

การศึกษาการวางมุมเหมาะสมของหัวเผาที่มีผล ต่อการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาปูนขาวโดยวิธีไฟในต้วอลลุ่ม

The Study of the Burner Angle Optimization that Affect on the Temperature Distribution Lime Kiln by Finite Volume Method

เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Kaittfa tangchaichit)^{1*}
อัญชิสา ยี่สุนแซม (Unchisa Yeesoonzam)²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของเตาเผาปูนขาวที่ใช้ในบริษัทฟีนิกซ์ พัลพ แอนด์ เพเพอร์ จำกัด (มหาชน) เป็นเตาเผาที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมออกไซด์หรือปูนขาว เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง โดยลักษณะเตาเผาเป็นทรงกระบอกกลมวางในแนวนอนและหมุนรอบแกนด้วยมอเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงลักษณะการวางมุมของหัวเผาในลักษณะต่างๆ โดยแบบจำลองจะใช้วิธีทางไฟในต้วอลลุ่มในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาว่าในการวางมุมหัวเผามุมใดจะก่อให้เกิดการกระจายอุณหภูมิที่ดีที่สุดสำหรับเตาเผาปูนขาว ซึ่งจะใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำเร็จรูป ในการศึกษาครั้งนี้ โดยจะเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง ซึ่งทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจากค่าที่วัดได้จริงกับผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่วัดค่าได้จริงจากโรงงาน เมื่อเปรียบเทียบค่าเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจะนำแบบจำลองที่ได้มาปรับมุมหัวเผาในลักษณะที่มีพิกัดแตกต่างกันและเปรียบเทียบมุมที่ให้ค่าการกระจายอุณหภูมิที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ทางเข้าของเตาเผาปูนขาว จากผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองพบว่าที่มุมหัวเผาวางในพิกัด (0,-2) เป็นตำแหน่งที่ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดีที่สุด ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาการทำงานของเตาเผาปูนขาวให้มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาดีกว่าเดิม

ABSTRACT

This research is the three dimensional modeling of a lime kiln, which is used in Phoenix Pulp & Paper Public Co. Ltd. for reforming calcium carbonate to calcium oxide (or lime) in order to reuse in the process. The kiln is the horizontal cylinder driven by motor to rotate around axis. This research studied the characteristics of the angle of the burners placed in different ways. In the analysis, the finite volume technique, in Computational Fluid Dynamics (CFD) program, was used to evaluate the angle of burner that gives the best temperature distribution. The CFD model is compared with the measured temperature to verify boundary condition and mesh quality. The burner's angle is then

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* Corresponding author, e-mail: cake_zza@hotmail.com

adjusted in different position in CFD model. The optimum angle can be obtained by observing the temperature at the entrance of kiln , the maximum temperature at the entrance represents the best temperature distribution. The obtained optimum angle is in the coordinate (0,-2). This position provides the best temperature distribution. It leads to better temperature distribution in Lime kiln and further development

คำหลัก: เตาเผาปูนขาว วิธีไฟในตัวเลขกลุ่มการกระจายอุณหภูมิ

Keyword: Lime kien, Finite volume method, Tomperature distribution

บทนำ

การพัฒนาที่รวดเร็วของคอมพิวเตอร์ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทำให้การแก้สมการที่ซับซ้อนของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์มีความสะดวก รวดเร็ว และ ความถูกต้องมากกว่าในอดีตในการหาคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณวิศวกรรม เช่น สมการที่ใช้อธิบายการไหลของของไหล (Navier - stokes equations) ค่าของตัวแปรต่างๆ ในสมการหาได้หลายวิธีด้วยคอมพิวเตอร์ และวิธีที่นิยมในปัจจุบันคือ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics (CFD)) ที่สามารถนำเสนอค่าของตัวแปรต่างๆ ด้วยรูปภาพเสมือนจริง มีความสวยงาม ง่ายต่อการเรียนการสอนและการทำความเข้าใจลักษณะการไหล การเลือกใช้โปรแกรม Ansys Fluent เป็นโปรแกรมคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลสำเร็จรูป (Fluent, 1996) โดยอาศัยหลักการของวิธีไฟในตัวเลขกลุ่ม เพื่องานทางด้านวิศวกรรม เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Peter, 2002) เตาเผาปูนขาว (Rotary lime kiln) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นปูนขาว หรือแคลเซียมออกไซด์นั่นคือการผลิตปูนขาว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษในโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งในส่วนของกระบวนการนี้เรียกว่าการทำต่าง จะผลิตของเหลวขาว (White liquor) จากของเหลวเขียว (Green liquor) โดยการเติมปูนขาว และผลิตปูนขาวเพื่อนำกลับใช้ใหม่การศึกษาเกี่ยวกับเตาเผาปูนขาว (Pulp and Paper, 2001)

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุที่เกิดขึ้นของ Sludge ที่เกาะบริเวณผนังเตาเผาปูนขาวโดยเตาเผาปูนขาวเมื่อมีการเผาปูนจะก่อให้เกิดการก่อตัวของปูนเป็นก้อนติดบริเวณผนังทำให้ ปูนที่ป้อนเข้ามาไม่สามารถซึมซับความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลเนื่องมาจากปูนที่เกาะอยู่ผนังมีการซึมซับความร้อน และยังกั้นปูนที่ถูกป้อนเข้ามาไหลเข้ามายากขึ้น จึงมีการศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิด sludge และศึกษาหาแนวทางการแก้ไขทั้งหมด 4 ปัจจัยคือปัจจัยแรก เป็นการศึกษาผลจากปริมาณปูนขาวต่อวันคือ 125, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 ตัน/วันตามลำดับ โดยให้จำนวนปูนที่ถูกป้อน, เปอร์เซ็นต์อากาศเกิน และปริมาณคาร์บอนเดที่เต็มทั้งหมดมีค่าคงที่ โดยยิ่งปริมาณปูนที่ต้องการแต่ละวันมีมาก ปูนที่เกาะบริเวณผนังก็มีการเกาะติดบริเวณผนังมากขึ้นด้วย จากนั้นจึงทำการศึกษาปริมาณอากาศเกินที่ค่าต่างๆ คือ 5 %, 10 %, 20 %, 30 % และ 40 % อากาศเกิน โดยให้ปริมาณปูนที่ต้องการต่อวันมีค่าคงที่เท่ากับ 300 ตัน/วันพบว่าเมื่ออากาศเกินมีค่า 10 % ทำให้มีการก่อตัวของเตาเผาปูนขาวน้อยลง และเมื่อเพิ่มอากาศเกินมากขึ้น การก่อตัวของปูนบริเวณผนังมีค่าคงที่ จึงเลือกใช้ปริมาณอากาศเกิน 10 % และปัจจัยต่อมาคือการเลือกปริมาณร้อยละของปูนที่ถูกป้อนเข้ามา คือร้อยละ 60, 70, 80 และ 90 ของปูนที่ถูกป้อนเข้ามา โดยปริมาณปูนที่ป้อนเข้ามาไม่ว่าจะร้อยละเท่าไรก็ตามแต่ปูนที่เกาะบริเวณผนังจะมีค่าคงที่ตลอดความยาวเตาเผา จึงเลือกร้อยละ 90 ของปูนที่ป้อนเข้ามา เพราะว่ามีค่ามากแต่การเกาะผนังมีค่า

เท่าเดิม ปัจจัยสุดท้ายที่ศึกษาคืออัตราการเผาไหม้ที่มีค่าต่างๆ กันดังนี้ 1,461, 1,436, 1,419, 1,344, 1,147 และ 1,059 ft³/min โดยอัตราการเผาไหม้ที่ 1,059 ft³/min มีการก่อดั้วบริเวณผนังมากที่สุด และโดยอัตราการเผาไหม้ที่ 1,461 ft³/min มีการก่อดั้วของปูนบริเวณผนังน้อยที่สุด จากผลที่ได้ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อดั้วของปูนมากที่สุดคือความต้องการของผลิตภัณฑ์ปูนขาวที่ได้ ยังมีความต้องการมาก การก่อดั้วก็จะยิ่งมากขึ้น รองลงมาคืออัตราการเผาไหม้ ถ้ามีอัตราการเผาไหม้น้อยก็จะทำให้มีการก่อดั้วของปูนขาวมากขึ้น และเปอร์เซ็นต์อากาศเกินมีผลน้อย และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณปูนที่มีการป้อนเข้ามา ฉะนั้นในการศึกษางานวิจัยยังไม่ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของเปลวไฟ (Georgallis, 2006) มีการทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงที่มีหลายชนิดในเตาเผาปูนขาว และจากการใช้วิธี CFD หาดำแหน่งหัวเผาและการวางมุมของท่อที่ปล่อยก๊าซซึ่งไม่สามารถควบแน่นได้ ทำให้ได้มองเห็นรูปร่างเปลวไฟเป็นไปตามที่คาดหวัง นั่นคือเปลวไฟที่สามารถนำความร้อนจากเชื้อเพลิงมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และได้ปูนที่มีคุณภาพโดยจะใช้น้ำมันเตาและน้ำมันสนเป็นพื้นฐาน และมีการนำก๊าซที่ควบแน่นไม่หมดกลับมาใช้ใหม่ซึ่งน้ำมันเตาจะถูกใช้ด้วยอัตรา 3 MBtu/hr และรวมเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในเตาโดยรวมทั้งน้ำมันสน SOG และ NCG จะมีอัตราทั้งหมด 65 MBtu/hr ซึ่งการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะอยู่ประมาณ 77 - 100 % (Kenneth, 2007) นอกนั้นจะเพิ่มอัตราส่วนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 15 % ไหลผ่านตลอดหัวเผานั้นคือเป็นอากาศส่วนแรก ส่วนอากาศส่วนที่สองจะเป็นอากาศเกินที่ผ่านตลอด บริเวณที่ทำให้ปูนเย็นตัวลง (Planetary cooler) โดยอากาศที่ได้จะถูกถ่ายเทความร้อนจากปูนทำให้อากาศถูกอุ่นจนอุณหภูมิโดยประมาณเท่ากับ 600 องศาฟาเรนไฮด์ โดยโมเดลที่ใช้จะมีการถ่ายเทรังสีความร้อน และเลือกใช้โมเดลความปั่นป่วนเป็นแบบ standard $k-\epsilon$ เป็นการจำลองเตาเผาปูนที่ใช้ในบริษัท Eastern Québec ซึ่งจากการจำลองแบบมีการยื่นระยะของหัวเผาเป็น 3 ระยะ คือ

1. หัวเผาอยู่บริเวณวงแหวน (Dam) โดยเปลวไฟที่ได้จะเผาไหม้บริเวณวงแหวนและอากาศที่ถูกปล่อยเข้ามาจะถูกบังด้วยวงแหวนทำให้อากาศที่จะใช้เผาไหม้ไม่เพียงพอและยังเกิดการลอยตัวของเปลวไฟ ทำให้ปลายเปลวไฟลอยตัวไม่มีการสัมผัสกับปูนที่ถูกป้อนเข้ามาทำให้ การเผาไหม้ไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร

2. หัวเผาอยู่หลังวงแหวน (Dam) 3 ฟุต การวางหัวเผาที่ระยะนี้ถือว่าเป็นระยะที่ดีที่สุดเนื่องจากว่า เปลวไฟที่ได้มีความกว้างเหมาะสม ไม่มีการเข้าใกล้กับผนังของเตามากจนเกินไป และมีระยะเปลวไฟที่เหมาะสมกับปูนขาวที่ถูกป้อนเข้ามาเพื่อมาเผาไหม้

3. หัวเผาอยู่หลังวงแหวน 6 ฟุต (Dam) เปลวไฟที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นการเผาไหม้บริเวณหลังวงแหวนซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียของผิวชั้นในเตาเผาปูนขาวก่อให้เกิดความเสียหาย และคุณภาพปูนที่ได้คือ มีการได้รับความร้อนมากเกินไปทำให้คุณภาพปูนไม่เหมาะสม และหลังจากทำการศึกษาระยะการวางหัวเผาแล้ว จากนั้นก็จะศึกษามุมที่เหมาะสมของท่อที่ปล่อยก๊าซซึ่งไม่สามารถควบแน่นได้ (Non condensable gas, NCG) โดยนำท่อที่ปล่อยก๊าซ NCG วางที่มุมปกติก็ระยะเหมาะสมของหัวเผาที่จากการทำการทดลองก่อนหน้านี้ โดยวางเหนือจากหัวเผาขึ้นไป 2 ฟุต เปลวไฟจะมีการลอยตัวสูงขึ้นมากจนชนผนังเตา ความร้อนส่วนใหญ่จึงอยู่บริเวณผนังเตาด้านบนก่อให้เกิดความเสียหายมาก นั่นคืออิฐที่ก่อดั้วภายในเกิดการหลุดเสียหาย ดังนั้นจึงมีการทดลองโดยลดมุมของท่อก๊าซซึ่งไม่สามารถควบแน่นได้ 1.8 องศาจากแนวแกนราบ และสังเกตการกระจายตัวของอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ ที่เกิดขึ้น พบว่าการลอยตัวของเปลวไฟมีการชนผนังด้านบนน้อยลง และมีการกระจายตัวของเปลวไฟอย่างทั่วถึง แต่ในงานวิจัยไม่มีการลองปรับมุมของหัวเผาแต่การปรับมุมของท่อก๊าซซึ่งไม่สามารถควบแน่นได้ซึ่งถ้ามีการปรับมุมของหัวเผาด้วยอาจจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในเตาได้ดีขึ้นจากเดิม (ปกรณวิศ, 2551) ศึกษาการใช้แบบจำลองในการนำมาปรับปรุง และพัฒนากระบวนการต่างๆ ของ

เตาเผาปูนขาวโดยการสร้างแบบจำลองเตาเผาปูนขาวโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล เพื่อจำลองการเผาไหม้ การถ่ายเทความร้อนในเตาเผาโดยสร้างแบบเป็น 3 มิติ โดยศึกษาการกระจายตัวของความเร็ว อุณหภูมิ และการกระจายตัวของก๊าซ รวมทั้งปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในเตาเผาปูนขาว และมีการยื่นระยะท่อของก๊าซซึ่งไม่สามารถควบคุมได้เข้าไปในแนวคูล์ขนานกับระยะ Dam อีกด้วย รวมทั้งมีการศึกษาการวางมุมของหัวเผาที่มีการเอียงลง 5 องศาพบว่าช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่อเตาเผาปูนขาวได้ แต่ยังไม่ได้ศึกษาว่ามีการกระจายอุณหภูมิอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนมุมมองของหัวเผา จึงเป็นแนวคิดที่ว่าถ้ามีการเปลี่ยนลักษณะการวางมุมหัวเผาที่ตำแหน่งพิกัดต่างๆ น่าจะมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาจึงได้นำปัจจัยนี้มาศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

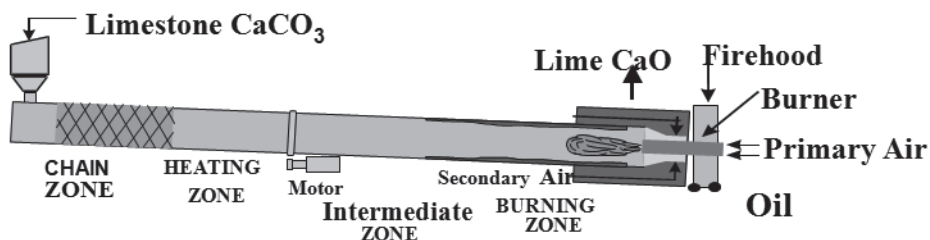
1. เพื่อศึกษาการวางมุมของหัวเผาเพื่อหามุมที่เหมาะสมที่สุดที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ในเตาเผาปูนขาวในโรงงานกระดาษ
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการทำงานของเตาเผาโดยใช้แบบจำลอง ที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสร้างแบบจำลองเตาเผาปูนขาว

1.1 ลักษณะทางกายภาพของเตาเผา

เตาเผาปูนขาว มีลักษณะเป็น Cylindrical brick-lined steel drum นั่นคือ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกวางแนวขนานทำมุมเอียง 1.8 องศา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เมตร และยาว 74 เมตร ฐานรองด้วยวงแหวน 3 วง บนส่วนที่เป็น Roller และหมุนโดยมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบได้ (Inverter speed controlled motor) 1.0 - 1.5 รอบ/นาที เพื่อป้องกันการเกิด power failure ของเตา จะหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลช่วย (Aux diesel engine) ที่เดินเครื่องด้วย starter โดยใช้ระบบไฟฟ้า ลักษณะการทำงานคือ ปูนขาวและฟลูก๊าสจะมีลักษณะไหลสวนทางกัน (Counter currently) ดังรูปที่ 1 นั่นคือหัวฉีดให้ความร้อนจะอยู่ส่วนปลายสุดจะมีการปล่อยฟลูก๊าสขณะที่ lime mud ถูกป้อนเข้ามา จะได้รับความร้อนจากฟลูก๊าสเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่จะเกิดปฏิกิริยา



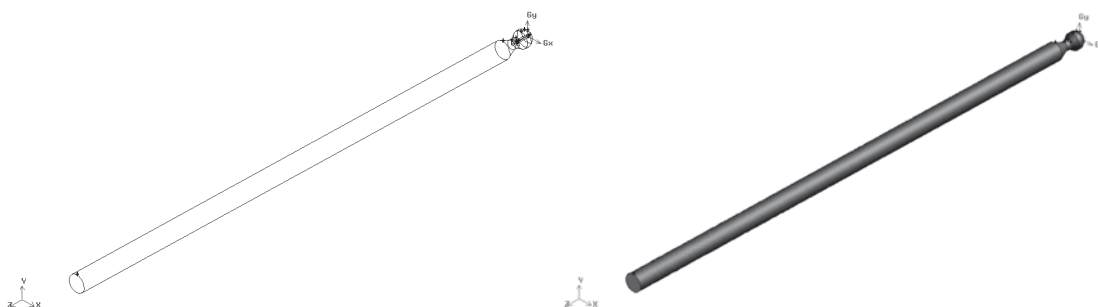
รูปที่ 1. ลักษณะของเตาเผาปูนขาวทั่วไป

1.2 ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองเตาเผา

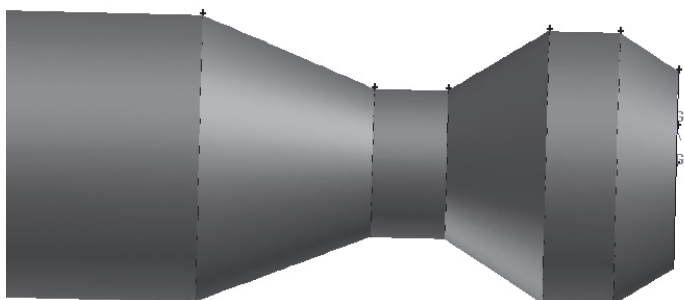
ในการสร้างแบบจำลองของเตาเผา จะสร้างจากลักษณะทางกายภาพของจริงแต่จะสร้างเฉพาะส่วนของห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นช่องว่างของปริมาตรที่มีของไหลไหลภายในเตาเผา โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาในส่วนที่ไม่มีผลิตภัณฑ์อยู่ในเตาเผา ซึ่งจะได้แบบจำลองดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 จากนั้นสร้างหัวเผาที่มีลักษณะการวางมุมที่แตกต่างกัน โดยจะทำการประมวลผลในสภาวะสมำเสมอของอุณหภูมิและความดันเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการกระจายความเร็วและอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้น โดยจะทำการประมวลผลโดยให้ค่าตัวแปรเริ่มต้นได้แก่ อุณหภูมิและความดันเข้าที่หัวเผา โดยในการสร้างแบบจำลองจะสร้างจากโปรแกรม Gambit แล้วนำเข้าไปวิเคราะห์ผลในโปรแกรม Ansys Fluent

รูปที่ 2 แสดงถึงแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม Gambit โดยจำลองมาจากเตาเผาปูนขาวที่ใช้ในโรงงานโดยแสดงทั้งโครงร่างและแบบ 3 มิติ โดยมีขนาด และความยาวเหมือนเตาเผาปูนขาวทุกสัดส่วน เพื่อต้องการให้ผลการศึกษามีความแม่นยำมากที่สุด

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองที่เห็นหัวเผาได้เด่นชัดขึ้น เนื่องจากเตามีความยาวมาก จึงขยายเฉพาะส่วนให้เห็นถึงบริเวณหัวเผา ในแบบโครงสร้าง และมุมมองแบบทรงตัน



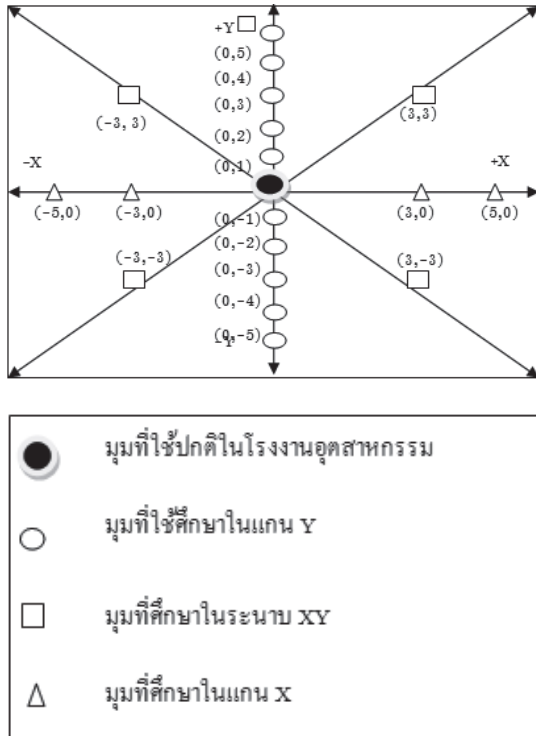
รูปที่ 2. แบบจำลองเตาเผาปูนขาวตลอดความยาว



รูปที่ 3. แบบจำลองเตาเผาปูนขาวแสดงแบบขยายในช่วงของการเผาไหม้

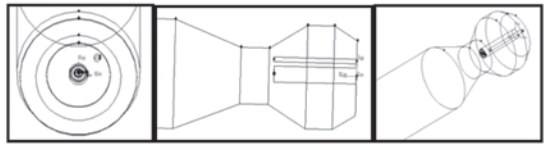
2. แบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่มีลักษณะการวางมุมหัวเผาที่มุมต่างๆ

สำหรับการสร้างแบบจำลองที่มีลักษณะการวางมุมหัวเผาที่แตกต่างกันโดยการสร้างจะเหมือนกับการสร้างแบบจำลองเตาเผาที่มีการใช้งานจริงตามปกตินั้นจะเปลี่ยนแค่ลักษณะการวางมุมดังรูปที่ 4

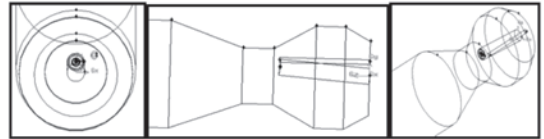


รูปที่ 4. ลักษณะการวางมุมหัวเผาที่ได้ ทำการศึกษา

รูปที่ 4 จะสร้างแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่มีการวางมุมของหัวเผาที่มีการเปลี่ยนมุมทั้งแกน X แกน Y และในระนาบ XY ซึ่งในการเปลี่ยนพิกัดมุมในแนวแกน X, Y และในระนาบ X,Y นี้จะอธิบายโดยการยกตัวอย่าง เช่น มุมที่ใช้ในการศึกษาในแกน Y ที่พิกัด (0, 1) คือ การปรับการวางมุมให้หัวเผาเอียงขึ้นในแนวแกน +Y 1 องศา และถ้าเป็นพิกัดในแนวแกน X เช่น (1, 0) นั่นคือการวางมุมหัวเผาที่เอียงไปทางแกน +X เป็นมุม 1 องศา เป็นต้น โดยแบบจำลองที่สร้างและใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้ยกตัวอย่างดังรูปที่ 5 (a) และรูปที่ 5 (b)



(a) พิกัด (0,0)



(b) พิกัด (0,4)

รูปที่ 5. ลักษณะการวางมุมของหัวเผาที่พิกัดต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงถึงแบบจำลองที่วางหัวเผาตามพิกัดมุมที่ได้นำมาศึกษาในงานวิจัยทั้งหมด 19 กรณีศึกษาในพิกัดแนวแกน Y 10 กรณีศึกษาคือ เอียงขึ้น 1, 2, 3, 4, 5 และเอียงลง -1, -2, -3, -4 และ -5 องศาตามลำดับ และแนวแกน X 4 กรณีศึกษาคือ เอียงไปทางซ้าย 3, 5 และ -3, -5 องศาตามลำดับ และ 5 กรณีสุดท้ายคือมีทั้งในพิกัดแกน (X,Y) และมุมปกติที่ใช้ในโรงงาน

3. การวิเคราะห์ทางไฟในตัวอย่างด้วยโปรแกรม ANSYS FLUENT

3.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม ANSYS FLUENT

เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้จำลองจากสภาวะจริงของเตาเผาแต่เป็นการจำลองจากสภาวะที่ไม่ได้ใส่ปูนเข้ามาเผาเพราะต้องการศึกษาเพียงว่าลักษณะการวางมุมของหัวเผามุมใดที่จะมีผลทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิที่สูงกว่ามุมเดิมตามแนวความยาวของเตาเผา เพราะฉะนั้นในการกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้จะใช้ค่าเดียวกับกับค่าที่ใช้ในสภาวะการทำงานที่มีการวางมุมหัวเผาที่มีมุมปกติ

3.2 กระบวนการวิธีที่ใช้วิเคราะห์ (Analysis Criteria)

สำหรับการแบ่งเอลิเมนต์ของเตาเผาปูนขาวจะใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม (Tet/Hybrid) ชนิดที่กริด

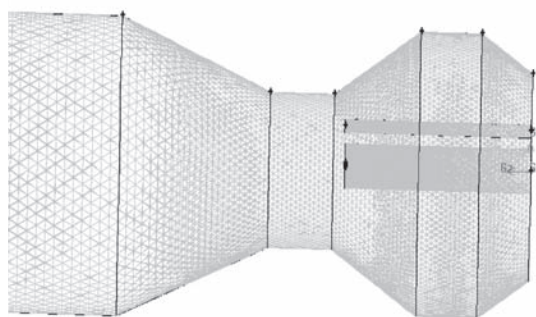
(TGrid) เพราะเหมาะสำหรับรูปร่างทรงกลมที่มีความโค้งมน ดังรูปที่ 6 โดยมีขนาดเอลิเมนต์โดยเฉลี่ยประมาณ 490,000 เอลิเมนต์ ถ้ามีการแบ่งเอลิเมนต์มากกว่านี้ จะไม่สามารถประมวลผลได้เนื่องจากว่าความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลมีหน่วยความจำ สำหรับการประมวลผลไม่เพียงพอและจากการประมวลผลด้วยการแบ่งเอลิเมนต์ดังที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อนำไปใช้วิเคราะห์ผลในโปรแกรม Ansys Fluent ได้ผลวิเคราะห์ออกมาให้ค่าการกระจายอุณหภูมิตลอดความยาวเตาเผาตรงกับค่าการกระจายอุณหภูมิของเตาเผาที่มีการทำงานที่สถานะจริง จึงได้มีใช้วิธีการแบ่งเอลิเมนต์สำหรับ

ทุกแบบจำลองเช่นเดียวกันกับแบบจำลองทางกายภาพของเตาเผาที่มีสถานะการทำงานเช่นเดียวกับเตาเผาที่ใช้ปฏิบัติงานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

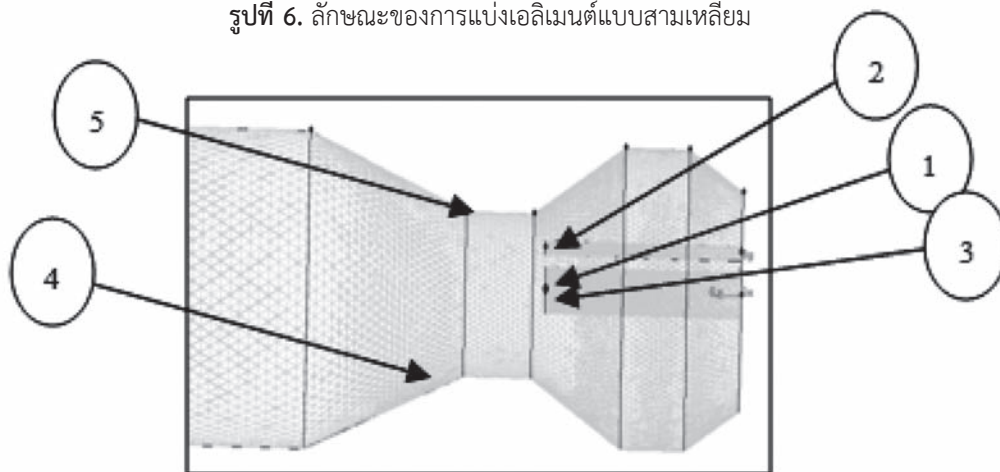
3.3 การกำหนดค่าในโปรแกรม

3.3.1 การกำหนดค่าที่สถานะอ้างอิง

งานวิจัยนี้มีการกำหนดค่าตัวแปรอ้างอิง เพื่อใช้เป็นค่าเบื้องต้น ในงานวิจัยนี้จะกำหนดค่าในโปรแกรมด้วยวิธีการกราฟิก (Graphical User Interface, GUI) โดยสถานะอ้างอิงจะกำหนดอ้างอิงจากรูปที่ 7 ดังตารางที่ 1



รูปที่ 6. ลักษณะของการแบ่งเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม



รูปที่ 7. การกำหนดค่าที่สถานะอ้างอิง

เมื่อ 1 คือ หัวฉีดน้ำมัน, 2 คือ หัวฉีด NCG, 3 คือ STEAM, 4 คือ WALL และ 5 คือ เตาหมุน

จากรูปที่ 7 แสดงตำแหน่งต่างๆ บนเตาเผาปูนขาวที่จะนำมากำหนดค่าสถานะอ้างอิง

ตำแหน่งที่ 1. หัวฉีดน้ำมัน ตำแหน่งที่ 2. หัวฉีด NCG

ตำแหน่งที่ 3. STEAM

ตำแหน่งที่ 5. เตาหมุน

ตำแหน่งที่ 4. WALL

ตารางที่ 1. ตำแหน่งและค่าอ้างอิงที่ใช้กำหนด
ในการวิเคราะห์

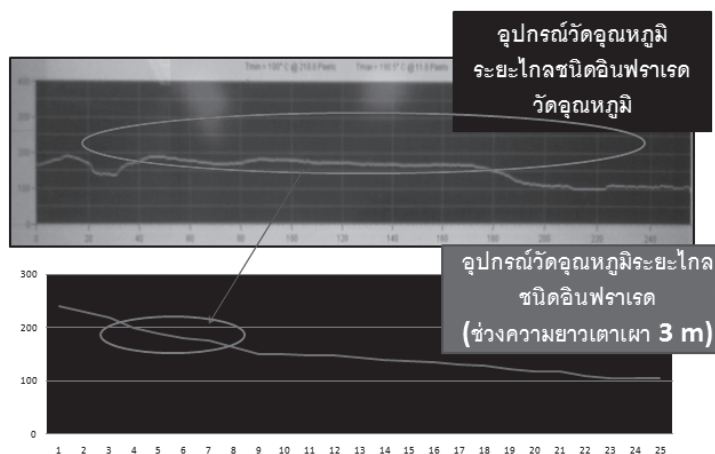
Boundary condition	Value
1. หัวฉีดน้ำมัน	ความดัน 380 MPa อุณหภูมิ 300 °c
2. หัวฉีด NCG	ความดัน 6.7 MPa อุณหภูมิ 300 °c
3. STEAM	ความดัน 380 MPa อุณหภูมิ 1060 °c
4.WALL	อุณหภูมิ 26 °c
5.เตาหมุน	ความเร็วรอบ 1.05 rpm

โดยจากตารางที่ 1 เป็นค่าที่จะกำหนดเป็นค่าเริ่มต้นของแบบจำลองโดยค่านี้จะได้จากการเก็บข้อมูลในโรงงาน แต่ในการกำหนดค่าไม่ได้กำหนดค่าคุณสมบัติของผนังเตาเผาปูนขาวเพราะในการกำหนดคุณสมบัติของผนังเตาจะทำให้การประมวลผลในโปรแกรมทำงานมากกว่าปกติและสำหรับข้อจำกัดของแบบจำลองคือ ไม่คิดการสูญเสียความร้อนโดยผลิตภัณฑ์ปูนขาวที่นำมาเผาเนื่องจากในการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองมีรูปแบบที่ซับซ้อนและยุ่งยากเพราะสำหรับงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะลักษณะของการวางมุมหัวเผาที่จะมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิที่จะทำให้อุณหภูมิภายในเตามีค่ามากที่สุดและ

พิจารณาจากลักษณะของเปลวไฟที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ปูนขาวในเตาเผาปูนขาว

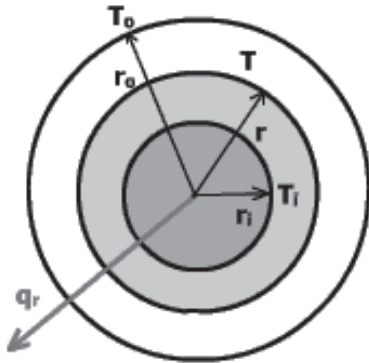
4. ค่าการกระจายอุณหภูมิของเตาเผาปูนขาว

สำหรับค่าการกระจายอุณหภูมิของเตาเผาปูนขาวที่ใช้ในโรงงานนั้น จะวัดจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิระยะไกลด้วยอินฟราเรดและอุปกรณ์ที่ใช้วัดภายในเตาคือเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้ทั้งหมด 2 จุดโดยจุดแรกจะติดตั้งที่บริเวณหัวเผาและอีกด้านหนึ่งจะติดตั้งที่บริเวณทางออกของฟลูก๊าสโดยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิระยะไกลจะใช้สำหรับวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาปูนขาวเฉพาะบริเวณ Burning zone ซึ่งเป็นช่วงของการเผาไหม้เพื่อพิจารณาในกรณีที่อุณหภูมิมีความสูงมากกว่าปกติจะทราบว่าการสูญเสียของอิฐทนไฟภายในเตา ดังนั้นเราจึงทราบค่าการกระจายอุณหภูมิเฉพาะช่วง Burning zone รวมทั้งทางเข้าและทางออกของเตาเผาปูนขาว ดังนั้นในการหาค่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาปูนขาวตลอดทั้งแนวความยาวเตาเผาจึงได้มีการใช้อุปกรณ์วัดระยะไกลแบบมือถือวัดบริเวณผิวของเตาโดยจะแบ่งเป็นช่วงละ 3 เมตร และเตามีความยาวทั้งหมด 70 เมตร ดังนั้นจึงมีทั้งหมด 25 ช่วง จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในเตาเผาที่บริเวณ Burning zone เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งในโรงงานกับการใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบมือถือจะพบว่ามีความอุณหภูมิผิวเตาใกล้เคียงกันดังรูปที่ 8



รูปที่ 8. เปรียบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในโรงงานกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบมือถือ

จากนั้นจะใช้วิธีการหาค่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อน โดยเราทราบเฉพาะสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่านั้น ดังนั้นจึงพิจารณาจากการนำความร้อนบริเวณผิวเตาตั้งรูปที่ 9



รูปที่ 9. แสดงวิธีหาค่าการนำความร้อนของวัสดุทรงกระบอก

จากรูปที่ 9 สามารถเขียนความสัมพันธ์สมการการนำความร้อน ได้ดังนี้

$$q_r = \frac{2\pi L(T_i - T_o)}{\ln \frac{r_o}{r_i}}$$

เมื่อ

q_r คือ ค่าการนำความร้อน

l คือ ความยาวเตาเผา

T_i คือ อุณหภูมิภายในเตา

T_o คือ อุณหภูมิผิวเตา

r_o คือ รัศมีภายนอกเตา

r_i คือ รัศมีภายในเตา

โดยนำค่าการกระจายอุณหภูมิจากบริเวณผิวของเตาเผาปูนขาวที่ได้จากการใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิระยะไกลแบบมือถือมาหาค่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตา

ผลการทดลองและวิจารณ์

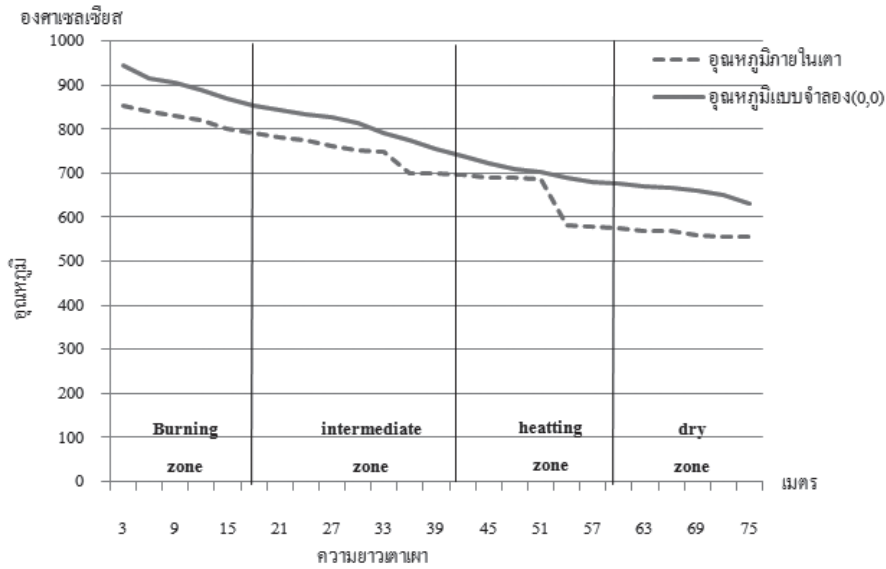
ผลการศึกษาที่สนใจสำหรับงานวิจัยนี้คือค่าการกระจายอุณหภูมิตลอดความยาวเตาเผาปูนขาวของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่มีการวางมุมในลักษณะต่างๆ โดยแบบจำลองเตาเผาปูนขาวจะสร้างจากเตาเผาปูนขาวจริงในโรงงานอุตสาหกรรมและนำผลอุณหภูมิที่ได้มาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่วัดค่าได้จริงจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจะนำแบบจำลองที่มีการวางมุมหัวเผาที่พิกัดต่างๆ และเปรียบเทียบว่าที่พิกัดใดจะให้ค่าการกระจายอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดโดยผลการศึกษาที่มีดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบโปรแกรม

สำหรับการตรวจสอบโปรแกรม จะทำโดยการสร้างแบบจำลองที่จำลองการใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม และดูแนวโน้มค่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาปูนขาว จากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง เพียงแต่ว่าอุณหภูมิผิวภายนอกเตาเผาปูนขาวที่สนใจนั้นที่โรงงานอุตสาหกรรมมีการวัดค่าไว้แล้วเพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบว่าเกิดปัญหาขึ้นภายในเตาหรือไม่อย่างไร จึงนำค่าที่ได้จากการวัดการกระจายอุณหภูมิของทางโรงงานมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่สร้างขึ้น และเมื่อพบว่าถ้ามันมีแนวโน้มของค่าการกระจายอุณหภูมิไปในแนวทางเดียวกัน นั้นแสดงถึงแบบจำลองมีความเป็นไปได้ที่ค่าได้ถูกต้อง จึงนำแบบจำลองที่สร้างมาปรับเปลี่ยนการวางมุมหัวเผาให้อยู่ในลักษณะพิกัดมุมต่างๆ

1.1 ผลของอุณหภูมิที่วัดจากโรงงานเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

สำหรับแบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมการทำงานของเตาเผาปูนขาวในโรงงานเพื่อที่จะใช้ตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ต่อกับพิกัดมุมต่างๆ ได้อีกหรือไม่ นั่นคือแบบจำลองที่พิกัด (0, 0) โดยค่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาปูนขาวเปรียบเทียบกับแบบจำลองนั้นแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10. กราฟการกระจายอุณหภูมิของเตาเผาปูนขาวกับแบบจำลองเตาเผาปูนขาว

จากรูปที่ 10 เส้นกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กราฟเส้นที่บคือเส้นที่แสดงถึงอุณหภูมิภายในของเตาและเส้นประคืออุณหภูมิผิวภายนอกของเตาจะสังเกตเห็นว่าแนวโน้มของเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะมีทิศทางไปในแนวเดียวกัน แต่จากการที่กราฟเส้นประมีช่วงที่ไม่ต่อเนื่องแบ่งเป็น 3 ช่วง เนื่องจากว่าค่าการนำความร้อนของช่วงทั้ง 3 ช่วง มีสัมประสิทธิ์ค่าการนำความร้อนไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดเส้นกราฟที่ไม่ต่อเนื่องและจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิสุดท้ายของเตาที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่า 560 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่วัดจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบมือซึ่งมีค่า 554 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกันจึงสามารถนำค่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาปูนขาวที่ได้จากวิธีการหาค่าการนำความร้อนไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองเตาเผาปูนขาวต่อไปโดยดูจากเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงต่างๆของเตาเผา เมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความคาดเคลื่อนระหว่างอุณหภูมิภายในเตาเผาและอุณหภูมิแบบจำลอง (0,0) ของช่วงต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความคาดเคลื่อนระหว่างอุณหภูมิภายในเตาเผา

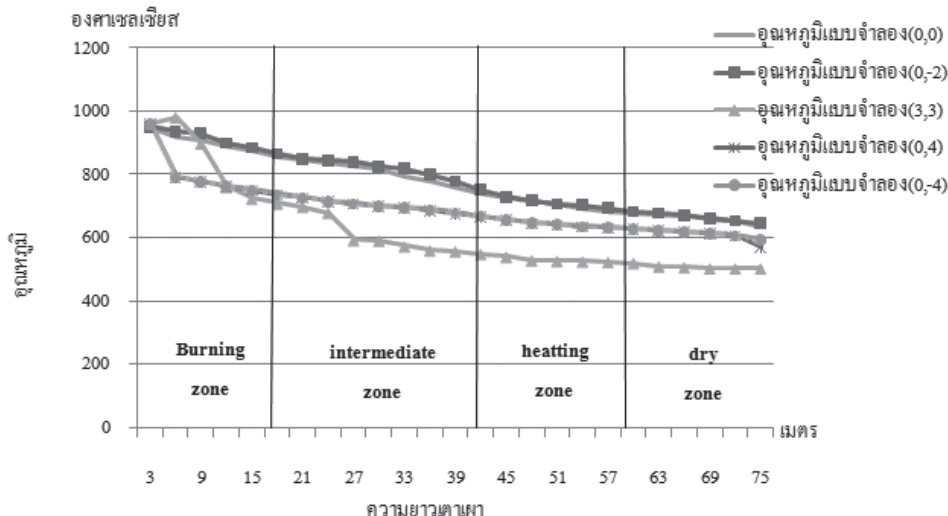
ช่วงของเตาเผา	เปอร์เซ็นต์ความคาดเคลื่อน (%)	
	Maximum	Minimum
1. Burning zone	10	8
2. Intermediate zone	11	5
3. Heating zone	19	2
4. Chain zone	18	14

จากตารางที่ 2 ความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ไม่ได้คิดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนและการสูญเสียความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ปูนขาวจึงทำให้อุณหภูมิแบบจำลองมีค่าสูงกว่า เมื่อพิจารณาจากแบบจำลองที่พิกัด (0,0) ซึ่งถือว่าเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำแบบจำลองนี้ไปใช้ร่วมกับพิกัดมุมอื่นๆ โดยทำการเปลี่ยนมุมไปที่พิกัดต่างๆ โดยที่เงื่อนไขเริ่มต้นยังกำหนดเหมือนแบบจำลองพิกัด (0,0)

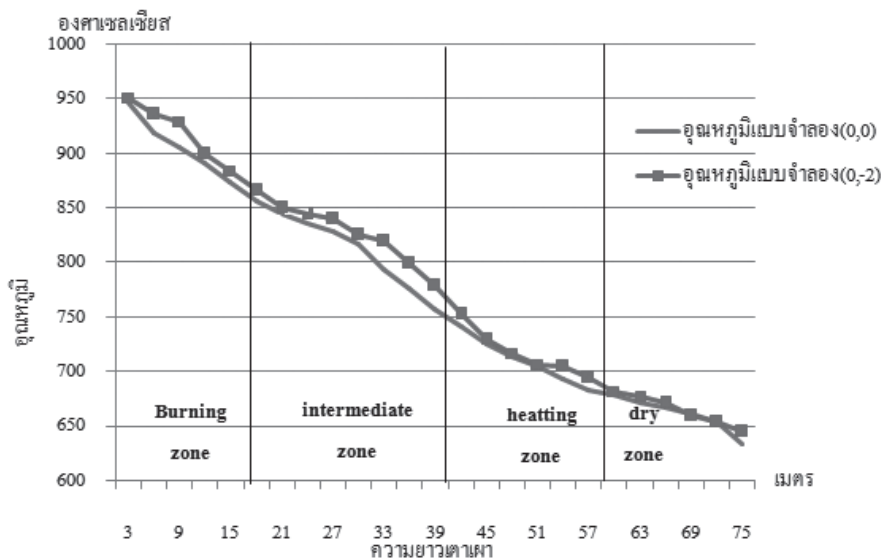
1.2 การกระจายอุณหภูมิที่พิกัดมุมที่เหมาะสมที่สุด (0,-2)

จากการเปรียบเทียบค่าการกระจายอุณหภูมิที่พิกัดต่างๆ พบว่าแบบจำลอง (0,-2) จะให้ค่าการกระจายอุณหภูมิตลอดความยาวเตาเผาปูนขาวสูงกว่ากรณีของพิกัดมุมอื่นๆ ดังรูปที่ 11 (a)

จากรูปที่ 11 (a) จะแสดงการกระจายอุณหภูมิเปรียบเทียบกับแบบจำลองต่างๆ จะพบว่าแบบจำลองพิกัด (0,-2) ให้ค่าการกระจายอุณหภูมิสูงกว่าแบบจำลองอื่นๆ ดังรูปที่ 11 (b) โดยเปอร์เซ็นต์อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของแต่ละช่วงมีค่าประมาณ 2 % จากแต่ละช่วง จากนั้นจึงศึกษาถึงลักษณะของเปลวไฟของแบบจำลองต่างๆ



(a) เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิแบบจำลอง

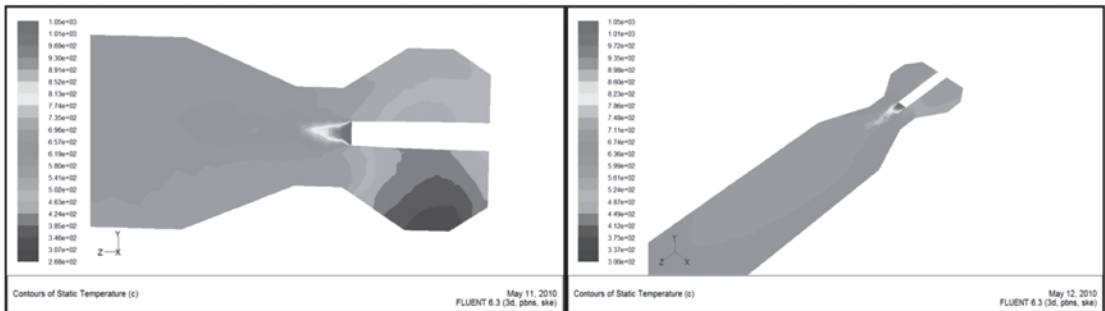


(b) เปรียบเทียบอุณหภูมิแบบจำลอง (0,0) กับ (0,-2)

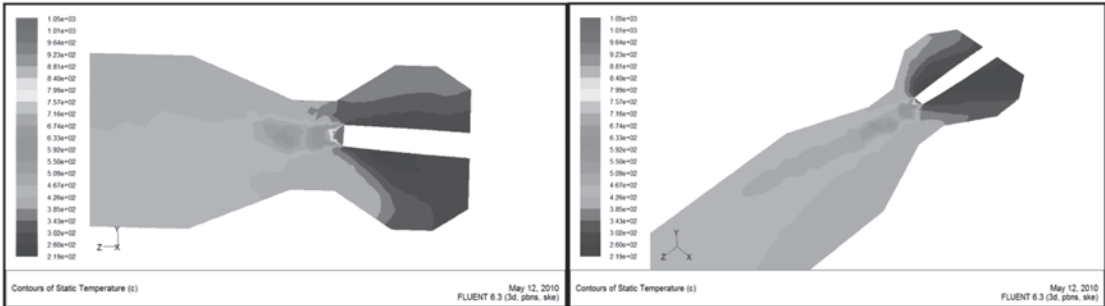
รูปที่ 11. กราฟการกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาว

ซึ่งจะเปรียบเทียบกับแบบจำลอง (0,0) ดังรูปที่ 12 โดยจะยกตัวอย่างแบบจำลอง (3,3) ดังรูปที่ 13, แบบจำลอง (0,4) ดังรูปที่ 14, แบบจำลอง (0,-4) ดังรูปที่ 15 และแบบจำลอง (3,0) ดังรูปที่ 16 และแบบจำลอง (0,-2) ที่ให้ค่าการกระจายอุณหภูมิสูงกว่าแบบจำลองอื่นๆ ตามลำดับ ดังรูปที่ 17

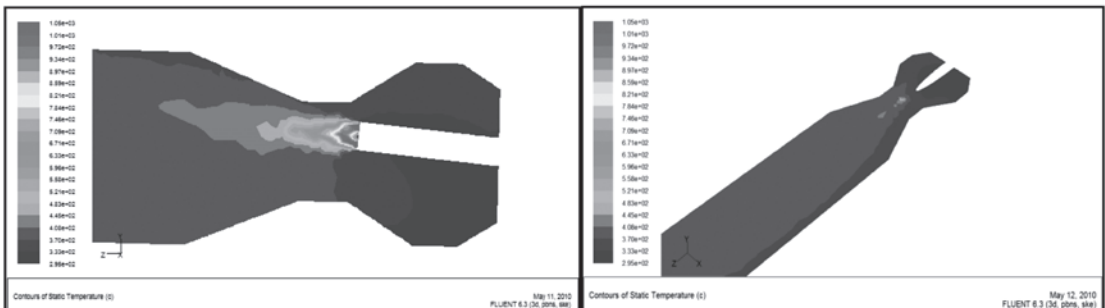
จากรูปที่ 12 รูปร่างลักษณะเปลวไฟของแบบจำลอง (0,0) จะมีลักษณะลอยตัวขึ้นชนกับผนังเตาด้านบนและจากรูปที่ 13 รูปร่างลักษณะเปลวไฟของแบบจำลอง (3,3) จะมีลักษณะลอยตัวขึ้นชนกับผนังเตาด้านข้างและด้านล่างของเตาเผาปูนขาว จากรูปที่ 14 รูปร่างลักษณะเปลวไฟของแบบจำลอง (0,4) ไม่มีการกระจายรูปร่างเปลวที่แคบและชี้ลอยขึ้นไปทางผนังเตามากกว่า และจาก



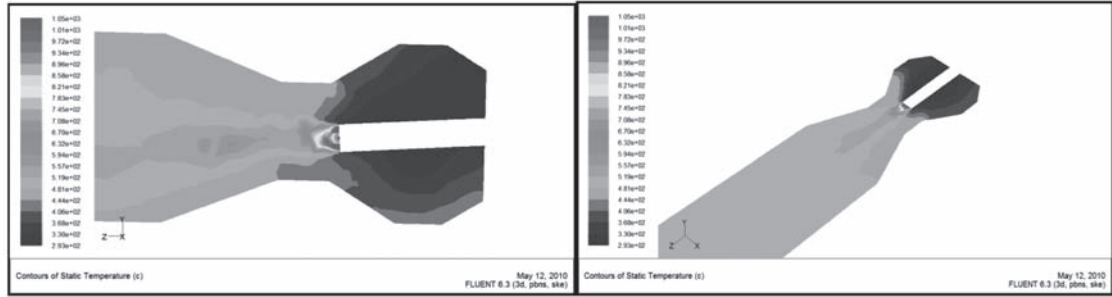
รูปที่ 12. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (0,0)



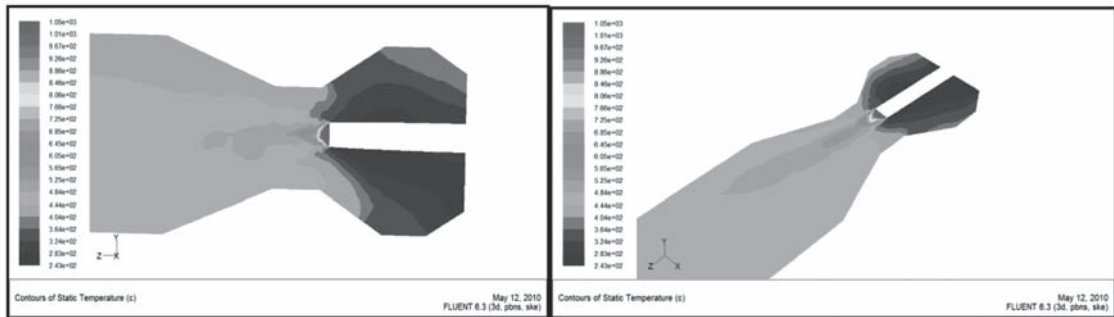
รูปที่ 13. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (3,3)



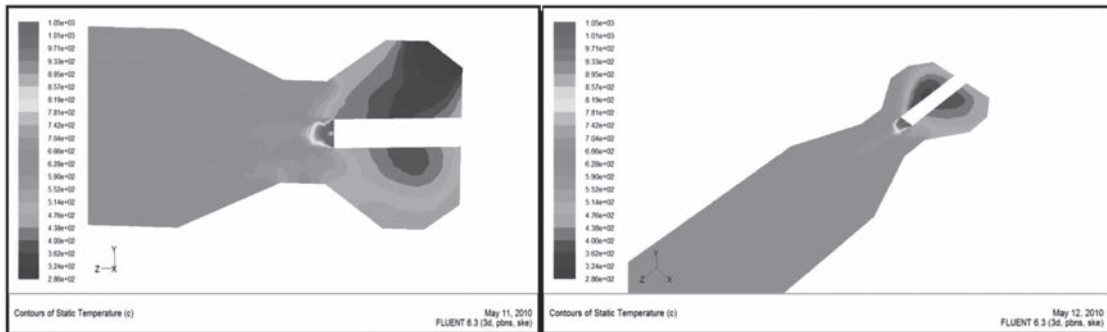
รูปที่ 14. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (0,4)



รูปที่ 15. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (0,-4)



รูปที่ 16. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (3,0)



รูปที่ 17. การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (0,-2)

รูปที่ 15 รูปร่างลักษณะเปลวไฟของแบบจำลอง (0,-4) ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่จะกลับกันตรงที่เปลวไฟจะอยู่บริเวณผนังเตาด้านล่างมากกว่าและมากจนเกินไปซึ่งจะมีผลต่อผนังเตา และจากรูปที่ 16 รูปร่างลักษณะเปลวไฟของแบบจำลอง (3,0) ก็จะมีลักษณะคล้ายๆ กัน โดยผลจากการที่เปลวไฟอยู่ใกล้กับผนังมากจนเกินไปหรือติดกับผนังเลยนั้นจะมีผลต่ออายุการใช้งานของผนังเตาทำให้มีอายุการใช้งานต่ำลง เกิดการสูญเสียอิฐทนไฟที่ใช้สำหรับก่อเตาเผาปูนขาว และโดยส่วนใหญ่แล้วผลิตภัณฑ์

ปูนจะมีการไหลตามการหมุนของเตาเผาปูนขาวรวมทั้งมีผลจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ปูนจะตกอยู่ที่พื้นล่างของผนังเตามากกว่า และจากรูปที่ 17 รูปร่างลักษณะเปลวไฟของแบบจำลอง (0,-2) ลักษณะของเปลวไฟจะให้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดและลดลงตามแนวความยาวเตาเผาโดยมีลักษณะสม่ำเสมอซึ่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์ปูนขาวที่ไหลภายในเตาแบบสม่ำเสมอเต็มพื้นที่หน้าตัดตามแนวการหมุนของเตาเผาปูนขาว

สรุปผล

การศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการวางมุมของหัวเผาในลักษณะต่างๆ ซึ่งการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆ จะเหมือนกันสำหรับทุกๆ แบบจำลองเตาเผา โดยแบบจำลองเตาเผาที่นำมาใช้ในการศึกษาจะทำการเปรียบเทียบค่าการกระจายอุณหภูมิกับเตาเผาปูนขาวที่มีการใช้งานจริงในโรงงานและจากผลการศึกษาพบว่าให้ค่าผลของการกระจายอุณหภูมิจากทั้ง 2 กรณีมีค่าใกล้เคียงกัน จากนั้นจึงนำแบบจำลองเตาเผาปูนขาวนี้มาศึกษาด้วยการเปลี่ยนค่ามุมหัวเผาในพิกัดมุมต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. สรุปผลการศึกษา

อุณหภูมิเปลวไฟที่ใช้เริ่มต้นในการประมวลผลนั้นคือ 1060 องศาเซลเซียส และการวางมุมหัวเผาในพิกัดต่างๆ มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาปูนขาว โดยในกรณีของแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่พิกัดมุม (0,0) คือแบบจำลองเตาเผาที่จำลองจากเตาเผาปูนขาวที่มีการใช้งานจริงในโรงงาน ผลของค่าการกระจายอุณหภูมิตลอดแนวความยาวเตาเผาปูนขาวนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการกระจายอุณหภูมิกับเตาเผาปูนขาวที่มีการใช้งานจริงในโรงงานโดยเตาเผาปูนขาวที่มีการใช้งานจริงในโรงงานใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วยเลเซอร์ เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดอินฟราเรด ระยะไกลโดยการยิงผ่านตลอดแนวความยาวเตาเผาปูนขาว จะพบว่าแนวโน้มของการกระจายอุณหภูมิมิมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน จากนั้นจะนำแบบจำลองเตาเผาปูนขาวที่ได้มาศึกษาต่อด้วยการศึกษาการวางมุมหัวเผาในพิกัดต่างๆ โดยจะพบว่าที่พิกัดมุม (0,-2) ให้ค่าการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่าเดิมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการไหลสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด ซึ่งการที่ค่าการกระจายอุณหภูมิตีดีกว่าเดิมนั้น นั้นหมายความว่า จะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์นั้นคือปูนที่นำมาเผาเพื่อให้กลายเป็นปูนขาวจะมีการเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เพราะว่าปูนขาวต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่า 800 องศาในการเกิดปฏิกิริยา โดยการที่ตลอดแนวความยาวเตาเผาปูนขาวอุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยให้ปูนสุกไวขึ้นและยังช่วย

ให้ประหยัดขึ้นจากการที่ใช้เชื้อเพลิงเท่าเดิมแต่สามารถให้ค่าการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่าเดิม และนอกจากอุณหภูมิเปลวไฟจะให้ค่าที่เหมาะสมมากกว่าพิกัดมุมอื่นๆ แล้วรูปร่างเปลวไฟก็ยังเหมาะสมมีความต่อเนื่อง

2. อภิปรายผลการศึกษาปัญหาและแนวทางการปรับปรุงในงานวิจัย

จากผลสรุปการศึกษาพบว่าพิกัดมุม (0,-2) ให้ค่าการกระจายอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการไหลสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด แต่สำหรับการทำงานจริงของโรงงานนั้นการที่ผลิตภัณฑ์ปูนขาวไหลสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดนั้นอาจไม่เสมอไป เพราะผลิตภัณฑ์อาจมีการก่อกวนเป็นก้อนหรืออาจเกาะติดกับผนังเตาเนื่องจากความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนเตาเผาซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไหลเข้ามาเพื่อถูกเผา อาจจะไม่เหมาะสมกับหัวเผาตามลักษณะมุมต่างๆ โดยจะให้ลักษณะของเปลวไฟและการกระจายอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และในการประมวลผลงานศึกษาวิจัยนี้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys Fluent และทำการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม Gambit ซึ่งจะสร้างในส่วนของโครงสร้างเตาเผาปูนขาว แต่ไม่ได้สร้างส่วนที่เป็นฉนวนของผนังเตารวมทั้งในการวิเคราะห์จะวิเคราะห์เฉพาะปริมาตรที่เป็นอากาศภายในเตานั้นคือไม่ได้วิเคราะห์ในกรณีที่มีผลิตภัณฑ์ปูนขาว (Lime mud) อยู่ในเตาด้วยและได้กำหนดขอบเขตและชนิดของเงื่อนไขแทนเพื่อแสดงถึงส่วนต่างๆ ของเตา เช่น กำหนดให้ในส่วนนี้คือผนังเตา หัวฉีดน้ำมัน หัวฉีด NCG เป็นต้น เพราะเนื่องจากว่ารายละเอียดเกี่ยวกับผนังของเตาที่มีความซับซ้อนมากจึงกำหนดได้เฉพาะคุณสมบัติของผนังแทนการสร้างแบบในส่วนของฉนวนเพราะทำจากอิฐหลายก้อนและอิฐในแต่ละโซนมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน จึงไม่สามารถระบุสิ่งที่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำผนังเตาได้ ส่วนค่าอุณหภูมิและความดันจะได้จากการวัดที่มีการบันทึกของโรงงานเป็นประจำทุกวันนำมาใช้เป็นค่ากำหนดเริ่มต้น แต่ในทางปฏิบัติจริงนอกจากค่าความดันและอุณหภูมิควรจะมีค่าส่วนประกอบของก๊าซต่างๆ

ที่เกิดขึ้นในเตาเผาปูนขาวเพื่อจะนำไปป้อนเข้าโปรแกรมประมวลผล เพราะเป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้ผลมีความแม่นยำและถูกต้องมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาสละเวลา ให้ความรู้ และคำแนะนำตลอดการทำงานวิจัยและขอขอบพระคุณ อาจารย์จากรุพล สุริยวานากุล ผู้ช่วยเหลื่อด้านการสร้างแบบจำลองและขอขอบพระคุณคุณธนภุต, ชุมมณเทียร และบริษัท ฟินิก พัลพ แอนด์เปเปอร์ที่ช่วยเหลื่อด้านข้อมูลขอขอบพระคุณ โครงการสร้างขีดความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนา ฯ (U-IRC) ที่ได้ให้เงินทุนสำหรับสนับสนุนในการทำรายงานการวิจัยนี้ ท้ายที่สุด ขอกราบขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจ และให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- Peter Gorog J. 2002. **Lime sludge kiln operation**. [online].[Cite 6 July 2008]. Available from: faculty.washington.edu/malte/seminar/.../LimeKilnOperations.pdf
- Pulp and Paper Mills. 2001. **Hot flow lime kiln modeling**. [Online]. [Cite 6 July 2008]. Available from: www.psl.bc.ca
- Georgallis, M. 2006. **Mathematical modelling of lime kilns**. [online]. [Cite 6 July 2008]. Available from: [from www.psl.bc.ca](http://www.psl.bc.ca)
- Kenneth A. C. 2007. **Case study: multiple fuel firing in a lime kiln**. [online]. [Cite 6 July 2008]. Available from: www.coen.com/mrktlit/brochures/pdf/limekiln.pdf
- ปกรณวิศ ปัตถา. 2551. **การศึกษาการกระจายอุณหภูมิและความเร็วลมในเตาเผาดินดานเกวียนที่เกิดจากการเจาะช่องสี่เหลี่ยมที่ผนังด้านข้าง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Fluent Incorporated. 1996. **User's guide for fluent/UNS & Rampant, Release 4.0, April Fluent User Service Center**. [online]. [Cite 6 July 2008]. Available from: www.fluentusers.com