บทที่ 5

อุปกรณ์อุ่นอากาศ

5.1 อุปกรณ์ทางความร้อน

อุปกรณ์ทางความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ทางด้านการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเตา ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้และวิธีการเผาไหม้ ดังนั้นถ้าหากทราบถึงกลไกของการถ่ายเทความร้อนภายในเตา ก็สามารถที่จะออกแบบอุปกรณ์ทางความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำ และสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ต้องการ การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ทางความร้อนมักจะมีอยู่ 2 ส่วนหลักคือ การแผ่รังสีความร้อน (Radiation section) และการพาความร้อน (Convection section) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ทางความร้อนประกอบไปด้วยการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนประมาณ 70 – 80 % และการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนประมาณ 20 – 30 %

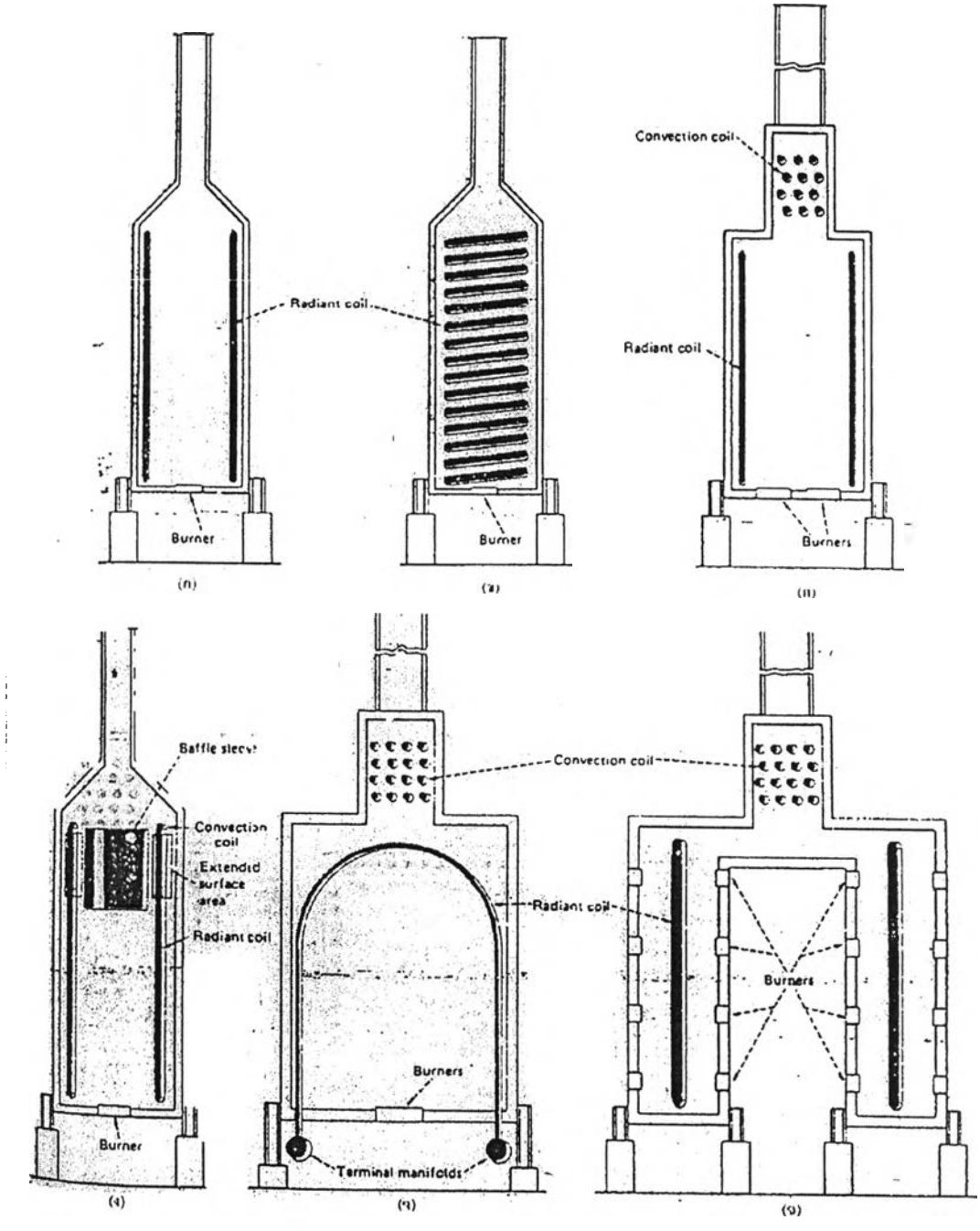
อุปกรณ์ทางความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

1) Fire heater

Fire heater เป็นอุปกรณ์ทางความร้อนที่ใช้กันมากในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนการแผ่รังสี (Radiant section) และส่วนของการพาความร้อน (Convection section) โดยลักษณะของ Fire heater จะแบ่งได้ตามลักษณะการจัดวางกลุ่มท่อภายในส่วนของการแผ่รังสี โดยที่ลักษณะการจัดวางกลุ่มท่อแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1.1) การจัดวางกลุ่มท่อในแนวตั้ง (รูปที่ 5.1)

1.2) การจัดวางกลุ่มท่อในแนวนอน (รูปที่ 5.2)



รูปที่ 5.1 Fire heater ที่จัดวางกลุ่มท่อในแนวตั้ง [1]

สำหรับ Fire heater แบบที่มีการวางกลุ่มท่อในแนวตั้ง อาจแบ่งเป็นประเภทต่างๆ (จากรูปที่ 5.1) ได้ดังนี้

(ก) *Fire heater ชนิดที่มีเฉพาะส่วนของการแผ่รังสีอย่างเดียว (All radiant)*

เป็น Fire heater ชนิดที่มีเฉพาะส่วนของการแผ่รังสีเพียงอย่างเดียว โดยมีการจัดวางกลุ่มท่อในแนวดิ่งตลอดผนังห้องเผาไหม้ เปลวไฟจากหัวเผาจะพุ่งจากพื้นของ Heater ขึ้นไปในแนวดิ่ง ซึ่งอุปกรณ์ทางความร้อนดังกล่าวนี้มีข้อดีคือ สิ้นเปลืองค่าก่อสร้างต่ำ แต่ก็จะมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำ เช่นกัน สำหรับภาระทางความร้อนที่ทำได้ประมาณ 0.5 – 20 MMBTU/hr

(ข) *Fire heater ชนิดท่อเกลียว (Helical coil)*

Fire heater ลักษณะนี้จะมีท่อเป็นขดเกลียวตลอดผนังห้องเผาไหม้ เปลวไฟของหัวเผาจะพุ่งจากพื้นของ Heater ขึ้นไปในแนวดิ่ง อุปกรณ์ทางความร้อนชนิดนี้จะสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างต่ำ และมีประสิทธิภาพต่ำโดยมีภาระทางความร้อนใกล้เคียงกับ Fire heater แบบ (ก)

(ค) *Fire heater ชนิดที่มีส่วนของการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน*

Fire heater ชนิดนี้จะมีการจัดวางกลุ่มท่อในแนวดิ่งที่ผนังของห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นส่วนของการแผ่รังสี ส่วนบริเวณเหนือห้องเผาไหม้จะมีกลุ่มท่อซึ่งวางอยู่ในแนวนอน ซึ่งส่วนนี้เรียกว่า ส่วนการพาความร้อน ในทำนองเดียวกับ Fire heater สองชนิดแรก เปลวไฟจากหัวเผาจะพุ่งจากพื้นขึ้นไปในแนวดิ่ง โดย Fire heater ชนิดนี้สร้างขึ้นโดยคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ ซึ่งข้อดีของ Fire heater ชนิดนี้คือ มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย โดยมีภาระทางความร้อนที่ทำได้อยู่ในช่วง 10 – 20 MMBTU/hr

(ง) *Fire heater ชนิดที่มีส่วนของการพาความร้อนรวมอยู่ด้วย (Integral convection)*

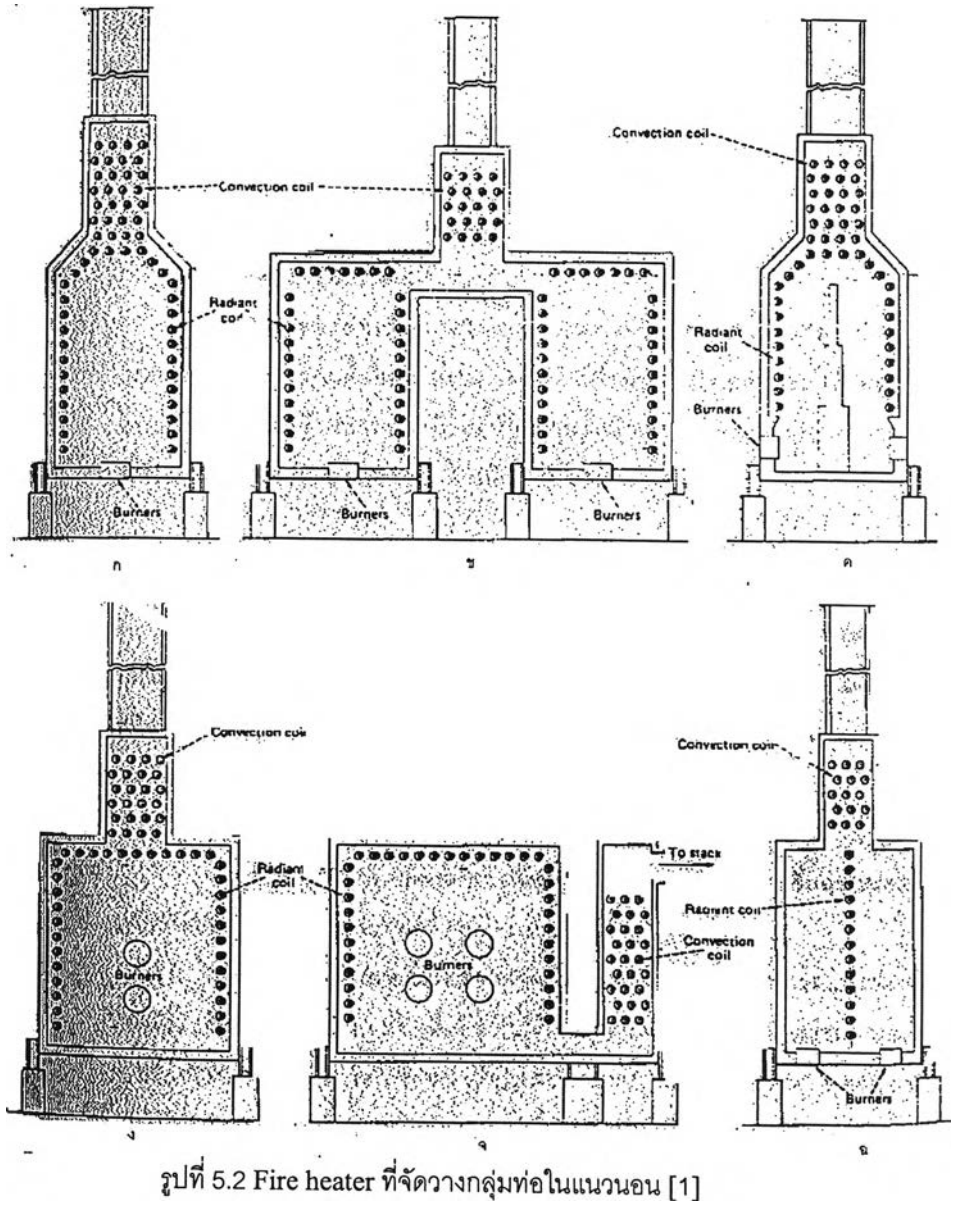
เป็น Fire heater ที่มีส่วนของการแผ่รังสีความร้อนอยู่ส่วนล่างในห้องเผาไหม้ ในขณะที่ส่วนของการพาความร้อนจะอยู่ที่ส่วนบนของอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ทางความร้อนชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพปานกลาง และมีภาระทางความร้อนประมาณ 10 – 100 MMBTU/hr

(จ) *Fire heater ชนิดวิคเก็ต (Vicket)*

Fire heater ชนิดนี้ออกแบบเป็นพิเศษโดยจัดทำให้พื้นผิวของการแผ่รังสีความร้อนมีลักษณะเป็นท่อรูปตัวยู นิยมใช้กันมากในโรงกลั่นน้ำมัน สำหรับภาระทางความร้อนที่ทำได้อยู่ในช่วงประมาณ 50 – 100 MMBTU/hr

(ฉ) *Fire heater ชนิดไฟคู่ (Double-Fired)*

เป็น Fire heater ที่ถูกออกแบบให้ท่ออยู่ในแนวตั้งในส่วนของการแผ่รังสีความร้อนมีท่อแถวเดียวในแต่ละห้องเผาไหม้ โดยมักจะออกแบบให้มีห้องเผาไหม้ 2 ห้อง โดยมีส่วนบนเป็นส่วนของการพาความร้อน



รูปที่ 5.2 Fire heater ที่จัดวางกลุ่มท่อในแนวนอน [1]

สำหรับ Fire heater แบบที่มีการวางกลุ่มท่อในแนวนอน อาจแบ่งเป็นประเภทต่างๆ (จากรูปที่ 5.2) ได้ดังนี้

(ก) *Fire heater ชนิดเคบิน (Cabin)*

Fire heater ลักษณะนี้จะมีกลุ่มท่อในส่วนของการพาความร้อนจัดวางอยู่ในแนวระดับเหนือกลุ่มท่อในส่วนของการแผ่รังสีความร้อนและห้องเผาไหม้ สำหรับหัวเผาอาจติดตั้งที่พื้นของอุปกรณ์หรือติดตั้งรอบๆผนังของห้องเผาไหม้ก็ได้ แต่จะต้องให้หัวเผาอยู่ต่ำกว่ากลุ่มท่อ โดยที่ Fire heater ชนิดนี้มีความเหมาะสมในแง่เศรษฐศาสตร์ มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง โดยมีภาระทางความร้อนประมาณ 10 – 100 MMBTU/hr

(ข) *Fire heater ชนิดกล่องคู่ (Two box)*

Fire heater ชนิดนี้จะแยกห้องเผาไหม้ออกเป็นสองส่วน หัวเผาจะติดตั้งอยู่ที่พื้นของ Fire heater ทั้งสองห้องเผาไหม้ โดยอุปกรณ์ทางความร้อนลักษณะนี้จะมีประสิทธิภาพสูง และมีภาระทางความร้อนอยู่ในช่วง 100 – 250 MMBTU/hr

(ค) *Fire heater ชนิดเคบินแบบมีผนังกั้น (Cabin with dividing bridge wall)*

กลุ่มท่อในส่วนที่มีการแผ่รังสีความร้อนของ Fire heater แบบนี้จะถูกจัดวางอยู่ในแนวระดับตลอดผนังของห้องเผาไหม้ สำหรับกลุ่มท่อในส่วนของการพาความร้อนจะอยู่ด้านบนของห้องเผาไหม้ และจะมีผนังกั้นแบ่งระหว่างช่องเพื่อที่จะสามารถควบคุมเปลวไฟในแต่ละช่องของห้องเผาไหม้ โดยหัวเผาจะติดตั้งอยู่ที่ผนังของห้องเผาไหม้แต่ละช่อง ภาระทางความร้อนของอุปกรณ์ชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 20 – 100 MMBTU/hr

(ง) *Fire heater ชนิดกล่องไฟ (End-Fired Box)*

ในกรณีนี้กลุ่มท่อในส่วนของการแผ่รังสีความร้อนจะถูกจัดวางอยู่ในแนวระดับตลอดผนังของห้องเผาไหม้และตลอดเพดานของ Fire heater สำหรับกลุ่มท่อในแนวระดับของส่วนของการพาความร้อนก็จะอยู่เหนือห้องเผาไหม้ขึ้นไป หัวเผาจะติดตั้งอยู่ที่ตอนปลายของผนัง เปลวไฟจะพุ่งออกจากหัวเผาไปในแนวระดับ โดยภาระทางความร้อนของอุปกรณ์ทางความร้อนชนิดนี้จะอยู่ในช่วง 5 – 50 MMBTU/hr

(จ) *Fire heater ชนิดกล่องไฟแบบมีส่วนการพาความร้อนติดตั้งด้านข้าง (Fired box with side-mounted convection section)*

Fire heater ลักษณะนี้จะมีกลุ่มท่อในส่วนของการแผ่รังสีความร้อนจัดวางในแนวระดับตลอดผนัง และเพดานของห้องเผาไหม้ และจะมีกลุ่มท่อในส่วนของการพาความร้อนจัดวางอยู่ในแนวระดับซึ่งถูกติดตั้งที่ด้านข้างของห้องเผาไหม้ สำหรับหัวเผาจะติดตั้งที่ปลายของผนังและเปลวไฟจะพุ่งออกในแนวระดับ สำหรับ Fire heater ชนิดนี้มีราคาค่าก่อสร้างสูง เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่มีเกรดต่ำ และมีความเข้มข้นสูง โดยมีภาระทางความร้อนประมาณ 20 – 200 MMBTU/hr

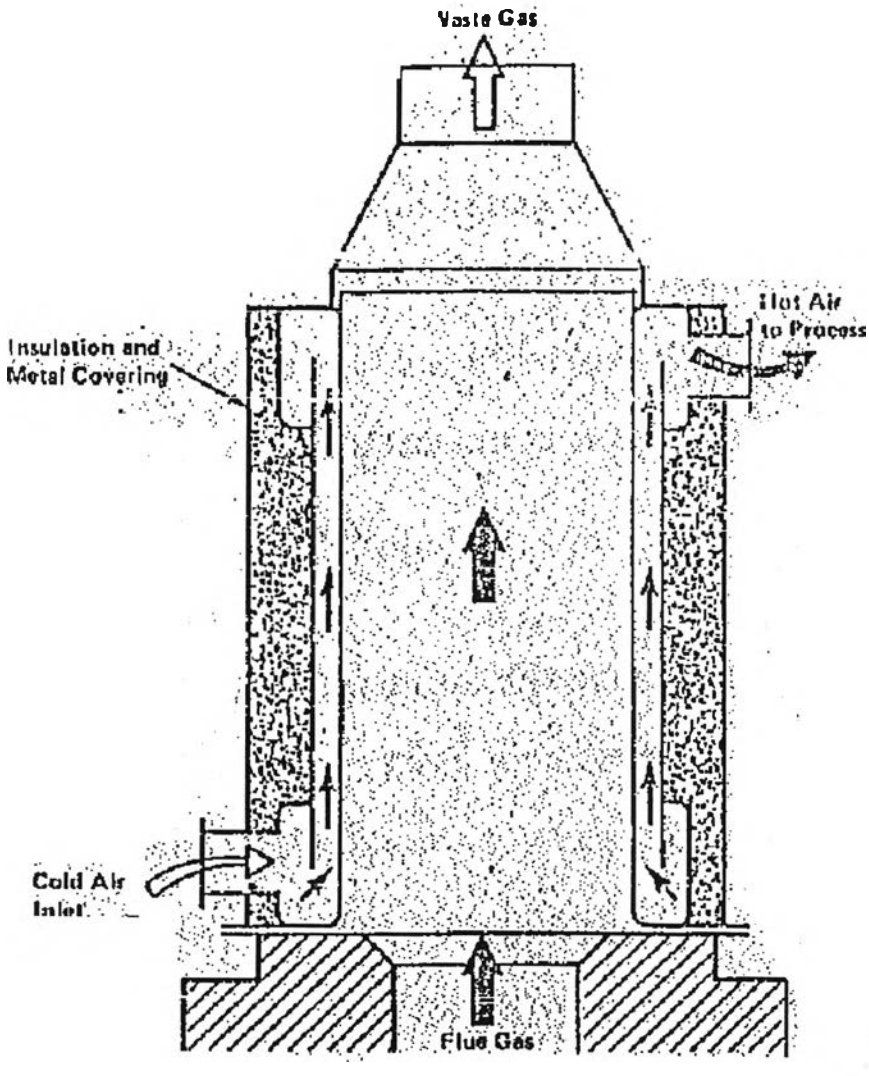
(ฉ) *Fire heater ชนิดไฟคู่ (Double fired)*

Fire heater แบบนี้จะมีกลุ่มท่อในส่วนของการแผ่รังสีความร้อนจัดวางอยู่ในแนวระดับเพียงแถวเดียว สำหรับเปลวไฟจะพุ่งออกจากหัวเผาขึ้นไปในแนวดิ่ง โดยที่หัวเผาจะติดตั้งอยู่ที่พื้นของ Fire heater ทั้งสองข้าง ทำให้การกระจายของความร้อนตลอดผิวของท่อเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ สำหรับภาระทางความร้อนของอุปกรณ์ชนิดนี้อยู่ในช่วง 20 – 50 MMBTU/hr

2) รีคูเปอเรเตอร์ (Recuperators)

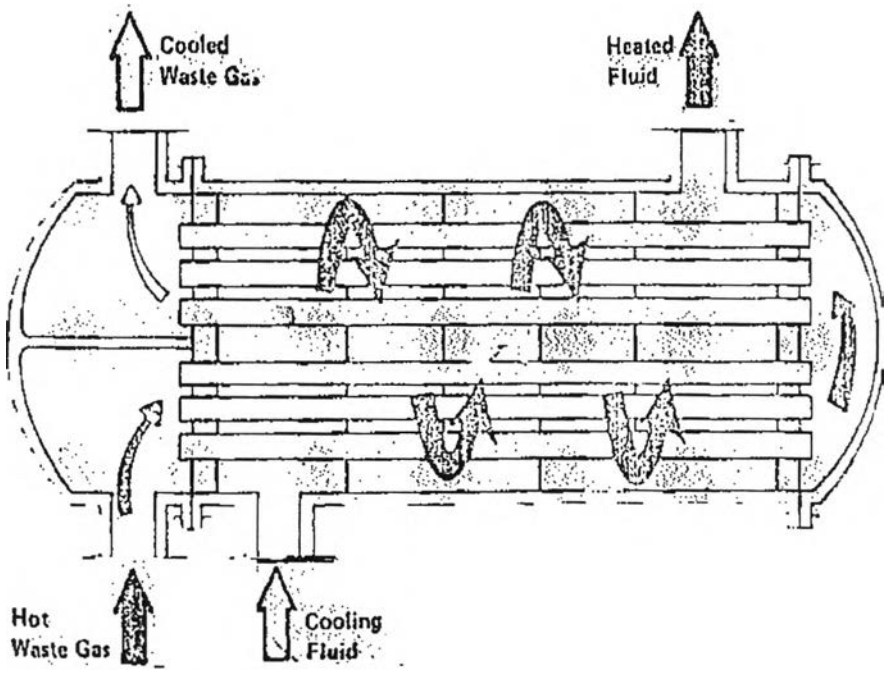
รีคูเปอเรเตอร์หรืออุปกรณ์อุ่นอากาศด้วยไอเสียเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็นซึ่งรูปแบบของอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถดูได้จากรูปที่ 5.3, 5.4 และ 5.5

ในรูปที่ 5.3 รีคูเปอเรเตอร์ เป็นแบบแผ่รังสี (Radiation type recuperator) ซึ่งประกอบไปด้วยท่อโลหะยาว 2 ท่อ ซ้อนกันอยู่ โดยที่ผิวด้านในท่อโลหะจะมีก๊าซร้อน หรือก๊าซไอเสียไหลผ่านและบริเวณวงแหวนด้านนอกก็จะมีอากาศเย็นไหลผ่าน โดยอากาศที่ผ่านรีคูเปอเรเตอร์แล้วจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกลายเป็นอากาศร้อน พร้อมที่จะนำไปเผาไหม้กับเชื้อเพลิงในหัวเผา ซึ่งนับว่าเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง ตัวอย่างการใช้รีคูเปอเรเตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่นการนำความร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตของเตาหลอมมาอุ่นอากาศให้ร้อนเพื่อนำไปอุ่นเชื้อเพลิง หรืออุ่นอากาศก่อนที่จะทำการเผาไหม้ได้ โดยรีคูเปอเรเตอร์ดังกล่าวนี้อาศัยกลไกของการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังผนังด้านในของท่อโลหะในรูปของการแผ่รังสีเป็นส่วนใหญ่ ส่วนอากาศหรือของไหลเย็นที่อยู่ในวงแหวนจะได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนเป็นหลัก



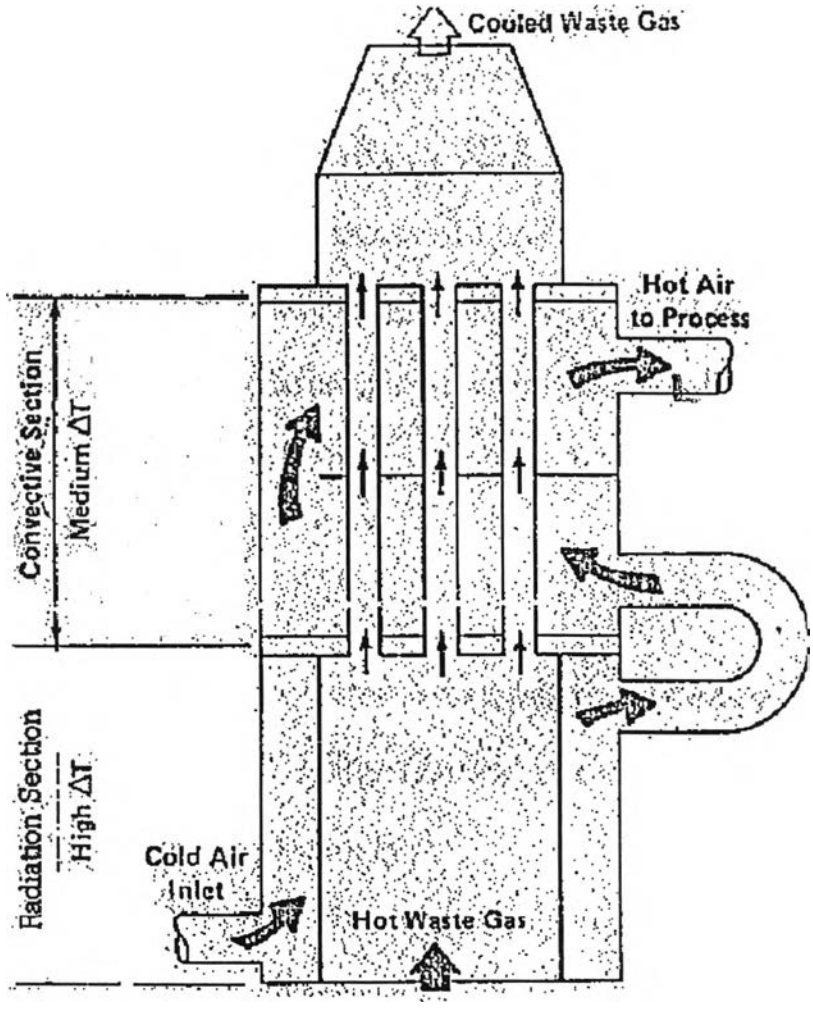
รูปที่ 5.3 รีคูเปอเรเตอร์ชนิดแผ่รังสี [1]

รูปที่ 5.4 แสดงรีคูเปอเรเตอร์ชนิดพาความร้อน (Convective type recuperator) ซึ่งเป็นรีคูเปอเรเตอร์ที่มีก๊าซร้อนไหลในท่อเล็ก ส่วนอากาศหรือของไหลเย็นจะไหลอยู่บริเวณรอบนอกของกลุ่มท่อเล็ก ซึ่งกลุ่มท่อดังกล่าวจะมีเปลือกหุ้มประกอบอยู่ด้วย โดยทั่วไปแล้วรีคูเปอเรเตอร์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ารีคูเปอเรเตอร์แบบแผ่รังสี ทั้งนี้เพราะมีพื้นผิวในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าและยังสามารถจัดวางกลุ่มท่อได้หลายลักษณะและออกแบบให้ก๊าซไหลได้หลายเที่ยว



รูปที่ 5.4 รีคูเปอเรเตอร์ชนิดพาความร้อน [1]

รูปที่ 5.5 แสดงรีคูเปอเรเตอร์ชนิดผสม (Combined radiation and convective type recuperator) ซึ่งเป็นรีคูเปอเรเตอร์ที่ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูง โดยระบบจะประกอบด้วยส่วนของการแผ่รังสีความร้อนและส่วนของการพาความร้อน โดยส่วนของการแผ่รังสีความร้อนจะเป็นส่วนที่มีสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิสูง เมื่อก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิสูงผ่านส่วนนี้อุณหภูมิจะลดลงแล้วจึงผ่านไปยังส่วนของการพาความร้อน โดยรีคูเปอเรเตอร์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าแบบอื่น



รูปที่ 5.5 รีคูเปอเรเตอร์ชนิดผสม [1]

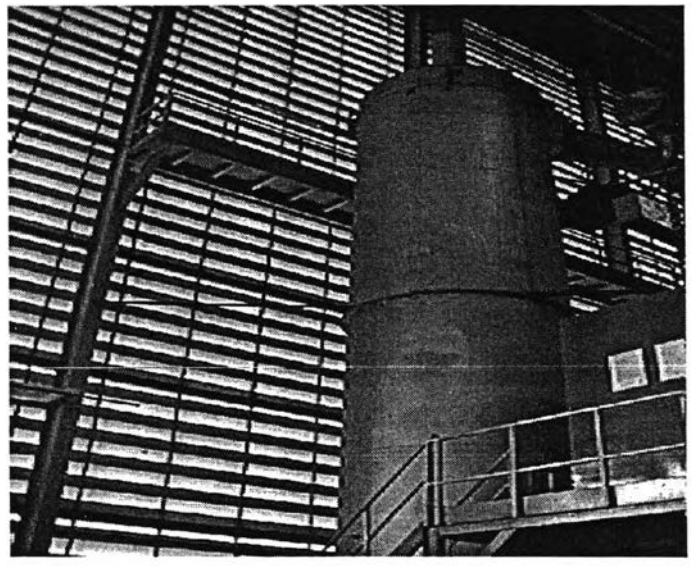
5.2 อุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air Preheater)

เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยการอุ่นอากาศและเชื้อเพลิงเป็นวิธีการที่ก่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ อากาศที่เข้าสู่กระบวนการเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งทำให้การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการลดลง และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ให้สูงขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าสามารถที่จะทำให้อากาศเผาไหม้ (Combustion air) มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศ จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และเพิ่มความสามารถในการผลิต

เนื่องจากระบบหลอมทองแดงของบริษัทสายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด เป็นระบบเตาหลอมทองแดงที่ขื้อต่อจากต่างประเทศ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในต่างประเทศในการหลอมทองแดงคือ ก๊าซธรรมชาติ แต่เมื่อนำมาติดตั้งที่บริษัทสายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ในปี 2537 ได้ใช้ก๊าซบิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมแทน ซึ่งก๊าซบิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนสูง สามารถที่จะทำให้ทองแดงหลอมได้โดยที่ไม่ต้องอุ่นอากาศเผาไหม้ แต่เมื่อโรงงานหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีค่าความร้อนน้อยกว่าก๊าซบิโตรเลียมเหลว การใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศช่วยอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถที่จะเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อรองรับการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมในอนาคตด้วย

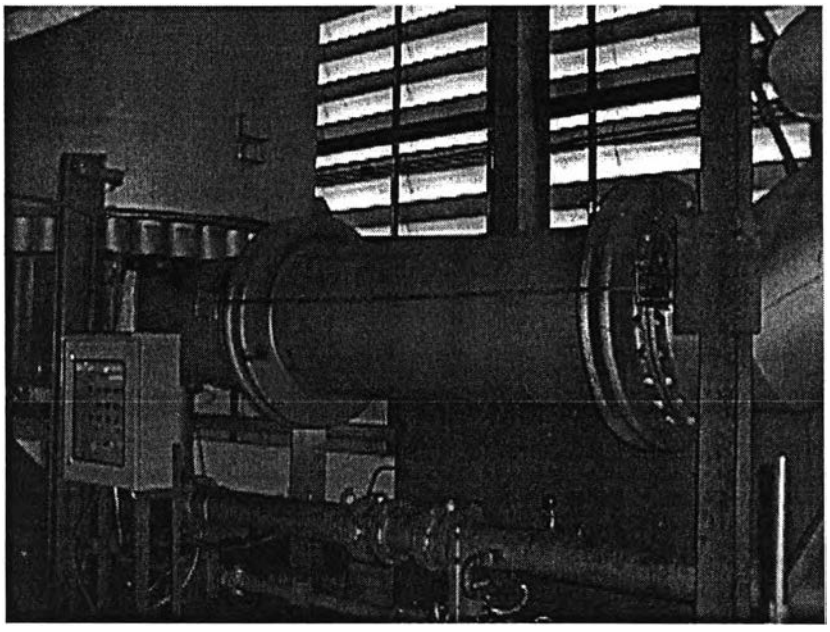
5.2.1 อุปกรณ์อุ่นอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับอุปกรณ์อุ่นอากาศที่ใช้ใน บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด (รูปที่ 5.6) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ อุปกรณ์อุ่นอากาศมีลักษณะเป็นทรงกระบอก สูง 13.17 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 250 มิลลิเมตร ผนังด้านในทำด้วยอิฐทนไฟ ซึ่งด้านในอุปกรณ์อุ่นอากาศประกอบไปด้วยท่อโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร เรียงแถวเดียวโดยรอบทรงกระบอกทั้งหมด 30 ท่อ อัตราการไหลสูงสุดของอากาศภายในอุปกรณ์เท่ากับ 12,000 Nm^3/hr และสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 400 °C ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้สร้างโดยบริษัท Dr-Ing Schack&Co.เมือง Dusseldorf ประเทศเยอรมันนี โดยอุปกรณ์อุ่นอากาศดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอุ่นอากาศโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้จากหัวเผาโดยตรง



รูปที่ 5.6 ก อุปกรณ์อุ่นอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 5.6 ข อุปกรณ์อุ่นอากาศและท่ออากาศเย็นเข้า



รูปที่ 5.6 ค อุปกรณ์อุ่นอากาศและท่ออากาศร้อนออก

5.2.2 ปัญหาและอุปสรรคในการซ่อมแซมอุปกรณ์อุ่นอากาศ

ปัญหาและอุปสรรคในการซ่อมแซมอุปกรณ์อุ่นอากาศก็คือ ตัวอุปกรณ์อุ่นอากาศเป็นระบบที่มาพร้อมกับเตาหลอมทองแดงซึ่งทางโรงงานซื้อระบบมาจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอม และใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศเพื่ออุ่นอากาศเผาไหม้ก่อนที่จะเผาไหม้ในหัวเผาของเตาหลอมทองแดง แต่เมื่อนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาติดตั้ง โรงงานไม่เคยใช้งานอุปกรณ์นี้ เพราะเริ่มต้นโรงงานใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอม ซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนสูงจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศ ดังนั้นจึงไม่มีคู่มือการใช้งานของอุปกรณ์ วิธีการทำงาน และระบบควบคุม ทำให้เกิดความยากในการศึกษาการทำงานของระบบ

เนื่องจากอุปกรณ์อุ่นอากาศที่มีเป็นระบบที่ค่อนข้างเก่า ดังนั้นอุปกรณ์ที่ติดตั้งมาพร้อมกับอุปกรณ์อุ่นอากาศ เช่น อุปกรณ์ปรับความดันก๊าซ อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ ก็มีอายุการใช้งานนาน บางตัวไม่สามารถที่จะทำงานได้ แบบและรุ่นของอุปกรณ์ก็เป็นรุ่นเก่า และต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง รวมทั้งจะต้องใช้เวลาในการจัดซื้อนาน ดังนั้นการแก้ปัญหาก็คือ นำ อุปกรณ์บางตัวที่มีอยู่ในโรงงานที่เป็นรุ่นหรือแบบที่ใกล้เคียงมาใช้แทน

การเดินท่อก๊าซที่เข้าสู่หัวเผาในอุปกรณ์อุ่นอากาศจะต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างสูง เนื่องจากการเดินท่อซึ่งต้องมีการเชื่อมจะทำให้เกิดประกายไฟ อาจทำให้เกิดการติดไฟของก๊าซซึ่งอาจจะรั่วออกมาได้

บนท่อก๊าซที่เข้าสู่อุปกรณ์อุ่นอากาศจะต้องมีวาล์วป้องกันในกรณีที่ฉุกเฉิน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบการทำงานของวาล์วดังกล่าวแล้วพบว่าไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาคือ ทำการถอดวาล์วออกและทำการปรับโดยใช้คนปรับเพราะไม่สามารถปรับอัตโนมัติได้ ดังนั้นการควบคุมความปลอดภัยในขณะเพิ่มหรือลดปริมาณก๊าซจะต้องควบคุมที่วาล์วควบคุมหลักอย่างเดียว

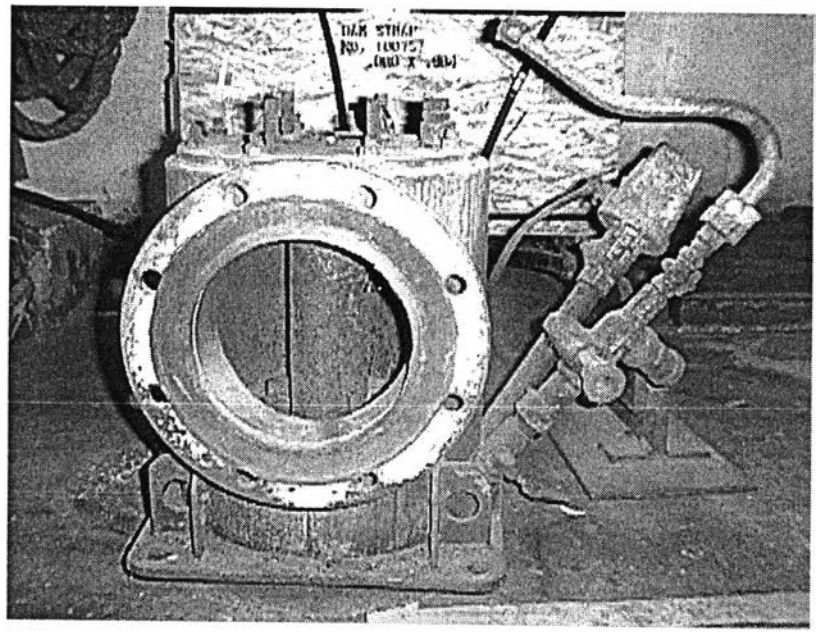
อุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศซึ่งใช้มอเตอร์เป็นตัวขับวาล์วก็ไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องทำอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศเองซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายในการที่จะต้องซื้อมอเตอร์ขับวาล์ว แต่ความแม่นยำในการปรับก็จะลดลงตามไปด้วย

ในการทดลองจะต้องเปลี่ยนทางเดินของอากาศให้เข้าสู่อุปกรณ์อุ่นอากาศ เพราะทางที่เดินเดิม อากาศจะถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาในเตาหลอมโดยตรง และทำการปิดทางเดินอากาศที่จะเข้าสู่อุปกรณ์อุ่นอากาศไว้ ดังนั้นการเปิดออกจำเป็นจะต้องใช้พนักงานจำนวนมาก และต้องใช้ Overhead crane ช่วยในการยกหน้าแปลนต่างๆซึ่งมีขนาดใหญ่ออก

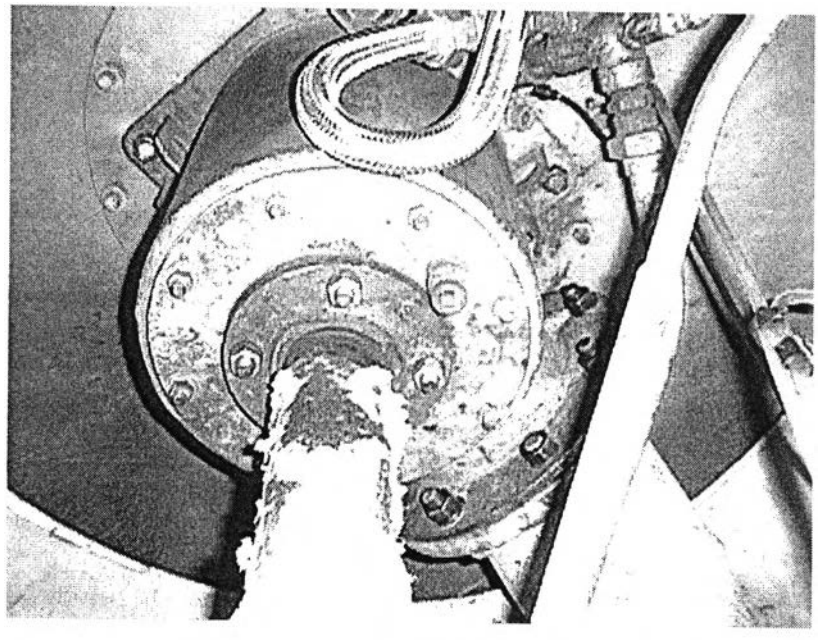
ดังนั้นในการใช้งานอุปกรณ์อุ่นอากาศในปัจจุบันจึงเป็นการใช้งานแบบใช้คนปรับ โดยถ้าต้องการให้เป็นระบบอัตโนมัติจะต้องมีการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มเติมเป็นจำนวนมาก ซึ่งการลงทุนก็จะมากตาม และในการเดินเครื่อง ระบบต่างๆต้องพร้อม เพราะถ้ามีระบบใดระบบหนึ่งเกิดปัญหาขึ้น ทุกระบบจะต้องปิด ซึ่งจากการสังเกตและทำงานในโรงงานพบว่า ระบบจะเกิดปัญหาบ่อย ซึ่งอาจจะเนื่องจากเป็นระบบที่เก่ามาก

5.2.3 หัวเผาที่ใช้ในอุปกรณ์อุ่นอากาศ

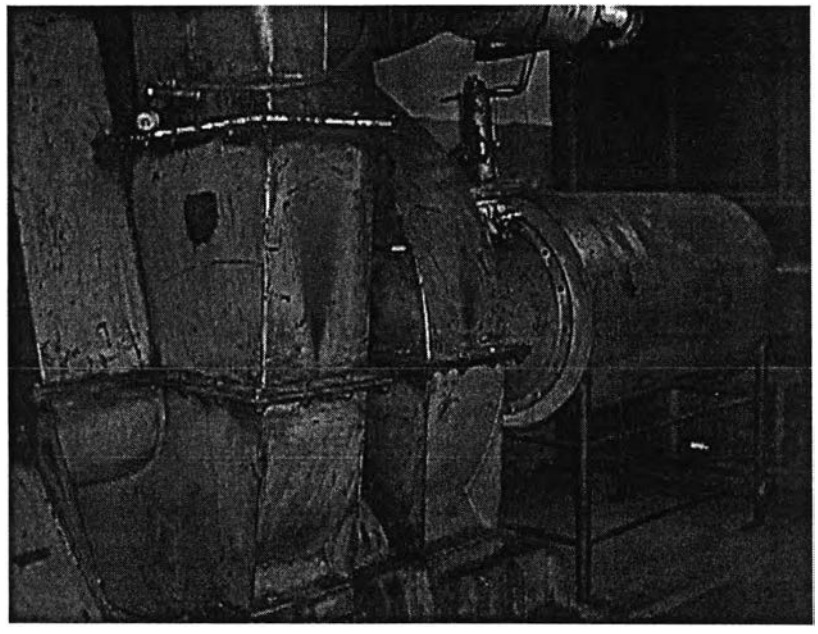
หัวเผาที่ใช้ในอุปกรณ์อุ่นอากาศเป็นหัวเผารุ่น 4795 MAGNA-FLAME Burners เป็นของบริษัท NORTH AMERICAN MFG.CO. 4455 East 71st Street CLEVE, OHIO 44105 ซึ่งมีข้อดีคือเป็นหัวเผาที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานกับระบบที่ต้องการกำลังการผลิตสูง มีความปลอดภัยในการใช้งาน การทำงานเงียบ และเปลวไฟมีเสถียรภาพ โดยมีช่วงการใช้งานอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกว้างจากช่วงที่เชื้อเพลิงมาก (Fuel rich) จนกระทั่งอากาศส่วนเกินสูงถึง 1,000% ซึ่งรูปหัวเผาถูกแสดงในรูปที่ 5.7 รูปที่ 5.8 แสดง Blower ของเตาหลอมและอุปกรณ์อุ่นอากาศ รูปที่ 5.9 แสดงท่อก๊าซและท่ออากาศของหัวเผาในอุปกรณ์อุ่นอากาศ และรูปที่ 5.10 แสดงตู้ควบคุมอุปกรณ์อุ่นอากาศ



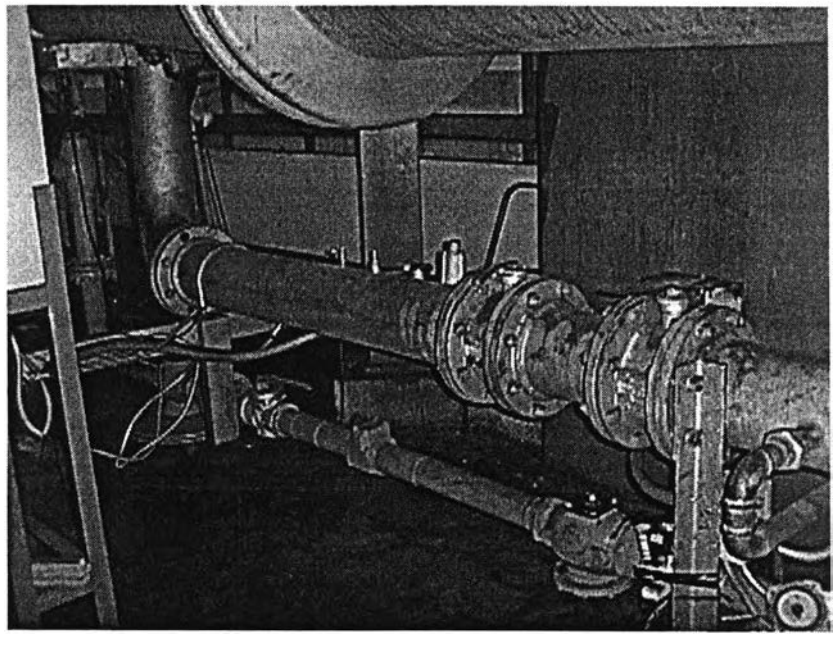
รูปที่ 5.7 ก หัวเผาก่อนติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์อุ่นอากาศ



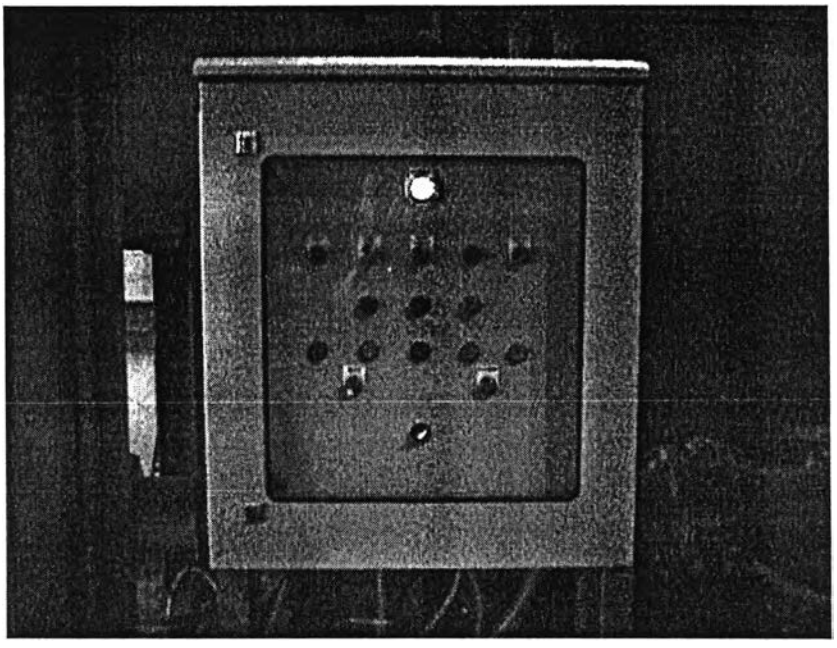
รูปที่ 5.7 ข หัวเผาหลังติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์อุ่นอากาศ



รูปที่ 5.8 Blower ของเตาหลอมทองแดงและอุปกรณ์อุ่นอากาศ



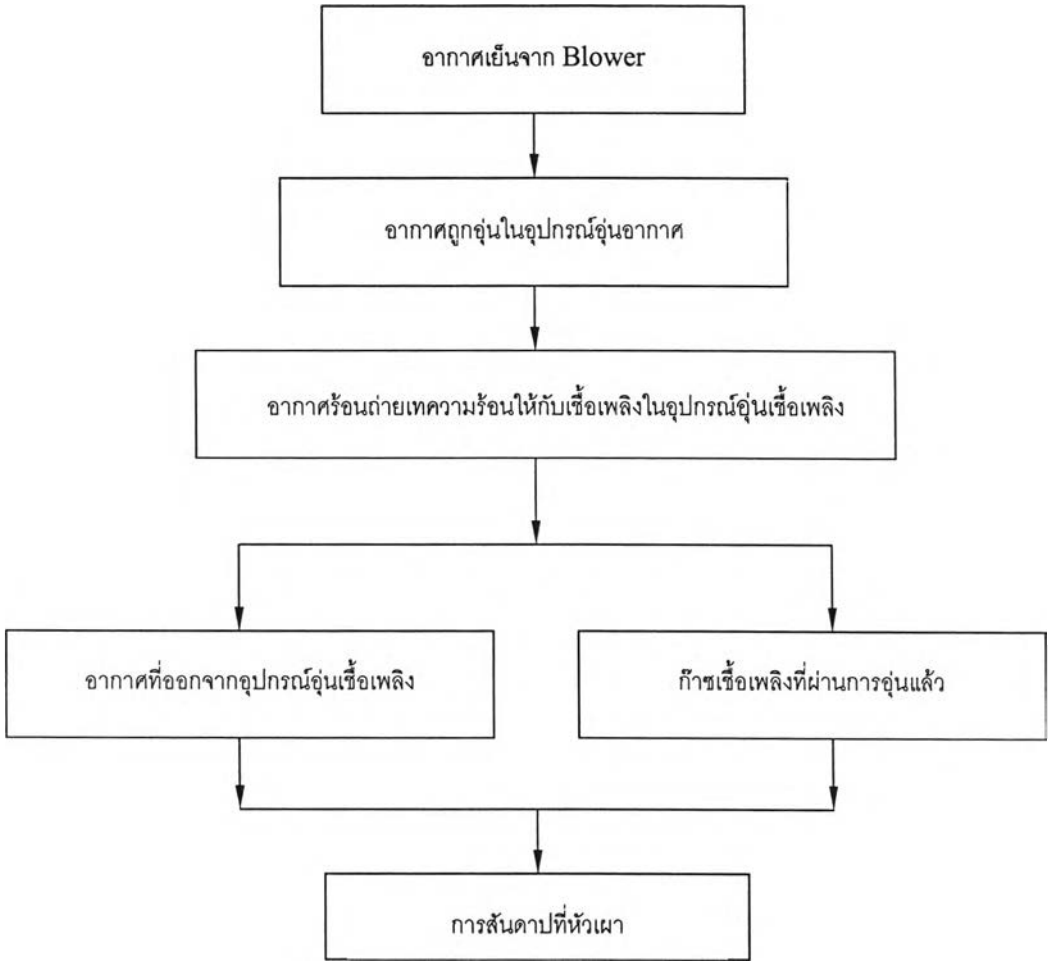
รูปที่ 5.9 ท่อก๊าซและท่ออากาศของหัวเผาในอุปกรณ์อุ่นอากาศ



รูปที่ 5.10 ตู้ควบคุมของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

5.3 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

อากาศจะถูกส่งจากเครื่องดูดอากาศ (Blower) มาตามท่อ จากนั้นอากาศจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์อุ่นอากาศซึ่งประกอบด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร ทั้งหมด 30 ท่อ ภายในอุปกรณ์อุ่นอากาศ อากาศที่อยู่ภายในท่อจะถูกอุ่นให้ร้อนขึ้นด้วยความร้อนจากการสันดาปจากหัวเผา อากาศที่ออกจากอุปกรณ์อุ่นอากาศจะร้อนขึ้นและไหลเข้าสู่อุปกรณ์อุ่นเชื้อเพลิงเพื่อทำการอุ่นเชื้อเพลิง หลังจากนั้นอากาศและเชื้อเพลิงก็จะเข้าทำการสันดาปที่หัวเผาทั้ง 26 หัว ที่เตาหลอมทองแดงดังแสดงตามแผนภูมิในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การทำงานของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

5.4 สมมติฐานที่ใช้ในการพิจารณาอุปกรณ์อุ่นอากาศ

1. สมมุติว่าการทำงานอยู่ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady State)
2. พิจารณาว่าพลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีผลต่อระบบน้อยมากและจากข้อสมมติฐานที่ว่าการไหลอยู่ในสภาวะคงตัว ดังนั้นความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านอุปกรณ์อุ่นอากาศจึงมีค่าคงที่ตลอดอุปกรณ์อุ่นอากาศ
3. ไม่คิดแหล่งให้ความร้อน (Source) และแหล่งรับความร้อน (Sink) ในผนังของอุปกรณ์อุ่นอากาศหรือในของไหล
4. อุณหภูมิของของไหลที่ไหลผ่านหน้าตัดใดๆของอุปกรณ์อุ่นอากาศมีค่าคงที่
5. คุณสมบัติต่างๆของของไหลมีค่าคงที่และแทนได้ด้วยค่าเฉลี่ยของของไหลที่เข้าและออกอุปกรณ์อุ่นอากาศ
6. ความเร็วของของไหลที่หน้าตัดใดๆมีความสม่ำเสมอ (Uniform)
7. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใดๆมีค่าคงที่ตลอดทั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ

5.5 การทำสมดุลความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

Shires (อ้างถึงใน [20]) ได้แนะนำหลักการทำสมดุลความร้อนสำหรับอุปกรณ์อุ่นอากาศดังแสดงในรูปที่ 5.12 ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_g + \dot{Q}_l + \dot{Q}_p \qquad (5.1)$$

เมื่อ

$\dot{Q}_f$ คือ ความร้อนเนื่องจากการสันดาปเชื้อเพลิง

$\dot{Q}_g$ คือ ความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศในท่อ

$\dot{Q}_l$ คือ ความร้อนสูญเสียผ่านผนังอุปกรณ์อุ่นอากาศ

$\dot{Q}_p$ คือ ความร้อนจากก๊าซไอเสีย

การถ่ายเทความร้อนจากก๊าซเสียไปสู่กลุ่มท่อในส่วนการพา คือ การพาความร้อนแบบบังคับจากก๊าซร้อนไปสู่อากาศที่ไหลอยู่ภายในกลุ่มท่อ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการของ Colburn (อ้างถึงใน [20])

$$\mathrm{Nu} = a\,\mathrm{Re}_{f,d}^{0.6}\,\mathrm{Pr}_{f}^{0.33} \qquad (5.2)$$

เมื่อ

Nu	คือ	ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number)
a	คือ	ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 0.33 สำหรับท่อที่เรียงกันแบบเยื้อง หรือ 0.26 สำหรับท่อที่เรียงกันเป็นแนว
Re	คือ	ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)
Pr	คือ	ตัวเลขแพรนด์เทิล (Prandtl Number)

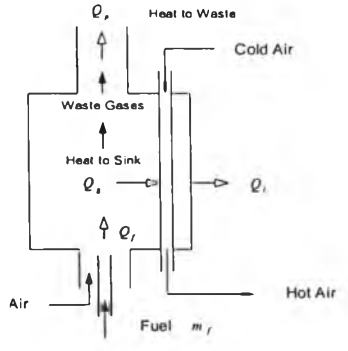
โดยคุณสมบัติต่างๆจากสมการ (5.2) ถูกคำนวณได้ที่อุณหภูมิฟิล์ม (Film Temperature)

ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซร้อนไปสู่ท่อรับความร้อน สามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{\mathrm{rad}} = h_{gR_T}^{'}(T_g - T_w) \qquad (5.3)$$

เมื่อ

$\dot{Q}_{\mathrm{rad}}$	คือ	การแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซร้อน
$h_{gR_T}^{'}$	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของก๊าซร้อน
T_g	คือ	อุณหภูมิของก๊าซร้อน
T_w	คือ	อุณหภูมิผนังท่อรับความร้อน



รูปที่ 5.12 สมดุลความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศ [20]

5.6 การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยส่วนใหญ่แล้วอุตสาหกรรมที่มีพลังงานความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบให้ดีขึ้นและช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยความร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้ จะถูกนำกลับมาเพื่ออุ่นอากาศและเชื้อเพลิง หรืออุ่นวัตถุดิบก่อนที่จะทำการเผาไหม้ แต่เนื่องจากเหตุผลทางด้านความปลอดภัย และการเกิดเขม่า ทำให้การอุ่นเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิสูงไม่ได้รับความนิยมมากนัก โดยมากจะทำการอุ่นอากาศที่จะเข้าทำการเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงก่อนที่จะทำการเผาไหม้แทน เพราะอากาศที่ถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการเผาไหม้ได้ง่ายขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เปลวไฟที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพมากกว่าอากาศที่ไม่ได้อุ่น รวมทั้งทำให้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิเปลวไฟเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปสู่วัสดุ โดยอุณหภูมิเปลวไฟจะสูงมากถ้าตัวออกซิไดซ์เป็นออกซิเจนบริสุทธิ์ เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) เมื่อเผาไหม้กับอากาศจะมีอุณหภูมิเปลวไฟประมาณ 2300 K ในขณะที่เมื่อเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์จะมีอุณหภูมิเปลวไฟประมาณ 3000 K เนื่องจากในอากาศจะมีส่วนผสมของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นตัวเจือจางทำให้อุณหภูมิเปลวไฟลดลง นอกจากนี้การอุ่นอากาศยังทำให้ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงกว่าอากาศธรรมดาที่ไม่ผ่านกระบวนการอุ่น อีกทั้งยังทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน และลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ลง เทคโนโลยีการเผาไหม้ด้วยอากาศที่อุณหภูมิสูงเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้สามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิง รวมทั้งลดขนาดความเข้มข้นของมลพิษลงได้ ในขณะที่ยังคงสามารถรักษาสมรรถนะของระบบได้สูงเท่าเดิม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเผาไหม้ด้วยอากาศที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น

5.6.1 เทอร์ไมไดนามิกส์ของกระบวนการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง เป็นกระบวนการที่อากาศเผาไหม้ถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดี เพราะพลังงานที่อยู่ในอากาศที่อุ่นจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้เร็ว ทำให้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีขึ้น โดยพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ แสดงได้ดังสมการ

$$\int_{T_0}^{T_f} C_p dT = Q_c + Q_a = H_f + H_0 \qquad (5.4)$$

เมื่อ

T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น

T_f คือ อุณหภูมิสุดท้าย

Q_c คือ ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี

Q_m คือ พลังงานที่เพิ่มเข้า

H_0 คือ เอนทาลปีที่สภาวะเริ่มต้น

H_f คือ เอนทาลปีที่สภาวะสุดท้าย

โดยพลังงานความร้อนเนื่องจากก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะช่วยให้อุณหภูมิเปลวไฟมีค่าสูงขึ้น โดยพลังงานบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา (Reaction zone) จะมีค่าสูงกว่าพลังงานในระดับปกติ ซึ่งเรียกพลังงานส่วนเกินนี้ว่า การเผาไหม้ของเอนทาลปีส่วนเกิน (Excess enthalpy combustion) ซึ่งโดยทั่วไปการนำเอนทาลปีไหลวนกลับมาใช้ในกระบวนการเผาไหม้ จะทำให้เปลวไฟมีเสถียรภาพมากขึ้น สามารถควบคุมการเกิดปฏิกริยาได้ง่าย และเป็นการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ฟลักซ์ความร้อนของเปลวไฟจากอากาศที่ถูกอุ่นจะมีค่าสูง ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถนิยามประสิทธิภาพการเผาไหม้ดังนี้

$$\eta_{comb} = \frac{(CO_2)_{flue\ gas}}{(CO_2 + CO)_{flue\ gas}} \tag{5.5}$$

เมื่อ

η_{comb} คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้

CO_2 คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซไอเสีย

CO คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซไอเสีย

5.6.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

อุณหภูมิมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างง่ายขั้นตอนเดียวเพราะทำให้ค่าคงตัวอัตราการเกิดปฏิกริยา (Rate constant) เปลี่ยนแปลงในกรณีที่แปรเปลี่ยนอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาจะส่งผลกระทบต่อค่าคงตัวอัตราการเกิดปฏิกริยาจำเพาะ โดย Arrhenius เป็นบุคคลแรกที่ได้ทำการศึกษาและทดลองซึ่งแสดงได้ดังสมการ

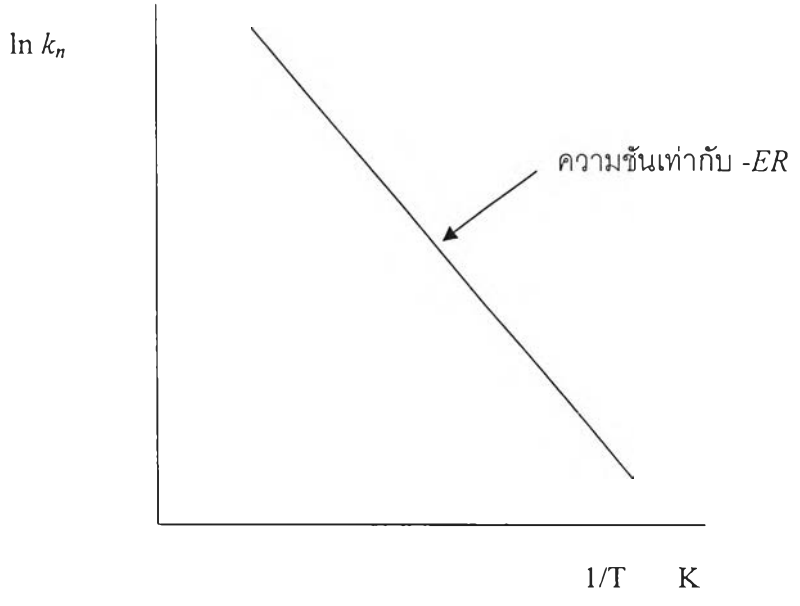
$$k_n = Ae^{-E/RT} \tag{5.6}$$

เมื่อ

k_n คือ ค่าคงตัวอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ

A	คือ	ตัวประกอบความถี่ (Frequency factor)
E	คือ	พลังงานก่อกัมมันต์
T	คือ	อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา

โดยเรียกสมการที่ (5.6) ว่า กฎค่าคงตัวอัตราการเกิดปฏิกิริยาของอาร์เรเนียส (Arrhenius'law of reaction rate constant) เมื่อค่า A และ E หาได้จากกราฟรูปที่ 5.13 ซึ่ง Arrhenius ได้สรุปว่า ปริมาณ exp(-E/RT) แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างจำนวนโมเลกุลที่มีพลัง (Special หรือ energetic molecules) ที่สามารถเข้าร่วมก่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ต่อจำนวนโมเลกุลทั้งหมดโดยจะมีพลังงานดังกล่าวได้ไม่ทุกโมเลกุล หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ปริมาณ exp(-E/RT) แสดงถึงสัดส่วนของโมเลกุลที่มีพลังงานอย่างน้อยเท่ากับ E ขึ้นไป และนี่คือเหตุผลที่เรียกค่า E ว่าพลังงานก่อกัมมันต์ โดยค่า E/RT คือค่าความชันของกราฟในรูปที่ 5.13 ในขณะที่ค่า A เป็นค่าที่ใหญ่มากเพราะแสดงถึงความถี่หรือจำนวนครั้งของการชนระหว่างโมเลกุลในระบบที่เกิดปฏิกิริยานั้นจึงเรียกค่าดังกล่าวว่าตัวประกอบความถี่ (Frequency factor) หรือตัวประกอบข้างหน้าเอกซโพเนนเชียล (Pre-exponential factor)



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าคงตัวอัตราการเกิดปฏิกริยาจำเพาะ [21]