

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาการใช้พลังงานกำลังเป็นปัญหาที่มีสำคัญต่อองค์กรรวมต่างๆ ทั้งประเทศและโลกซึ่งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ โดยรวมทำให้ราคาสินค้านั้นมีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะพลังงานเหล่านี้เมื่อใช้ไปจะทำให้เหลือน้อยลงทำให้ราคาแพงขึ้น เนื่องจากการผลิตที่มีต้นทุนสูงในเรื่องของพลังงาน เราจึงจำเป็นต้องมีการลดการใช้พลังงาน ซึ่งมีหลายวิธี อย่างเช่น การประหยัดใช้พลังงานให้น้อยลงคือการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด หรือการใช้พลังงานที่ไม่มีราคาต้นทุน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานไบโอแมส แต่เนื่องจากการใช้พลังงานเหล่านี้มันกำลังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและยังใช้ไปก็ยิ่งทำให้เหลือน้อยลงเรื่อยๆ เราจึงควรหันมาใช้พลังงานอย่างประหยัดโดยการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบต่างๆ ให้ดีขึ้น กระบวนการเผาไหม้ในปัจจุบันนั้นมีหลายแบบสามารถแบ่งแยกได้ตามประเภทของเตาเผา ในกระบวนการเผาที่พบในปัจจุบันนั้นพบว่ามีการสิ้นเปลืองพลังงานมากเนื่องจากเตาที่ใช้มันไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงและมีการปล่อยความร้อนทิ้งไปกับก๊าซร้อนทางปล่อง นำมาซึ่งการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่เต็มที่ เชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นไม้ฟืน แกรบ ซึ่งปัจจุบันไม้ในประเทศไทยนั้นมีจำนวนน้อยลงเรื่อยๆ ดังนั้นหากมีการใช้เชื้อเพลิงไม้อย่างสิ้นเปลืองต่อไปก็จะทำให้มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และทำให้ราคาไม้มีราคาสูงขึ้นในอนาคตซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในการผลิตได้อย่างแน่นอน เนื่องจากเตาเผาในปัจจุบันนั้นมีหลายแบบที่ใช้กันจากการสำรวจพบว่าเตาแต่ละชนิดนั้นมีการสิ้นเปลืองพลังงานมากส่วนใหญ่เกิดจากการปล่อยก๊าซร้อนทิ้งทางปล่องไฟ โดยความร้อนที่ปล่อยทิ้งยังสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกในลักษณะการนำความร้อนทิ้งมาใช้ใหม่ทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างเตาที่มีลักษณะการทำงานที่สามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยเตาที่สร้างจะมี 4 ห้อง แต่ละห้องจะมีท่ออากาศเชื่อมต่อกันโดยสามารถให้อากาศร้อนวิ่งผ่านได้ เตาเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูงมักจะต้องการลงทุนสูงในอุตสาหกรรมที่ใหญ่อย่างเช่น เตาอุโมงค์ที่มีลักษณะการเผาที่ต่อเนื่องมีการนำความร้อนที่เหลือจากการเผามาใช้อุ่นอิฐในช่วงที่ต่อๆ กันไปตลอดกระบวนการ ลักษณะการเผาแบบนี้จะใช้พลังงานงานได้อย่างคุ้มค่าที่สุด แต่เนื่องจากเตา

อุโมงค์นั้นต้องมีการลงทุนมากและต้องผลิตอิฐจำนวนมากซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในโรงงานขนาดเล็ก ด้วยแนวคิดจากเตาอุโมงค์จึงนำมาสร้างเตาแบบ 4 ห้องเผา ในเตาเผาแบบนี้จะมี 4 กระบวนการ คือ อบ อุ่น เผา และลดอุณหภูมิ โดยมีทางเชื่อมต่อให้อากาศไหลเวียนได้ทั้ง 4 ห้อง สามารถนำความร้อนจากอีกห้องไปใช้ยังอีกห้องได้ โดยที่อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง แล้วถูกปล่อยทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถใช้ความร้อนก่อนทิ้งได้อย่างคุ้มค่า เกิดการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงและเหมาะสมกับการนำมาใช้จริงในอุตสาหกรรม หรือ โรงงานขนาดเล็กทั่วไป ที่มีกำลังการผลิตไม่มาก ซึ่งลักษณะการออกแบบเตาประหยัดพลังงานนั้นได้ออกแบบมาให้เหมาะสมกับกระบวนการและอิฐแบบภาคใต้หากนำมาสร้างในภาคเหนือ ซึ่งมีวัตถุดิบในการสร้างและอิฐที่ใช้ในการเผาที่แตกต่างกัน ตลอดจนถึงกระบวนการในการเผา ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงทำการศึกษาสภาพการใช้พลังงานวิเคราะห์พลังงาน และวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงานแบบ 4 ห้องเผา เพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในปัจจุบันและพัฒนาประสิทธิภาพของเตาให้ดีขึ้น โดยการทำแบบจำลองสภาพของการไหลภายในเตาเพื่อหาสภาพที่เตาสามารถกระจายความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งจะนำมาถึงการประหยัดพลังงานและลดระยะเวลาในการเผา ทำให้ต้นทุนของอิฐมีราคาถูกลง สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้อีกด้วย

แต่เนื่องจากการทำการทดลองจริงอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากอาจต้องใช้กำลังคนและกำลังทรัพย์เป็นจำนวนมากอีกทั้งในบางครั้งการทดลองยังต้องใช้เวลาในการทดลองแต่ละครั้งเป็นจำนวนมากด้วย ทำให้กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาการไหลเพื่อหาความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ ฯลฯ สำหรับใช้ในการออกแบบงานทางวิศวกรรมหรือการศึกษางานทางวิทยาศาสตร์ ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ได้เข้ามามีบทบาทและก่อให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมากในปัจจุบัน วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลได้ผสมผสานกับความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟิกสี (Color Graphic) ทำให้นักวิเคราะห์สามารถเข้าใจในปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผลให้สามารถปรับปรุง คัดเลือกรูปแบบของการออกแบบได้ ก่อนนำไปสร้างหรือทำการทดลองจริง

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ฐานันดรศักดิ์ เทพญา กำพล ประทีปชัยกูร สุธีระ ประเสริฐสรรพ และไพโรจน์ คีรีรัตน์ (2542). Part 1 A Study Toward Energy Saving in Brick Making: Key Parameters for Energy Saving. ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลหลักต่อการเผาอิฐ ได้ทำการทดลองผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาอิฐต่อคุณสมบัติทางกล ระยะเวลาการเผาไม่มีผลต่อแรงกดและการซึมน้ำ แต่อุณหภูมิมีผลต่อแรงกดอย่างเดียวกันซึ่งสัมพันธ์กับแบบแปรผันตามกันและพบว่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนจากดินเป็นอิฐสุกประมาณ 600 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานจำเพาะในช่วง 569-966 kJ/kg brick และอุณหภูมิในการเผาจะอยู่ที่ 600-900 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้ได้ทดลองเปลี่ยนขนาดรูที่แตกต่างกัน 7 ขนาดโดยทำการวัดเป็นพื้นที่ด่อน้ำหนักของอิฐ 4 รู พบว่าเมื่ออัตราส่วน AM เพิ่มขึ้นน้ำหนักของอิฐจะลดลง คุณสมบัติการรับแรงกดจะลดลง ศึกษาผลของการใช้พลังงาน และพยายามลดพลังงานในการใช้งาน มีการสำรวจว่ามีการใช้พลังงานประมาณ 2-3 MJ/kg brick ซึ่งคิดเป็นค่าต้นทุน 25-35% เตาในการสำรวจแบ่งได้ 3 ชนิดที่พบคือ updraft, downdraft and continuous.

ฐานันดรศักดิ์ เทพญา กำพล ประทีปชัยกูร สุธีระ ประเสริฐสรรพและไพโรจน์ คีรีรัตน์ (2542) Part 2 A Study Toward Energy Saving in Brick Making: Simulation of Processes in Brick Kiln. ในการวิจัยส่วนนี้ได้ศึกษาการประหยัด พลังงานในการเผาอิฐโดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ การใช้พลังงานในเตาแบบ Downdraft 4 ห้อง ซึ่งระบบจะมี 4 กระบวนการ ทำเย็น เผา อุ่น และไล่น้ำ ซึ่งใช้หลักการความร้อนทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ ในการออกแบบพบว่า จากการคำนวณโดยใช้ Computer Simulation มีการใช้พลังงานประมาณ 1200 kJ/kg brick ซึ่งจะใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ Updraft และสามารถผลิตอิฐได้มากกว่าถึง 2.5 เท่า ในการคำนวณได้ทำการคำนวณที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900°C ที่อัตราการไหลของอากาศ 600, 800, 1000, 1400 และ 1600 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะมากขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น แต่การเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจะใช้เชื้อเพลิงโดยรวมทั้งกระบวนการน้อยกว่าซึ่งค่าพลังงานจำเพาะ ระยะเวลาในการเผา จะลดลงเมื่ออัตราการไหลและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่พลังงานที่ให้แก่ผลิตภัณฑ์จะมากขึ้นเมื่อ อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้น

ฐานันดรศักดิ์ เทพญา กำพล ประทีปชัยกูร สุธีระ ประเสริฐสรรพและไพโรจน์ คีรีรัตน์ (2542) Part 3 A Study Toward Energy Saving in Brick Making: Experiment Verification and Operation Strategy. การศึกษาในส่วนนี้เป็นการทำการทดลองขนาดจริงแบบ 1 ห้องเผา โดยเปลี่ยนขนาดการเผา 3 ขนาด คือ 3500, 2500 และ 2250 ก้อน ที่อุณหภูมิ 3 ค่า คือ 800, 900 และ

1000 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 5 ค่า คือ 800, 900, 1000, 1100 และ 1200 kg/h จากการทดลองจริงนั้นสามารถยืนยันผลการคำนวณโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี ในการใช้เตาเผาแบบ 4 ห้องนั้นต้องการเวลาและอุณหภูมิ ในการเผาที่เหมาะสมกัน ซึ่งได้ทำการทดลองโดยใช้การคำนวณ พบว่าถ้าใช้เวลาในการเผา มากก็ใช้พลังงานมากพลังงานจำเพาะที่ใช้ ขึ้นกับปัจจัย 3 ตัวคือ ระยะเวลาอุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ และจำนวนอิฐในการเผา ในการเผาอิฐจำนวนน้อย ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ก็น้อยลง พลังงานที่ใช้ในการศึกษานี้พบว่า จะอยู่ในช่วง 1.4-2.4 MJ/kg brick จากการทดลองจริงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนอิฐในการเผาเพิ่มมากขึ้น พลังงานจำเพาะจะต้องใช้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้นพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นพลังงานจำเพาะก็จะเพิ่มขึ้น

ฐานันดรศักดิ์ เทพญา กำพล ประทีปชัยกูร สุธีระ ประเสริฐสรรพและไพโรจน์ ศิริรัตน์ (2542) Development of an Energy Efficient Brick Kiln การพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาอิฐแบบ Down-Draft โดยมี 4 ห้องเผา เผา อุณหภูมิ น้ำและลดอุณหภูมิ โดยใช้การคำนวณโดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Fixed Bed Model และคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ก่อนการทดลอง แล้วได้ออกแบบเตาแบบประหยัดพลังงานตามที่ได้ทำการคำนวณซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานเหลือประมาณ 2.3 MJ/kg brick และมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 62.6% ซึ่งจากจากรายงานเตาส่วนใหญ่สิ้นเปลืองพลังงานเตาแบบ Updraft ใช้พลังงาน 4-5 MJ/kg brick แต่พลังงานในการเปลี่ยนจากดินเหนียวเป็นอิฐใช้แค่ 1 MJ/kg brick เตาแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมใหญ่ๆ จะใช้ประมาณ 1.2-2.5 MJ/kg brick

Hosny Z. Abou-Ziyan (2003). งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพาความร้อนของการวางอิฐในลักษณะที่แตกต่างกัน 6 แบบ ทดลองเปลี่ยนค่า Reynolds Number จาก 6000-33000 โดยคงที่ค่าความร้อนที่ให้ในห้องทดลองปฏิบัติการโดยการจำลองส่วนของเตาแบบอุโมงค์โดยอัตราส่วน 1 ต่อ 4 ในการวัดจะวัดสองแบบคือ การวัดตามยาวและวัดตามขวางของการไหลของอากาศร้อน โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และความดันตกคร่อมระหว่างกองอิฐ ผลงานวิจัยนี้แสดงว่า ความดันตกคร่อมและสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับลักษณะการวางของอิฐค่า Nu จะเพิ่มขึ้น 56% เมื่อเพิ่มช่องว่างระหว่างอิฐจาก 5-26 mm. ที่ค่า $Nu = 15000$ เราพบว่าช่องว่างระหว่างแถวมีผลปานกลางเมื่อช่องว่างระหว่างแถวหลังคาไม่เปลี่ยนแปลง ช่องว่างระหว่างอิฐ และระหว่างแถวมากจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูง แต่จะทำให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากวางอิฐได้น้อยกว่า ความสัมพันธ์ที่สำคัญในการคำนวณความดันตกคร่อมและสัมประสิทธิ์การพาในการเผาจะขึ้นกับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ Re , Nu and friction factor มี

ความสัมพันธ์กันดังนี้ $Nu = 0.088 Re^{0.625} \left(\frac{s}{a}\right)^{-2.30} \left(\varepsilon \cdot \frac{s}{b}\right)^{1.837}$ โดยมีสัมประสิทธิ์ 0.98,

$Nu = 0.081 f^{1.31} Re$ โดยมีสัมประสิทธิ์ 0.86

สมพล วงศ์ต่อม (2547) ได้ทำวิจัยการอนุรักษ์พลังงานในเตาเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ โดยการนำความร้อนทิ้งมาใช้อุ่นอิฐก่อนปล่อยทิ้งสู่อากาศ ใช้เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน ผลการศึกษาพบว่ากรณีปรับปรุงเตาเผาโดยใช้พลังงานก๊าซ LPG และฟืน มีความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ 4-5 m/s กระบวนการไล่ความชื้นมีอุณหภูมิในเตาเฉลี่ยเท่ากับ 342 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 64 ชั่วโมง การเผาใช้อุณหภูมิเฉลี่ย 687 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 100 ชั่วโมง ระบายความร้อนอุณหภูมิตกลงเฉลี่ย 100 องศาเซลเซียส/day ใช้เวลา 156 ชั่วโมง กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 12.50% ระยะเวลาคืนทุน 4.3 ปี IRR 6.69% และกรณีการใช้พลังงานฟืนอย่างเดียว ที่ความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ 6-7 m/s พบว่าในกระบวนการไล่ความชื้นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 323 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 50 ชั่วโมง การเผาใช้อุณหภูมิเฉลี่ย 684 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 70 ชั่วโมง ระบายความร้อน ใช้เวลา 136 ชั่วโมง กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 28.48% ระยะเวลาคืนทุน 1.77 ปี IRR 48.41% ในการทดลองได้แนวทางการทำงานของเตาเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ ที่การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่โดยเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้ 40-60 องศาเซลเซียส

M.SaitSöylemez (1998). งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์และการทดลองจริง ได้แสดงผลกระทบของคุณสมบัติการนำความร้อนของอิฐก่อสร้างแบบมีการศึกษาการส่งผ่านความร้อน (การนำ การพา การแผ่รังสี) พิจารณาที่สภาวะคงตัวในการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณผลลัพธ์เชิงตัวเลขกับการทดลองจริง ได้ผลการวิจัยในรูปแบบของสมการของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลการส่งผ่านความร้อนเชิงกล

พงษ์เจน พรหมวงศ์และคณะ (2544) ทำการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองการไหลแบบหมุนวนในเตาเผา เพื่อสร้างความเข้าใจในพฤติกรรมของการไหลในเตาเผาได้ดีขึ้น โดยได้นำวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมมาใช้ร่วมกับการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนมาตรฐาน k- ε (Standard k- ε Model) และ Algebraic Stress Model (ASM) ในการคำนวณทั้งหมด รูปแบบผลต่างของอนุพันธ์ลำดับที่สอง คือ Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics (QUICK) และ Second Order Upwind (SOU) ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบผลต่างของอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งซึ่งคือ Upwind และ Hybrid เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแพร่กระจายเชิงตัวเลขต่อผลลัพธ์ที่คำนวณได้ แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาทำนายการไหลที่ไม่สลับซับซ้อนในท่อขนานเพื่อทดสอบความแม่นยำก่อน จากนั้นจึง

นำไปศึกษาการไหลภายในเตา 4 รูปแบบ ผลลัพธ์ของการทำนายรูปร่างของความเร็วตามแนวแกน แนวรัศมีและแนวสัมผัสถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่มีอยู่แล้ว ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าการทำนายแบบจำลองความปั่นป่วนทั้ง 2 แบบ มีความสอดคล้องค่อนข้างดีกับข้อมูลจากการทดลอง แต่ ASM ให้ผลการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลอง $k-\epsilon$ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า Numerical Schemes มีอิทธิพลอย่างมากเมื่อใช้ร่วมกับ ASM ต่อการไหลที่มี Recirculation ซึ่งมองในภาพรวมแล้วผลการทำนายของแบบจำลอง $k-\epsilon$ กับ ASM ร่วมกับ Scheme ต่างๆ ทำนายแนวโน้มของการไหลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองพอสมควร สุดท้ายในงานวิจัยนี้ได้ทำการทำการศึกษาศักยภาพการเผาไหม้จริงของเตาเผาแบบบ่มเพื่อ นำความรู้ที่ได้มาประยุกต์จริงกับเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งก็ให้ประสิทธิภาพที่สูงมากรวมทั้งมีมลภาวะต่ำเมื่อเทียบกับเตาเผาแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ณัฐ วรยศ (2545) ทำการใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในการหาสนามความเร็วของอากาศร้อน (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส) ที่ไหลอยู่ในแบบจำลองสองมิติของห้องบ่มขนาดต่างๆ ขณะไม่มีใบยา โดยกำหนดความเร็วของอากาศร้อนเข้าให้มีขนาดเท่ากับ 2.8 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่เก็บมาจากข้อมูลจริง ผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลองของการไหลแบบปั่นป่วน จากผลการคำนวณพบว่า การกระจายของกระแสอากาศในห้องบ่มแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่มีความเร็วต่ำและส่วนที่มีความเร็วสูง โดยส่วนที่มีความเร็วต่ำมักจะอยู่กลางห้อง และส่วนความเร็วสูงมักจะอยู่ระหว่างส่วนความเร็วต่ำและผนังห้อง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาห้องบ่มที่มีอัตราส่วนของความสูงและความยาว (H/L) น้อยลงพบว่า การกระจายของกระแสอากาศในบริเวณท้ายห้องบ่มมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ ส่วนความเร็วเฉลี่ยของอากาศท้ายห้องมีค่าลดลงเรื่อยๆ จากผลการคำนวณชี้ให้เห็นว่า การออกแบบ ตัวห้องบ่มจะต้องใช้อัตราส่วนของความสูงและความยาว (H/L) สูงกว่าค่าต่ำสุดค่าหนึ่ง ห้องบ่มที่มีค่าอัตราส่วนของความสูงและความยาวน้อยกว่า 0.3 มีแนวโน้มที่จะมีการกระจายอากาศที่ไม่ทั่วถึงในส่วนท้ายของห้องบ่ม อาจจะส่งผลถึงการบ่มใบยาที่อยู่ในบริเวณนี้ในที่สุดได้

เดช คำรงค์ดี (2545) ศึกษาการกระจายอุณหภูมิของอากาศร้อนในแบบจำลองสองมิติของโรงบ่มใบยาสูบแบบรวมศูนย์ โดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของห้องบ่มใบยาจะอาศัยโปรแกรม ANSYS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เรื่องการกระจายอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในโรงบ่ม โดยกำหนดให้มีอุณหภูมิของอากาศเข้าห้องบ่มเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส และมีความเร็วของอากาศร้อนเข้าเท่ากับ 2.88 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่วัดได้ในขณะที่ทำการบ่มใบยา จากผลของการคำนวณจะพบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิสูงจะเริ่มเคลื่อนตัววนไปตามผนังห้องบ่มเข้ามายังบริเวณ

กลางห้องซึ่งมีความเร็วอากาศต่ำ และเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งแล้วอุณหภูมิของอากาศก็จะเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยทั่วทั้งห้องบ่มจะมีอากาศร้อนคงที่เท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้าห้องบ่ม ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในกระบวนการบ่มใบยาสูบ

สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2545) ทำการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ที่สถานะคงตัวในสองมิติ โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้เป็นแบบไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method) โดยกระทำการคำนวณบนพิกัดฉากคาร์ทีเซียน ซึ่งในการประมาณค่าของเทอมของการพาบนผิวของปริมาตรควบคุมนั้น จะเลือกใช้ขั้นตอนเชิงตัวเลขได้หลายวิธีเช่น Hybrid, Upwind และ Power-Law เป็นต้น ซึ่งการแก้ไขความเร็วและความดันที่คำนวณได้ให้มีความสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง จะใช้ขั้นตอนวิธี SIMPLE และแบบจำลองที่เลือกใช้ในกรณีของการไหลปั่นป่วน ก็คือ Standard $k-\epsilon$ model จากผลการตรวจสอบ พบว่าการคำนวณที่ได้มีความสอดคล้องกันดีกับผลเฉลยแม่นยำตรงหรือผลการทดลองที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้มีความถูกต้องอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

Lockwood et.al. (1974) ทำการจำลองการเผาไหม้ก๊าซในเตาเผา โดยเปลี่ยนค่า F/A รูปร่างของเตาเผา ค่า Reynolds Number และค่า Swirl Number พบว่าได้ผลสอดคล้องกับการทดลองและบริเวณที่เกิดการเผาไหม้อยู่ที่บริเวณ Center Recirculation Zone (CRZ) ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับ Khalilet. Al. (1975) ที่ทำการจำลองการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติในเตาเผา โดยทำการเปรียบเทียบ Eddy-Break Up Model 3 แบบ จากการทำนายมีความใกล้เคียงกับผลการทดลอง

El-Mahallawy and Habib. (1977) ได้ศึกษาเชิงทดลองจำลองการผสมในเตาเผา โดยทำการเปลี่ยนแปลงมุมของ Swirler และสัดส่วนของของผสม โดยจากการจำลองนั้นมีความสอดคล้องกับผลจากการทดลองเมื่อมอง Swirler มีค่าต่ำ เช่นเดียวกับ Serag-Eldin and Spalding (1979) ได้จำลองการเผาไหม้ก๊าซในห้องเผาไหม้ของกังหันก๊าซ 3 มิติ โดยใช้ $k-\epsilon$ model จากการคำนวณนั้นสามารถทำนายแนวโน้มได้ แต่ค่าไม่ใกล้เคียงผลการทดลองมากนัก เนื่องจากใช้ $k-\epsilon$ model และ Boysan et.al (1982) ได้จำลองการไหลในไซโคลน โดยใช้ Algebraic Stress Model (ASM) ร่วมกับ Skew Upstream Differencing Scheme (SUDS) สำหรับ Convection Term ให้ผลสอดคล้องดีกับการทดลองของเขา

Rhode et.al. (1983) ทำการศึกษากาการไหลปั่นป่วนในเตาเผา โดยวิธี Visualization พบว่าเกิด Central Recirculation ขึ้นเมื่อมี Swirling Flow และมีขนาดใหญ่ขึ้นตามมุมที่เพิ่มของ Swirl Vane Angle ซึ่งส่งผลทำให้ Corner Recirculation มีขนาดเล็กลงตามลำดับ ในปีถัดมา

So et. Al. (1984) ได้ทุนจาก NASA เพื่อศึกษาทดลองการไหลปั่นป่วนในเตาจำลองอันหนึ่ง โดยได้ศึกษาพฤติกรรมของการฉีดและไม่นิโคอากาศหรือฮีเลียมที่จุดกึ่งกลาง รวมถึงการไหลผสมระหว่างอากาศและฮีเลียมพบว่าความหนาแน่นมีอิทธิพลต่อการผสมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่กำลัง Swirl Number สูงๆ และ Halthore and Gouldin (1986) ทำการวัดคุณสมบัติต่างๆ ในเตาเผาไหม้ก๊าซ โดยใช้ Laser Doppler Velocimeter (LDV) จากการทดลองมีลักษณะ Reaction Zone เป็นชั้นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร เป็นรูป Paraboloidal ที่บริเวณ Central Recirculation ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศอย่างรุนแรง

Kim and Chung. (1988) ได้จำลองการไหลปั่นป่วนแบบ Strong Swirl ($S=0.79$) ของหัวฉีดโดยใช้ Algebraic Stress Model (ASM) และ $k-\varepsilon$ Model เปรียบเทียบกัน จากการจำลองพบว่า Algebraic Stress Model (ASM) มีประสิทธิภาพดีกว่า $k-\varepsilon$ Model และให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่า เช่นเดียวกับ Hogg and Leschziner (1989) ซึ่งได้ทำการจำลองการไหลปั่นป่วนแบบหมุนวน โดยใช้ Reynolds Stress Model (RSM) เปรียบเทียบกับ $k-\varepsilon$ Model จากการวิจัยชี้ให้เห็นว่า Reynolds Model (RSM) ทำนายได้ดีกว่า $k-\varepsilon$ Model ซึ่งสอดคล้องกับ Jones and Pascau (1989) ที่จำลองการไหลในเตาอันเดียวกัน คือเตาของ So et. al. (1984) โดยใช้ Reynolds stress model (RSM) และ $k-\varepsilon$ Model เช่นเดียวกัน ได้สรุปว่าในการจำลองการไหลปั่นป่วนแบบหมุนวนนั้นควรใช้ Reynolds Stress Model (RSM) จะทำนายได้ดีที่สุด

D.R. Dugwell และ D.E Oakley. (1988) ทำการศึกษาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในเตาเซรามิกที่มีการเผาแบบต่อเนื่อง (Plug-Flow) โดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิและก๊าซ ผลที่ได้จากการจำลองแสดงเป็น 2 มิติสำหรับการกระจายตัวของอุณหภูมิและแบบมิติเดียวสำหรับการกระจายตัวของก๊าซเตาเผาที่ใช้ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Heating Zone Firing Zone การจำลองการเผาจะเป็นการควบคุมปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เตา ซึ่งจะส่งผลถึงอุณหภูมิในเตา ผลที่ได้จากการจำลองจะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงและพัฒนาไปสู่การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมวาล์วของเชื้อเพลิงและอากาศแทน

Kitoh (1990) ได้ทำการวัดการไหลปั่นป่วนแบบหมุนวนในท่อตรง จากผลที่ได้การไหลในลักษณะนี้มีคุณสมบัติขึ้นกับทิศทาง (Anisotropic) และพบว่าความเร็วตามแนวสัมผัส (Tangential Velocity) นั้นมีผลกระทบอย่างมากต่อลักษณะการไหล ต่อมา Ahmed and Nejad (1992) ได้วัดการไหลในเตาเผาทั้งกรณีที่มีการเผาไหม้และไม่มีการเผาไหม้โดยใช้ Laser Doppler Velocimeter (LDV) พบว่าการเผาไหม้มีอิทธิพลต่อความเร็วอย่างมาก โดยจากการ

ทดลอง Corner Recirculation มีขนาดเล็กถึง Corner Recirculation มีขนาดเล็กถึงประมาณ 44 % เมื่อมีการเผาไหม้

Hwang et.al. (1993) ทำการจำลองการไหลปั่นป่วนในเตาเผา โดยใช้ $k-\varepsilon$ Model และ Nonlinear $k-\varepsilon$ Model เปรียบเทียบกันพบว่าทั้งสอง Models ทำนายได้ค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก Lin and Lu (1994) ได้จำลองการไหลใน Gas Turbine Combustor 3 มิติ โดยใช้ Reynolds Stress Model (RSM) เปรียบเทียบกับ $k-\varepsilon$ Model สรุปว่า Reynolds Stress Model (RSM) นั้นสามารถจับพฤติกรรมการไหลบางอย่างได้ดีกว่าเทียบกับผลการทดลองในขณะที่ $k-\varepsilon$ Model จับไม่ได้

D.F. Fletcher และ J.H. Kent (1994) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายลักษณะการเคลื่อนที่ อุณหภูมิและความเข้มข้นของการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟที่ลุกไหม้ในอุโมงค์ระบายอากาศ โดยนำผลการจำลองไปเปรียบเทียบกับ การทดสอบจริงที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งแบบจำลองที่นำมาใช้ครั้งนี้คือ สมการกฏทรงมวล สมการกฏทรงพลังงาน สมการกฏทรงโมเมนตัม ที่รวมอยู่ในสมการ $k-\varepsilon$ Turbulent Model และสมการแบบจำลองการเผาไหม้จะสมมุติให้เป็นปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ เชม่า และผนังจะใช้แบบจำลอง Discrete Transfer Model ส่วนวิธีในการทดสอบใช้อุโมงค์ลมที่มีความยาว 130 m. พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 12.96 m^2 และให้อากาศไหลเข้าด้านหน้าที่เปิดกว้างเป็น 70% ของพื้นที่หน้าตัด อากาศสามารถไหลได้เร็วสุด 2 m.s^{-1} จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองการไหล Turbulent Flow และ Soot Radiation Modeling ที่ใช้ทำนายการแบ่งช่วงอุณหภูมิให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริง

Ahmed (1997a) ได้ทำการวัดการไหลปั่นป่วนแบบหมุนวนในเตาเผาจำลอง โดยใช้ Laser Doppler Velocimeter (LDV) วัดค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า Reynold Stresses เพื่อศึกษาการไหล พบว่าการไหลปั่นป่วนนั้นมีลักษณะขึ้นอยู่กับทิศทางอย่างมาก (High Anisotropic) และในปีเดียวกัน Ahmed (1997b) ได้วัดการไหลปั่นป่วนเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีการหมุนวนและไม่มีการหมุนวน สรุปว่ากรณีที่ไม่มีกรหมุนวนนั้น มีการเกิด Corner Recirculation รวมทั้งค่า Reynold Stresses ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่มีกรหมุนวนมาก

Holzapfel et.al. (1999) ได้ทำการวัดการไหลปั่นป่วนแบบหมุนวนในเตาเผาจำลองใช้ Hot Wire Anemometer วัดค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า Reynolds Stress โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่า Swirl Number ไป 2 ค่าสรุปว่า การเกิดความเร็วตามแนวสัมผัส (Tangential Velocity) ส่งผลให้ความเร็วตามแนวรัศมี (Radial Velocity) ลดลง

นิเวศน์ ดวงสุภา (2548) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาพการไหลและสนามอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิกชนิดไฟเบอร์โดยการใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลโดยสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เลียนแบบลักษณะของเตาเผาที่มีการใช้งานอยู่จริง ซึ่งเป็นเตาแบบลมร้อนลงด้านล่าง ภายในเตามีขนาดความจุของพื้นที่ใช้งาน 1 m^3 หัวฟัน 8 หัว โดยใช้สมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน ถูกลำมาใช้แก้ปัญหาร่วมกับแบบจำลองการไหลที่มีลักษณะปั่นป่วน (k- ϵ model) โดยการไหลและอุณหภูมิภายในเตาเป็นแบบไม่คงที่ (Unsteady-State) ขึ้นอยู่กับเวลา ผลการทดลองถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงที่สภาวะเดียวกัน พบว่าสามารถทำนายลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิได้ดีในช่วงของอุณหภูมิไม่เกิน 800 องศาเซลเซียส จากการสร้างแบบจำลองศึกษา 8 แบบ ที่มีลักษณะการเพิ่มความดันก๊าซเชื้อเพลิงแต่ละช่วงและการปรับขนาดความกว้างของแผ่นกั้นของไหลร้อนที่แตกต่างกันพบว่าแบบจำลองที่มีการเพิ่มความดันก๊าซในลักษณะเพิ่มทีละขั้นจาก 3 ไปจนถึง 10 Psi และปรับความกว้างของแผ่นกั้นของไหลร้อนเปิด 50% มีแนวโน้มที่เหมาะสมในการนำไปเป็นวิธีการในการเผา เมื่อนำวิธีการดังกล่าวไปทดสอบเผาจริง โดยมีผลิตภัณฑ์อยู่ในเตาขณะทำการเผา เปรียบเทียบผลกับวิธีการเผาที่ใช้อยู่ปัจจุบันที่ขนาดปริมาณผลิตภัณฑ์ (Load) เท่ากับผลที่ได้พบว่าสามารถลดเวลาในการเผาได้ถึง 75 นาที และลดการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงลง 9.5 กิโลกรัม

Vladimir Kudriavtsev, M.Jack Braun and Robert C. Hendricks (2001) ได้ทำการศึกษาการกระจายการไหลของของเหลว และความดัน ในช่องว่างที่เป็นเกลียวของซีลแบบริง (Spiral Groove Seals) อุปกรณ์นี้ต้องใช้ของไหลในการทำงานคือ มีของไหลอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ 2 ชิ้น เพื่อป้องกันการเสียดสีกัน ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม CFD-ACE+ แบบ 3 มิติ ในการจำลองสภาพ ในการศึกษาได้พยายามออกแบบการทดลองของตัวแปรเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานอย่างเช่น มุม ความลึก ความกว้าง ความยาวของเส้นรอบวง โดยทำการเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์จนถึง 40,000 รอบต่อนาที และเปลี่ยนค่าระยะห่างตั้งแต่ 0.0002-0.001 นิ้ว ในการศึกษาจะสนใจที่ สภาพทั่วไปที่เป็นจริงทางเรขาคณิตแสดงการไหลแบบ 3 มิติ และความดันตกคร่อม ผลลัพธ์ของการทดลองที่ได้ คือ ประการแรก ระยะช่องว่างควรมีน้อยกว่า 0.001 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากกว่า 1 นิ้ว ความเร็วเชิงมุมมากกว่า 10,000 รอบต่อนาที ประการที่สอง สามารถอธิบายธรรมชาติการไหลเป็นภาพ 3 มิติ แสดงทิศทาง และสมการ Reynold Number และสุดท้ายได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะที่การทดลองจริง เพื่อพัฒนาการออกแบบต่อไป

Gordon Scott and Philip Richardson (1997) ศึกษารวบรวมและสรุปข้อมูลที่จำเป็นของการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) เพื่อนำมา

ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จากการศึกษาพบว่า สามารถนำ CFD ไปใช้ในการออกแบบ และวิเคราะห์การไหลของของไหล ทั้งที่เป็นแบบ Newtonian Fluid และ Non-Newtonian Fluid ในอุตสาหกรรมอาหารได้เกือบทุกชนิดโดยข้อมูลที่ทำวิเคราะห์ อาทิเช่น ความดัน อุณหภูมิ และความเร็ว เป็นต้น อีกทั้งยังได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับฮาร์ดแวร์ (Hardware) และโปรแกรมสำเร็จรูป (Software) ทาง CFD รวมถึงราคาของโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ในขณะนั้น นอกจากนั้น คณะผู้วิจัยได้แสดงสมการควบคุม (Governing Equation) ที่ใช้ และเงื่อนไขที่ขอบ (Boundary Condition) ที่ใช้ที่สุดได้มีการพูดถึงแนวโน้มของการใช้ CFD สำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต

นิตยา จันตัน (2546) ศึกษาเกี่ยวกับพลศาสตร์การไหลของอากาศร้อนภายในห้องบ่มใบยาแบบรวมศูนย์ โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขสองมิติเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างการไหล การกระจายตัวของความดัน และลักษณะของห้องบ่ม โดยนำผลที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงที่ได้จากห้องบ่มจำลองแบบย่อส่วน จากการศึกษาพบว่าผลการคำนวณจากแบบจำลองเชิงตัวเลขและผลการทดลองในแบบจำลองย่อส่วนมีปริมาณของการไหลใกล้เคียงกัน กล่าวคือ จะมีกระแสอากาศหมุนวนบริเวณกลางห้องและบริเวณมุมห้องบ่มใบยาสูบ อย่างไรก็ตามก็จะมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ผลจากการคำนวณแตกต่างจากผลจากการทดลองจริงโดยความแตกต่างของผลการเปรียบเทียบเกิดจากการไม่สามารถควบคุมให้การไหลในแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองให้เป็นการไหลแบบสองมิติโดยสมบูรณ์ อิทธิพลของผนังของแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือวัดรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.3.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลอากาศร้อนในเตาเผาอบใบยาสูบพลังงาน โดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

1.3.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิภายในเตา ที่มีผลต่อการกระจายความร้อนภายในเตา เพื่อหาสภาพการทำงานที่เหมาะสม

1.3.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองสภาพทางพลศาสตร์ของไหลกับการทดลองจริงแล้วนำมาปรับใช้กับการเผาจริงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา

- 1.4.1 ได้สภาพการทำงานที่เหมาะสมในการใช้งานเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน
- 1.4.2 สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองจริงลงได้
- 1.4.3 ได้แนวทาง วิธีการพัฒนาและออกแบบสร้างเตาเผาอิฐประหยัดพลังงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์การไหลของอากาศร้อนได้

1.5 ขอบเขตการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศโดยใช้โปรแกรมคำนวณในเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน 4 ห้องเผา
- 1.5.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นไม้ลำไย และน้ำมันจ๊วได้
- 1.5.3 อิฐที่ใช้ในการทดสอบเป็นอิฐขนาด 16.5x7.5x5.5 cm. ที่นิยมใช้กันของภาคเหนือ