได้ไม่เกิน $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ลำดับขั้นตอนวิธีการวิจัย แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังขั้นตอนวิธีการวิจัย