บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) เป็นตัวหลักในการส่งเสริมการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งในบรรดาอุตสาหกรรมเหล่านั้น อุตสาหกรรมเซรามิคก็เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยปีละหลายร้อยล้านบาท ดังนั้นทางภาครัฐจึงมีวัตถุประสงค์ในการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการประหยัดพลังงานในสถานประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิคเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก โดยได้ให้ความรู้ทางวิชาการที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน และช่วยเหลือทางด้านเทคนิคต่างๆเท่าที่จะทำได้ เพื่อเป็นการส่งเสริมการขยายตัวของอุตสาหกรรมประเภทนี้ให้เพิ่มมากขึ้นและทำให้ลดการขาดดุลทางการค้ากับต่างประเทศลง

อุตสาหกรรมเซรามิคเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ความร้อนสูงจากเชื้อเพลิงโดยตรงและใช้เวลานาน ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก โดยประมาณว่า 35% ของต้นทุนทั้งหมดมาจากการใช้เชื้อเพลิง (ก๊าซ LPG) แต่ถ้าสามารถช่วยให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้ประหยัดพลังงานลงได้ โดยไม่มีผลเสียใดๆ ต่อการผลิตและยังได้ผลดีกว่าเดิม นอกจากจะเป็นการลดต้นทุนแล้ว พลังงานที่ประหยัดได้จากอุตสาหกรรมนี้ย่อมเป็นแหล่งพลังงานสำคัญอีกแห่งสำหรับการใช้ในอนาคตประกอบกับในปี 2544 แนวโน้มราคาค่าก๊าซ LPG มีท่าทีจะสูงขึ้น

เตาเผาเซรามิคเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอันหนึ่งในกระบวนการผลิต ซึ่งเตาที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งมีอยู่จำนวนมาก เป็นเตาที่ใช้อิฐทนไฟเป็นฉนวนกันความร้อน แม้ว่าจะใช้ได้ดีตลอดมาแต่การสูญเสียความร้อนที่ผ่านอิฐออกไป และที่ถูกดูดซึ่งอยู่ในเนื้ออิฐมีมาก ซึ่งจากการทดลองในโรงงานเซรามิค 2 แห่ง ที่จังหวัดเชียงใหม่และลำปาง โดยศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย พบว่าการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิคจะทำได้ โดยการปรับปรุงเตาเผาให้มีการสูญเสียหรือรั่วไหลของพลังงานออกจากเตาน้อยที่สุด วิธีการหนึ่งคือ การใช้เซรามิคไฟเบอร์เป็นฉนวนกั้นความร้อน จากการเปรียบเทียบผลของการใช้เตาที่บุด้วยอิฐทนไฟกับเตาที่บุด้วยเซรามิคไฟเบอร์ในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน ปรากฏว่า เตาที่ใช้เซรามิคไฟเบอร์เป็นฉนวนใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าเตาที่บุด้วยอิฐทนไฟถึง 50%

เตาเผาเซรามิคที่ใช้ไฟเบอร์เป็นฉนวนจึงมีประสิทธิภาพที่สูงอีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการเผาลงทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง และมีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาที่ดีทำให้เกิด

ความเสียหายกับผลิตภัณฑ์น้อยมาก แต่จากการประเมินผลในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเตาเผาเซรามิคไฟเบอร์โดยมูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพพลังงาน(ประเทศไทย)พบว่า พลังงานที่ถูกปล่อยทิ้งโดยเฉลี่ยจะอยู่ในราว 35-50% ในรูปของความร้อนที่ปล่อยทิ้งทางปล่องซึ่งมีอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากปล่อยประมาณ 700-1000°C นับว่าพลังงานยังถูกปล่อยทิ้งอย่างเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก ซึ่งการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการดำเนินการต่อไป ดังนั้นโครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากเตาเผาเซรามิคที่ใช้ไฟเบอร์เป็นฉนวนกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperator

รูปที่ 1.1 กราฟแสดงค่าการประหยัดพลังงานจากการอุ่นอากาศ

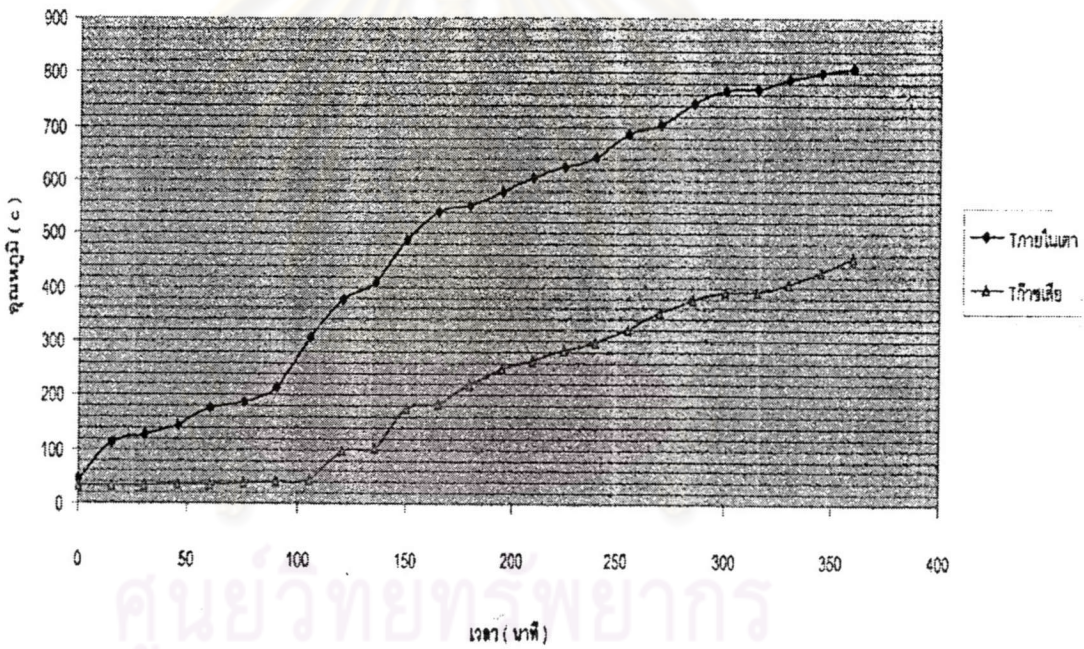
จากรูปที่ 1.1 แสดงค่าการประหยัดพลังงานจากการอุ่นอากาศ และเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิก๊าซทิ้งประมาณ 800-1000°C อากาศที่ทำให้ร้อนอยู่ในระดับ 300-500°C จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณ 20% แต่ก่อนที่จะทำการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ควรจะทราบถึงรายละเอียดและขั้นตอนวิธีการผลิตเซรามิควิธีการเผาของเตาเผาเซรามิคเสียก่อนว่ามีรายละเอียดอย่างไรบ้าง

การเผาเซรามิคในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิค จะมีการเผาแบบหนึ่งครั้งและสองครั้ง คือ ถ้าเป็นการเผาแบบหนึ่งครั้ง จะเป็นการเผาภายหลังจากการเคลือบสีหรือเคลือบน้ำยาเคมีเรียกว่า

การเผาเคลือบ ส่วนการเผาแบบสองครั้ง ครั้งแรกจะเป็นการเผา Biscuit หรือเผาดิบ และหลังจากนั้นก็จะทำการเผาเคลือบ อีกครั้งหนึ่ง โดยเตาเผาจะเป็นเตาเดี่ยว Shuttle kiln ซึ่งมีรายละเอียดของการเผาในเตาดังนี้

1. การเผาดิบ Biscuit

จะใช้การเผาแบบ Oxidation Flame มีอุณหภูมิในการเผาประมาณ 800°C โดยตอนแรกอุณหภูมิภายในเตาจะเริ่มที่ประมาณ 35-45°C และอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสุดท้ายมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 700-800°C ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้นผลผลิตจะถูกทิ้งไว้ในเตาให้เย็นตัวลง ซึ่งเป็นช่วงลดความร้อนใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้น ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก็เป็นอันเสร็จขั้นตอนการเผา Biscuit หรือเผาดิบ

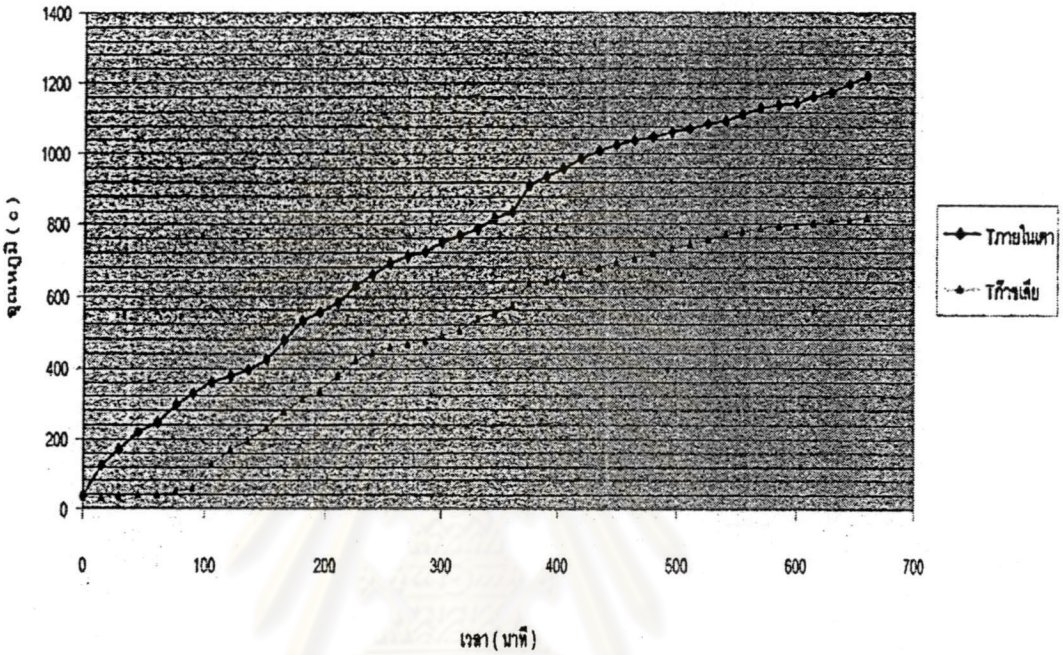


รูปที่ 1.2 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาเผาและอุณหภูมิก๊าซเสียในการเผาดิบ

2. การเผาเคลือบ

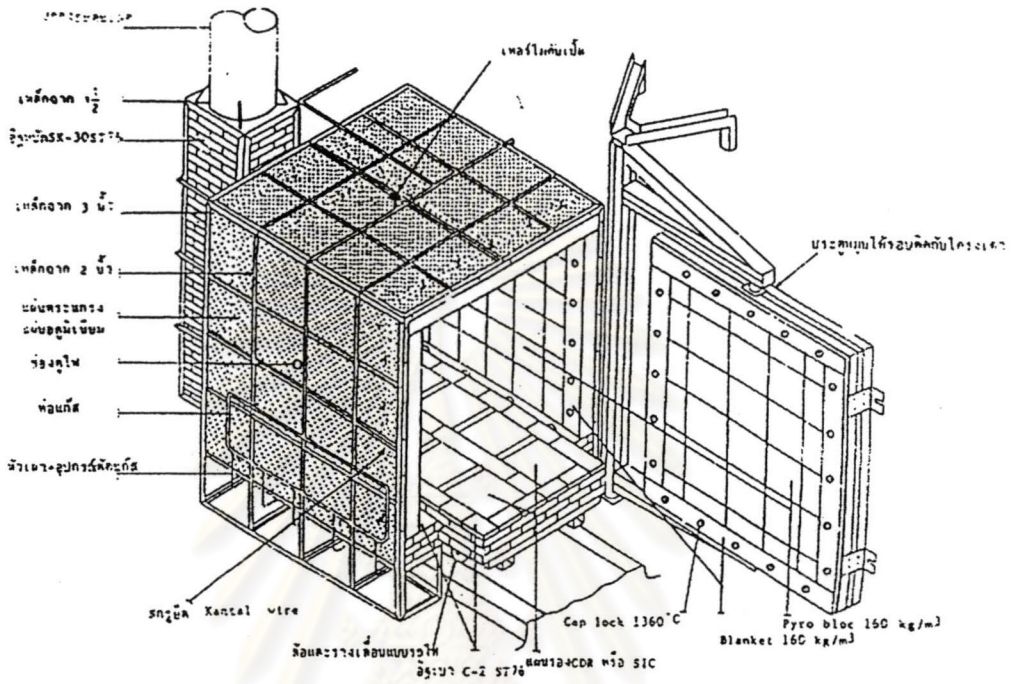
หลังจากที่ทำการเผา biscuit แล้ว ผลิตภัณฑ์จะถูกลงสี และน้ำยาเคมี เพื่อใช้ผลิตภัณฑ์มีสีตามต้องการและเกิดความเงางาม โดยตอนแรกอุณหภูมิภายในเตาจะเริ่มที่ประมาณ 35-45°C และอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสุดท้ายจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ

1,100-1,300°C ใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นจะทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 12 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้น ขึ้นอยู่กับผลผลิตชนิดนั้นต้องการความแกร่งแค่ไหน เป็นอันเสร็จขั้นตอนการเผาเซรามิคโดยใช้เตาเผา



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาเผาและอุณหภูมิก๊าซเสียในการเผาเคลือบ

เตาเผาเซรามิคไฟเบอร์ประสิทธิภาพสูง ใช้ไฟเบอร์ที่มีลักษณะเป็นบล็อกในการบุผนัง ทนอุณหภูมิได้สูง การบำรุงรักษาง่าย น้ำหนักเบาดูดซับความร้อนได้น้อยเมื่อเทียบกับอิฐทนไฟ ทำให้การเผาใช้เชื้อเพลิงน้อยลง และทำให้ช่วยลดมวลภาวะอันเกิดจากก๊าซเสีย นอกจากนี้เตาเผาเซรามิคยังได้ใช้ Damper เป็นตัวควบคุม Draft ภายในเตาให้เกิดบรรยากาศที่ต้องการ ลักษณะของหัวเผาได้มีการออกแบบเป็นแบบ High Pressure nozzle ช่วยลดระยะเวลาในการเผาเพราะสามารถเร่งไฟได้ ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดจะถูกแสดงในภาพที่ 1.4



รูปที่ 1.4 รูปแสดงโครงสร้างเตาเผาเซรามิคไฟเบอร์

จากการประเมินผลในด้านประสิทธิภาพของเตาเผาเซรามิคไฟเบอร์ประสิทธิภาพสูง ของศูนย์บริการทางวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าที่ปล่องก๊าซเสียของเตาเผามีอุณหภูมิก๊าซร้อนที่สูงมากและสามารถนำก๊าซร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก โดยนำมาผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศ Recuperator ซึ่งจะเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG ลง เนื่องจากก๊าซร้อนที่ทิ้งไปนี้จะถูกนำกลับมาใช้ในการอุ่นอากาศเพื่อใช้เผาไหม้ภายในเตา ซึ่งอุปกรณ์ชนิดดังกล่าวยังไม่มีผู้ผลิตมาใช้กับเตาเผาเซรามิคไฟเบอร์ประสิทธิภาพสูงที่ใช้อยู่ในประเทศไทย ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการทำการศึกษาวิจัยและออกแบบสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศที่ใช้กับเตาเผาเซรามิคไฟเบอร์ขึ้นมาใช้โดยอาศัยความรู้และเทคโนโลยีภายในประเทศและทำอย่างมีระบบและเป็นตัวต้นแบบสำหรับการพัฒนาต่อไป

กล่าวโดยสรุป จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือการนำความรู้ทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศ พึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศให้น้อยที่สุด โดยอาศัยความร้อนที่ปล่อยทิ้งแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ให้ได้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาถึงความเหมาะสมในการนำความร้อนที่สูญเสียจากเตาเผาเซรามิคประสิทธิภาพสูงนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperator และป้อนอากาศโดยใช้ พัดลมเป่าอากาศหรือ Blower แบบ Force draft โดยพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมกับความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิตเซรามิค ความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และความเหมาะสมของการใช้พลังงานในทางเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลและลักษณะการทำงานของเตาเผาเซรามิคประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาแนวทางในการลดการสูญเสียพลังงาน
2. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาเซรามิคประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperator เพื่อติดตั้งกับเตาเผาเซรามิคประสิทธิภาพสูง
4. ดำเนินการเก็บข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องหลังจากติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperator แล้วนำไปใช้กับสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพทางพลังงานของเตาเผาเซรามิคประสิทธิภาพสูง(ในกรณี) ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperator
5. พิจารณาถึงความเหมาะสมของการใช้พลังงาน ความคุ้มค่าน่าลงทุน และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

1.4 ขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนโดยละเอียดของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะถูกแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษารวบรวมเตาเผาเซรามิคที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
    - 1.1 ศึกษาถึงลักษณะของเตาเผาเซรามิคแบบต่างๆที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียในแต่ละแบบสำหรับพิจารณาในการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
    - 1.2 ตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องของเตาเผาเซรามิคที่เลือกไว้ในการติดตั้งอุปกรณ์
    - 1.3 ทำการสมดุลมวล และสมดุลพลังงานของเตาเผา
    - 1.4 หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิค
2. ขั้นตอนการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
    - 2.1 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
    - 2.2 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ
    - 2.3 ศึกษาถึงความเหมาะสมในการเลือกวัสดุที่จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อน
    - 2.4 ทำการเขียนแบบและดำเนินการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
3. ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและวัดผล
    - 3.1 ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างเข้ากับปล่องก๊าซเสียของเตาเผาเซรามิค
    - 3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในการใช้งาน
    - 3.3 ตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ
    - 3.4 ทำการสมดุลมวล และสมดุลพลังงานของเตาเผาเซรามิค
    - 3.5 ทำการหาประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
    - 3.6 ทำการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเซรามิคประสิทธิภาพสูงซึ่งได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
4. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการสรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
5. เปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพทางพลังงานของเตาเผาเซรามิคในกรณีติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมในการลงทุน(ค่า Payback period ,ค่า Internal rate of return)
6. รวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาเรียบเรียงดำเนินการพิมพ์และจัดเข้ารูปเล่มวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperator สำหรับเตาเผาเซรามิคให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากและสามารถประยุกต์ใช้กับเตาเผาเซรามิคขนาดต่างๆ
2. เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ในอุตสาหกรรมเซรามิค โดยการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากก๊าซสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์
3. เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการตัดสินใจของผู้ประกอบการในการปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาเผาเซรามิคให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
4. เพื่อเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ประกอบการในการลงทุน

1.6 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

สมศักดิ์ จรีเวรุไวโรจน์ ได้ศึกษาวิจัยการนำความร้อนทิ้งจากเตาคิวโบล่ากลับมาใช้ใหม่โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบอุ่นอากาศ Recuperator และทำการศึกษาถึงกระบวนการหลอมเหล็กโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงและดำเนินการตรวจสอบการใช้พลังงานในอดีตโดยพิจารณาจากข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม พบว่ามีพลังงานความร้อนที่สูญเสียทางปล่องเตา 28.46% และมีอุณหภูมิของไอเสียที่ปล่อยทิ้งอยู่ในช่วง 700-900°C หลังจากทำการออกแบบและสร้าง Recupertor ชนิด Multitube type จำนวนท่อถ่ายเทความร้อน 364 ท่อ 2 กลับ พบว่าใน 2 วันสามารถประหยัดการใช้ถ่านโค้กได้ 86 กิโลกรัมต่อการหลอม 3 ชั่วโมง คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 714 บาท ต่อการหลอม 3 ชั่วโมง คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 1.35 ปี

Prida Wibulswas **และ** M. Ng-Charoen ได้ทำการศึกษา การนำพลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ใหม่ โดยพิจารณาและวิเคราะห์จากเตาที่ใช้หลอมเหล็ก โดยวัดค่าจากการผลิตจริงๆ โดยพิจารณาจากกฎข้อที่หนึ่ง และข้อที่สอง ทางเทอร์โมไดนามิคส์ พบว่าจะได้ประสิทธิภาพต่ำมากประมาณ 2.5% และ 1.5% ตามลำดับ พลังงานที่ปล่อยทิ้งของก๊าซเสีย มี68% และอุณหภูมิของก๊าซเสีย 1,100°C ดังนั้นจึงควรมีการนำพลังงานที่สูญเสียนี้กลับมาใช้ จากการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่จะใช้ติดตั้งโดยพิจารณาถึง อากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งได้ก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งเป็นแหล่งความร้อนจากสมการสมดุลพลังงานสามารถคาดเดาประสิทธิภาพของเตาเผาได้ โดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณ พบว่า ถ้าใช้เชื้อเพลิงเพียง 34% จะทำให้พลังงานที่ปล่อยทิ้งออกมาลดลงอย่างมาก

สมเกียรติ บุญณสะ ได้ศึกษาพารามิเตอร์และทำการทดลองระบบการนำความร้อนที่สูญเสียออกจากเตาหลอมซิลิกาไปกับก๊าซทิ้งกลับมาใช้ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชิ้นโดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน คือ อัตราการไหล (Q) อุณหภูมิ (T) และพื้นที่ผิวของการแลกเปลี่ยนความร้อน (A) มาทำการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ แล้วนำไปทำการคำนวณ พบว่า ก๊าซร้อนที่ออกจากเตาหลอดซิลีกา มีอุณหภูมิประมาณ 1400 k ซึ่งจากการทดลองสรุปว่า ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะแปรผกผันกับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และแปรผันตรงกับอัตราการไหลของก๊าซร้อนที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

แมคพาวเวอร์ ได้กล่าวถึงตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบและผลกระทบในการสร้างอีโคโนมัยเซอร์ และเครื่องอุ่นอากาศ ซึ่งสิ่งที่สำคัญที่ทำให้การออกแบบได้เปรียบนั้น พอจะสรุปได้ดังนี้

1. ต้องพิจารณาผิวรับความร้อนที่จะสามารถรับเอาการถ่ายเทอัตราความร้อนได้สูงสุด
2. การขัดถูที่ผิว่ของท่อที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการไหลในท่อต้องมีอัตราการสึกหรอต่ำสุด
3. ใช้วัสดุที่เป็นโลหะจะเกิดความประหยัดกว่า
4. ต้องมีตะกรันและอัตราการกัดกร่อนเกิดขึ้นต่ำสุด

นอกจากนั้นแล้ว แมคพาวเวอร์ ยังสรุปถึงการป้องกันการกัดกร่อน ที่พื้นผิวกรณีของทั้งอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ในบริเวณที่ผิวความร้อนดังนี้

1. เปลี่ยนต่อที่ใช้วัสดุที่ถูกกัดกร่อนได้ง่าย เช่น เหล็ก ไปใช้วัสดุอื่นแทนเช่นแก้ว และให้มีความหนาอย่างน้อย 3.5-4 mm
2. เคลือบผิวท่อด้วยสารป้องกันการกัดกร่อนได้แก่ กรดที่ต้านการกัดกร่อนจำพวกอีนาเมล
3. ฉีดสารเติมแต่ง เช่น Mg Cl2 ให้กับน้ำมันเตาที่มีเปอร์เซ็นต์ของกำมะถันสูง ทำให้ไอกรดที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นกลาง ซึ่งพอสรุปได้ว่าการเอาใจใส่ในอันที่จะปรับปรุงระบบ และสนใจในตัวแปรที่มีผลกระทบกับ อีโคโนมัยเซอร์ และเครื่องอุ่นอากาศ จะทำให้ลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการผลิตได้ดียิ่งขึ้น

McDonald ได้ศึกษาการสร้างเครื่องอุ่นอากาศ Recuperator ที่ใช้กับเครื่อง gas turbine โดยทำได้อย่างไม่ซับซ้อน และมีราคาถูก ซึ่ง Recuperator จะสามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 30% ขึ้นไป ซึ่งข้อสังเกตในการออกแบบและการสร้าง Recuperator ของ McDonald

นั้นต้องเป็นแบบง่ายๆ มีราคาที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพเป็นที่ต้องการ ตัวของโครงสร้างต้องมีน้ำหนักเบา และแข็งแรงทนทานสามารถผลิตได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้กระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน จำนวนชิ้นส่วนต้องไม่มีจนมากเกินไปนัก นอกจากนั้นการบำรุงรักษาควรกระทำได้ง่ายๆ ไม่ลำบากต่อผู้ปฏิบัติงาน

Sahin ได้ทำการศึกษาออกแบบขนาด Recuperator ที่เหมาะสม และได้ศึกษาผลกระทบของการกระจายความหนืดบน Recuperator ซึ่งได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์ผลทางความร้อนของ Recuperator เป็นผลมาจากการต้านทานความหนืดของความร้อน จากการศึกษาพบว่าขนาดที่เหมาะสมของ Recuperator ขึ้นอยู่กับความหนืดของของไหลแต่ละชนิดที่ผ่าน Recuperator ซึ่ง Sahin ได้นำการศึกษาผลกระทบของการกระจายความหนืดบน Recuporator แบบ Crossflow โดยทำการทดลองกับของเหลว 4 ชนิด คือ น้ำ น้ำมัน น้ำมันเครื่อง และ glycerol ซึ่งการทำงานของเครื่องจะลดลงอย่างมาก เมื่อความต้านทานความหนืดของความร้อนเพิ่มขึ้น

Indonesian Institute of Sciences ได้ทำการศึกษาและทดลองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเครื่องอุ่นอากาศหรือ Recuperator สำหรับเตาเผาเซรามิคในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งใช้ Kerosene เป็นเชื้อเพลิง โดยเครื่องอุ่นอากาศหรือ Recuperator ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Radiation type Recuperator ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยท่อถ่ายเทความร้อนซ้อนกันอยู่ 3 ชั้นโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ท่อชั้นในจะเจาะรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และชั้นถัดมาเจาะรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร มีระยะห่างกัน 0.5 เซนติเมตร โดยก๊าซเสียจะวิ่งผ่านท่อด้านในจะเกิดการนำความร้อนของก๊าซเสียมาสู่ผิวด้านนอก อากาศดีจะวิ่งเข้ามาผ่านรูเล็กๆที่ทำการเจาะไว้จะทำให้เกิดการ Radiation ผ่านรู 2 ชั้นเหล่านั้น ทำให้อากาศร้อนขึ้นและถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาเซรามิค ซึ่งการทดลองได้ติดตั้ง Recuperator ทั้งแบบแนวตั้งและแนวนอนบริเวณปล่องควันของเตาเผาเซรามิคเพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของในแต่ละลักษณะการติดตั้ง จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนที่ได้กลับคืนมามีค่าที่ใกล้เคียงกันและสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง Kerosene ที่ใช้ในการเผาเซรามิคลง 10 เปอร์เซ็นต์ต่อ 1 รอบการเผาและ Recuperator มีประสิทธิภาพประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

V.H. Cherry and H.A. Johnson มีผลงานตีพิมพ์ใน University o f California Syllabus Series on heat transfer ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Recuperator ชนิด air to air ที่มีลักษณะเหมือนที่ทำการออกแบบไว้ โดยจากการศึกษาและการทดลองอย่างต่อเนื่องและจำนวนมากทำให้สามารถสรุปได้ว่าการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มภายนอกท่อ จะต้องขึ้นกับโครงสร้าง ระยะห่างระหว่างท่อ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้น พื้นที่ และลักษณะการไหลของของไหล ตลอดจนเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มภายนอกท่อโดยอาศัยทฤษฎีอย่างเดียวคงไม่สามารถกระทำได้ จึงต้องใช้สมการการทดลอง (Empirical Equation) ซึ่ง V.H. Cherry and H.A. Johnson ได้คิดค้นสมการการทดลองในกรณีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบRecuperator ชนิด air to air ที่มีลักษณะเหมือนที่ทำการออกแบบไว้โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$h_o = \frac{0.8c(T_a^{\frac{1}{3}})(G_e^{(0.6+0.08\log d)})}{d^{0.53}} \qquad (1.1)$$

เมื่อ h_o = outside flim coefficient (Btu)

c = constant of air (usually = 1)

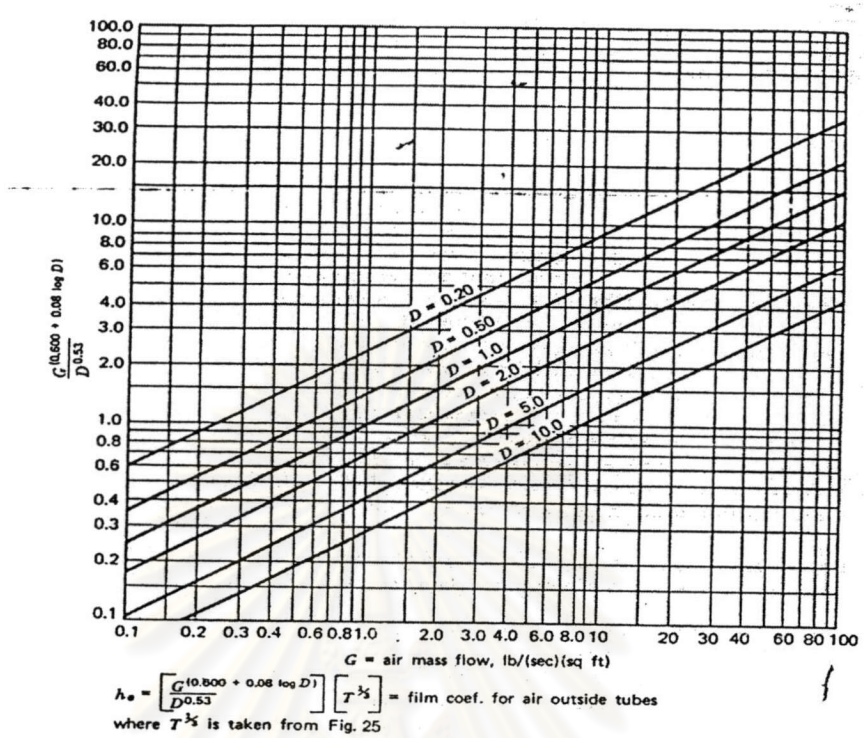
T_a = average gas temperature (R)

G_e = gas mass flow rate (pps / sq ft)

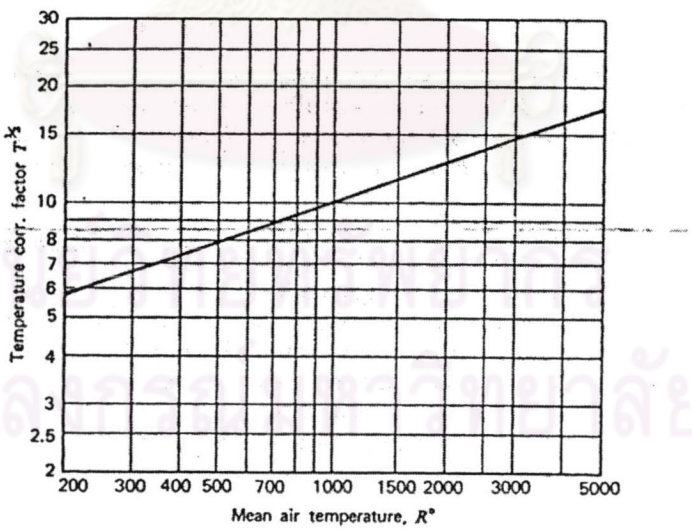
d = outside diameters tube (in)

และยังได้กราฟความสัมพันธ์ของค่า $G_e^{(0.6+0.08\log d)}/d^{0.53}$, ค่า $T_a^{1/3}$ ดังจะแสดงในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2 ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $G_e^{(0.6+0.08\log d)}/d^{0.53}$ กับค่า G_e



รูปที่ 1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $T_a^{1/3}$ กับค่า T_a