บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

หลักการของการถ่ายเทความร้อน

ความรู้เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญในการออกแบบระบบเตาเผาไหม้ หลักการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนที่ควรจะทราบมี 4 ชนิดคือ

- การนำความร้อน
- การพาความร้อน
- การแผ่รังสีความร้อนระหว่างของแข็งและของเหลว
- การแผ่รังสีความร้อนโดยก๊าซและเปลวไฟภายในเตา

ในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะหัวข้อของการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซร้อนและเปลวไฟเท่านั้น

การแผ่รังสีความร้อนโดยก๊าซและเปลวไฟภายในเตา

เตาเผาไหม้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงให้เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

ปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนจากก๊าซภายในห้องเผาไหม้ของเตา จะรวมผลของการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากแผ่รังสีความร้อน กับการพาความร้อน โดยทั่วไปแล้วถ้าหากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงมาก ๆ ประมาณ 800 C ขึ้นไป Khalil[10] และ Evans[7]แนะนำให้ตัดเทอมของการพาความร้อนทิ้งได้ ในการวิเคราะห์การแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ของเตาจะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ การแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟแบบเปล่งแสง(Luminous) และการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟแบบไม่เปล่งแสง (Nonluminous)

1 การแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟแบบเปล่งแสง(Radiation from luminous flames)

พลังงานจากการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยจากเปลวไฟแบบเปล่งแสง เป็นผลมาจากอนุภาคเล็ก ๆ ที่ก่อตัวขึ้นในเปลวไฟ อนุภาคเล็ก ๆนี้ได้แก่พวกเขม่าหรืออนุภาคของคาร์บอนซึ่งเกิดจากการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอน ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

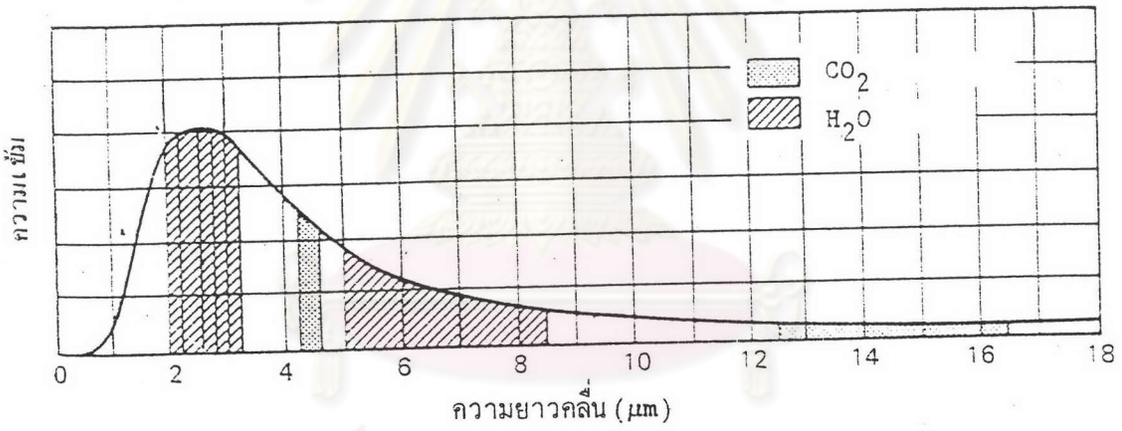
ในการที่จะหาผลกระทบของเขม่าหรืออนุภาคเล็ก ๆ เหล่านี้ขณะมีการแผ่รังสี สิ่งสำคัญสองประการที่จำเป็นจะต้องทราบ อันแรกคือ ลักษณะการกระจายของเขม่าในเปลวไฟเป็นอย่างไร ลักษณะการกระจายของเขม่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง และอุณหภูมิของเปลวไฟดังกล่าว อันต่อมาคือต้องการทราบคุณสมบัติในการแผ่รังสีของเขม่าดังกล่าว ดังนั้นหากทราบความเข้มข้นของเขม่า (Soot concentration) และลักษณะการกระจายตัวของเขม่า การคำนวณค่าการแผ่รังสีก็สามารถทำได้[9]

2 การแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟแบบไม่เปล่งแสง(Radiation from nonluminous flames)

ปรากฏการณ์ของการแผ่รังสีจากเปลวไฟแบบไม่เปล่งแสง ในห้องเผาไหม้เป็นสิ่งที่เราเข้าใจกันดีเพราะลักษณะการเผาไหม้จะสะอาดปราศจากเขม่า ในการวิเคราะห์จะพิจารณาผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เป็นก๊าซ ซึ่งจะประกอบไปด้วยก๊าซต่าง ๆ หลายชนิด เช่น O_2, N_2, H_2, CO_2, H_2O, SO_2, CO, NH_3 ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ สำหรับก๊าซ O_2, N_2, H_2, และอากาศแห้งจะมีโมเลกุลที่สมมาตร (Symmetrical) เป็นก๊าซที่มีการแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีความร้อนได้น้อยมาก จึงไม่มีความจำเป็นจะต้องพิจารณา ก๊าซประเภทนี้ ในเรื่องของการแผ่รังสีความร้อน แต่ก๊าซและไอที่มีโมเลกุลไม่สมมาตรเช่น CO_2, H_2O,SO_2 CO, NH_3, ไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์ มีความสำคัญมากในการแผ่รังสีความร้อน เพราะก๊าซเหล่านี้สามารถที่จะดูดกลืนและแผ่รังสีความร้อนได้มาก

แต่ในงานวิจัยครั้งนี้เชื้อเพลิงที่ใช้เป็น LPG และออกซิเจนบริสุทธิ์ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ จึงทำให้องค์ประกอบของก๊าซร้อนเกือบทั้งหมดจึงเป็น H_2O และ CO_2 ดังนั้นจึงจะพิจารณาเฉพาะก๊าซทั้งสองชนิดนี้เท่านั้นในงานวิจัยครั้งนี้

รูปที่ (3.1)แสดงความเข้มของการแผ่รังสีที่ช่วงคลื่นต่างๆของ H_2O และ CO_2 ที่อุณหภูมิ 1100 K



รูปที่ (3.1) ความเข้มของการแผ่รังสีที่ช่วงคลื่นต่าง ๆของ H_2O และ CO_2 ที่อุณหภูมิ 1100

สำหรับก๊าซ ค่าการเปล่งรังสี และค่าการดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของก๊าซ Hottel [9]ได้เสนอวิธีการคำนวณโดยประมาณเพื่อใช้หาค่าการเปล่งรังสีและค่าการดูดกลืน ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้ดีทางวิศวกรรมศาสตร์ Hottel ได้คำนวณหาค่าของการเปล่งรังสีความร้อนและค่าการดูดกลืนของก๊าซชนิดต่าง ๆที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆและเสนอผลการคำนวณในรูปของกราฟในลักษณะที่แสดงในรูปที่ (3.2) และ (3.3)

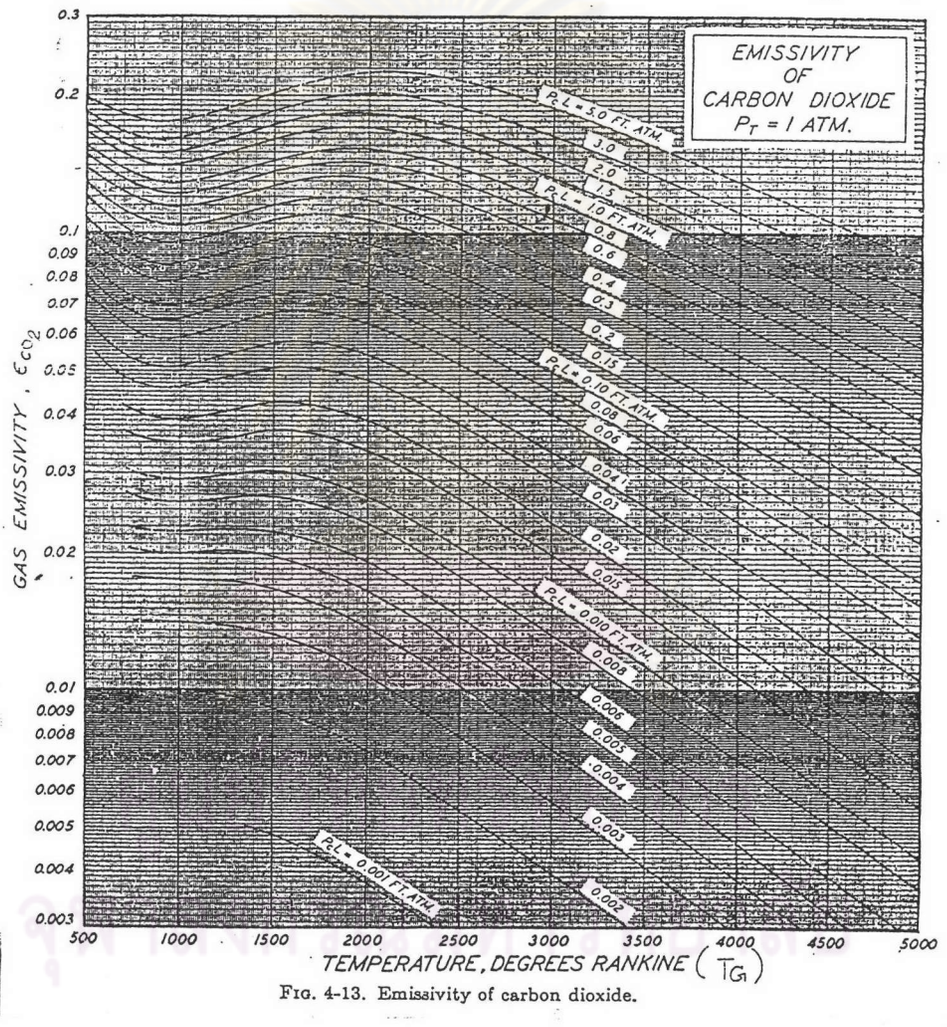
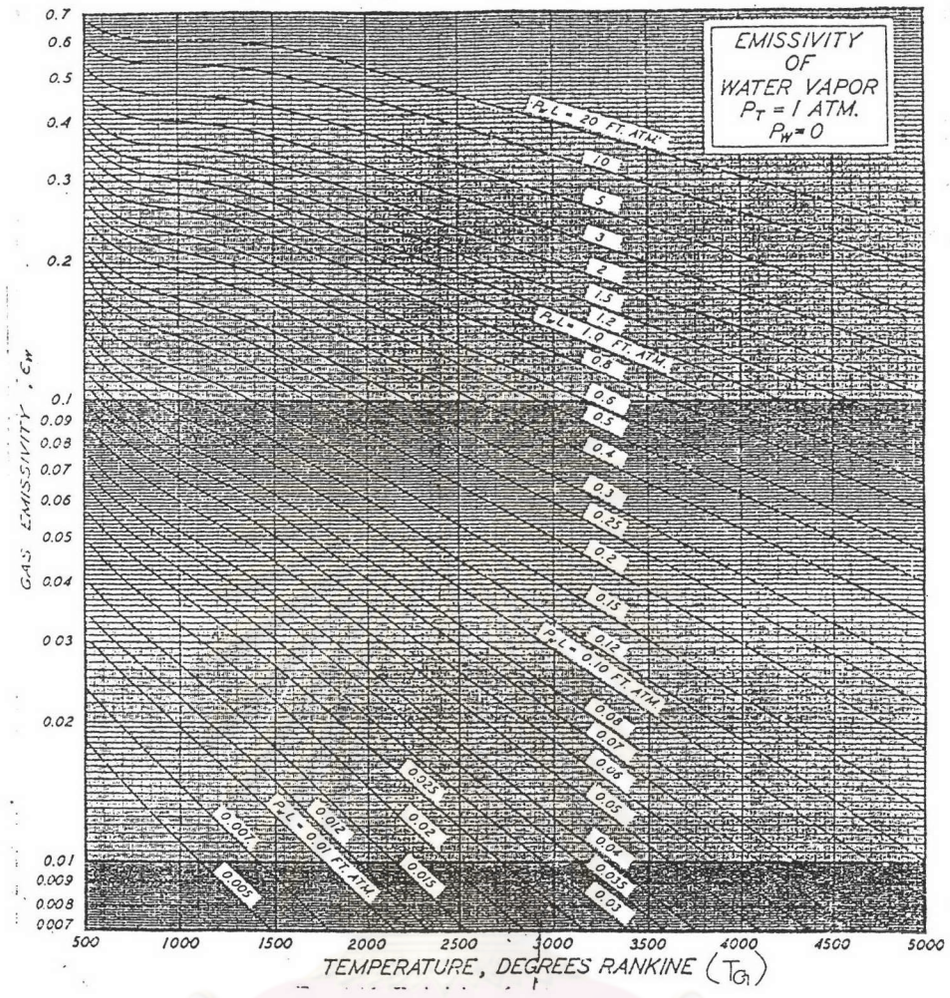


FIG. 4-13. Emissivity of carbon dioxide.

รูปที่ (3.2) ค่าการเปล่งรังสีรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความดันรวม 1 บรรยากาศ



รูปที่(3.3)ค่าการเปล่งรังสีรวมของไอน้ำที่มีความดันรวม 1 บรรยากาศ

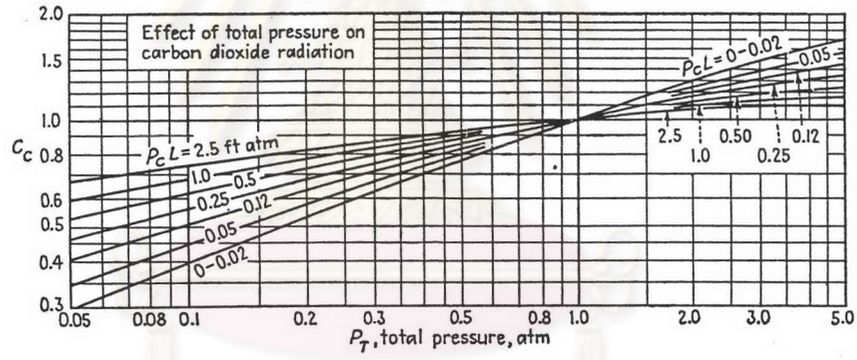
จากรูปที่(3.2)และ(3.3) กราฟที่ได้ใช้กับระบบที่เป็นรูปร่างครึ่งวงกลมที่มีรัศมี L_e มีอุณหภูมิ T_G และความดัน P_{H_2O} (น้ำ)และ P_{CO_2} (คาร์บอนไดออกไซด์) แลกเปลี่ยนความร้อนกับวัตถุดำ ซึ่งวางที่จุดกึ่งกลางของฐานรูปทรงกลมนี้

กราฟเหล่านี้ใช้ได้สำหรับระบบที่มีรูปร่างอื่นด้วยโดยใช้ค่าความยาวสมมูลย์ของลำก๊าซ (L_e)ในตารางที่(ค.8) ในภาคผนวก (ค)

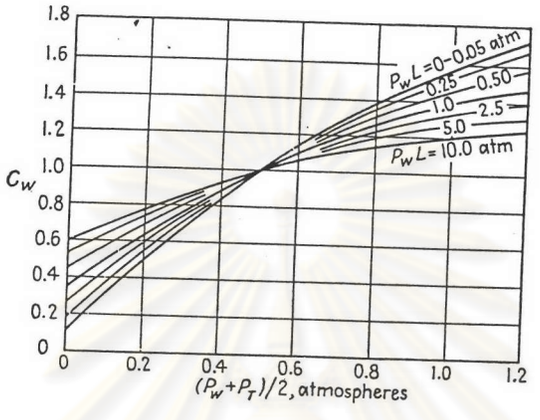
ในรูปที่ (3.2) และ (3.3) ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของไอน้ำและ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ให้ไว้เป็นฟังค์ชั่นของอุณหภูมิที่ค่าของผลคูณของความดันส่วนร่วมเป็นความดันบรรยากาศ (P), รัศมีของรูปทรงกลม(R), ค่าความยาวสมมูลย์ของลำก๊าซ(L_e)สำหรับก๊าซรูปอื่น ๆได้ให้ไว้ในตารางที่(ค. 8)สำหรับก๊าซที่มีรูปร่างไม่ตรงกับที่ให้ไว้ในตารางที่(ค.8)ค่า L_e หาได้จาก (3.4 x ปริมาตร)/พื้นที่ผิว

กราฟในรูปที่ (3.2)และ(3.3) ให้ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันรวม 1 บรรยากาศหากความดันรวมของก๊าซที่ต้องการหาค่าการเปล่งรังสีความร้อนต่างจาก 1 บรรยากาศจะต้องใช้ค่าเฟคเตอร์แก้(Correction factor) ดังแสดงในรูปที่ (3.5)สำหรับไอน้ำ และรูปที่ (3.4) สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ (3.4) ค่าแก้ไขความดันสำหรับ CO_2 ที่มีความดัน P ซึ่งค่าจากความดัน 1 บรรยากาศ



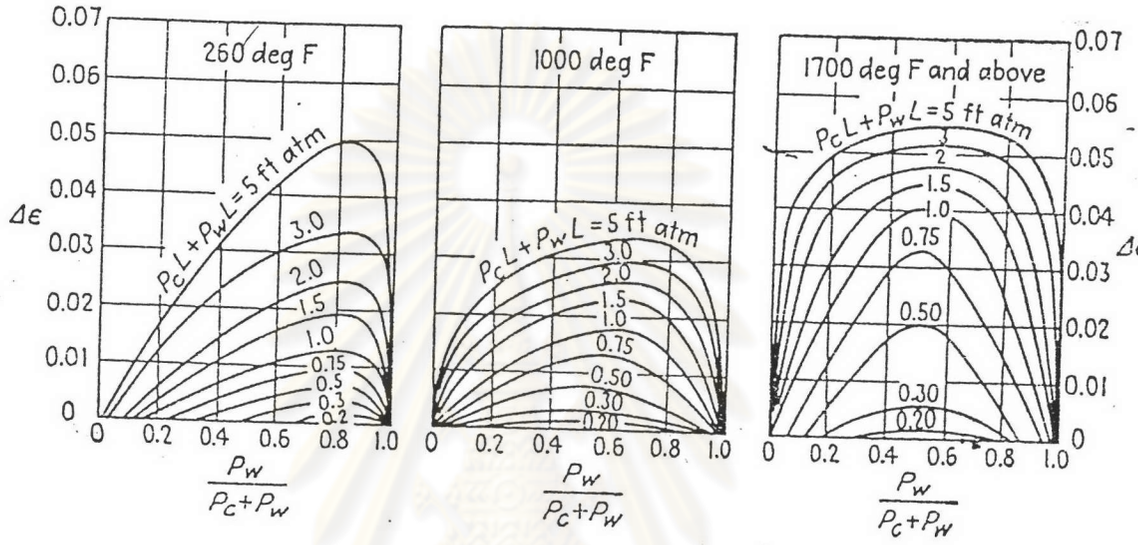
รูปที่ (3.5) ค่าแก้ไขความดันสำหรับไอน้ำของระบบที่มีความดัน P ซึ่งต่างจากความดัน 1 บรรยากาศ

สำหรับกรณีที่มีทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำรวมอยู่ด้วยกัน ค่าการเปล่งรังสีจะหาได้จากการรวมค่าการเปล่งรังสีของก๊าซแต่ละชนิดเข้าด้วยกัน ค่าที่ได้จากการรวมนี้จะสูงเกินไป เพราะว่าค่าการเปล่งรังสีของก๊าซทั้งสองมีช่วงคลื่นที่ทับกัน จึงต้องมีการปรับค่าที่เกินนี้

โดยทั่ว ๆไปแล้ว ค่าการเปล่งรังสีความร้อนรวมจะเขียนได้ดังนี้

$$\varepsilon_G = \varepsilon_w + \varepsilon_c - \Delta\varepsilon \qquad (3.1)$$

โดยที่ $\Delta\varepsilon$ หาได้จากรูปที่ (3.6)



รูปที่ (3.6) ค่าแก้ไขของการเปล่งรังสีรวมสำหรับก๊าซผสมซึ่งมีทั้ง CO_2 และไอน้ำ

a) อุณหภูมิก๊าซ T_G=400K(720R)

b) อุณหภูมิก๊าซ T_G=810K(1460R)

c) อุณหภูมิก๊าซ T_G>1200K(2160R)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อความสะดวกในการใช้งานทางปฏิบัติ Hottel [9]ได้สร้างแผนภูมิแสดงในหนังสือ Modern furnace technology ของ Etherington [4] สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของก๊าซ h_{gr} ดังแสดงในรูปที่ (ข.4) ภาคผนวก (ข)จากแผนภูมิ

เมื่อค่าDP คือค่าที่ได้จากผลรวมของเส้นผ่าศูนย์กลางของลำก๊าซ(D)คูณด้วยค่าความดันย่อยของ CO_2 กับเส้นผ่านศูนย์กลางของลำก๊าซคูณด้วยความดันย่อยของH_2O เมื่ออุณหภูมิ t คืออุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิของผนังท่อไฟ(t_2)และก๊าซ(t_1)ดังนั้นค่า h_{gr} สามารถอ่านได้จากแผนภูมิของก๊าซแต่ละชนิด และ h_{gr} ที่ได้ก็คือผลรวมของสัมประสิทธิ์ทั้งสองคือ h_{gR_T} ที่ได้จะต้องนำไปคูณกับค่าการเปล่งรังสีของผิวตัวรับความร้อนก่อนเสมอดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่แท้จริง $h'_{gR_T} = \varepsilon_c \, h_{gR_T}$ ดังนั้นสมการสำหรับหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีต่อหน่วยพื้นที่ (Btu/ft^2.hr)คือ

$$q = h'_{gR_T}(t_1 - t_2) \qquad (3.2)$$

สมการดังกล่าวประยุกต์ใช้กับกรณีที่มีการแผ่รังสีความร้อนกรณีนี้คือ

1. การแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟแบบไม่เปล่งแสง และจากก๊าซที่เกิดการเผาไหม้โดยตรงภายในเตา
2. การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีใน Regenerators และ Recuperators

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย