

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาถึง การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล CFDRC[®] (Computational Fluid Dynamics) ซึ่งผลของโปรแกรมที่ได้จากการคำนวณนั้นจะยอมรับได้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเอกสารงานวิจัยอื่นๆ หรือทำการทดลองเปรียบเทียบผลจากข้อมูลจริง

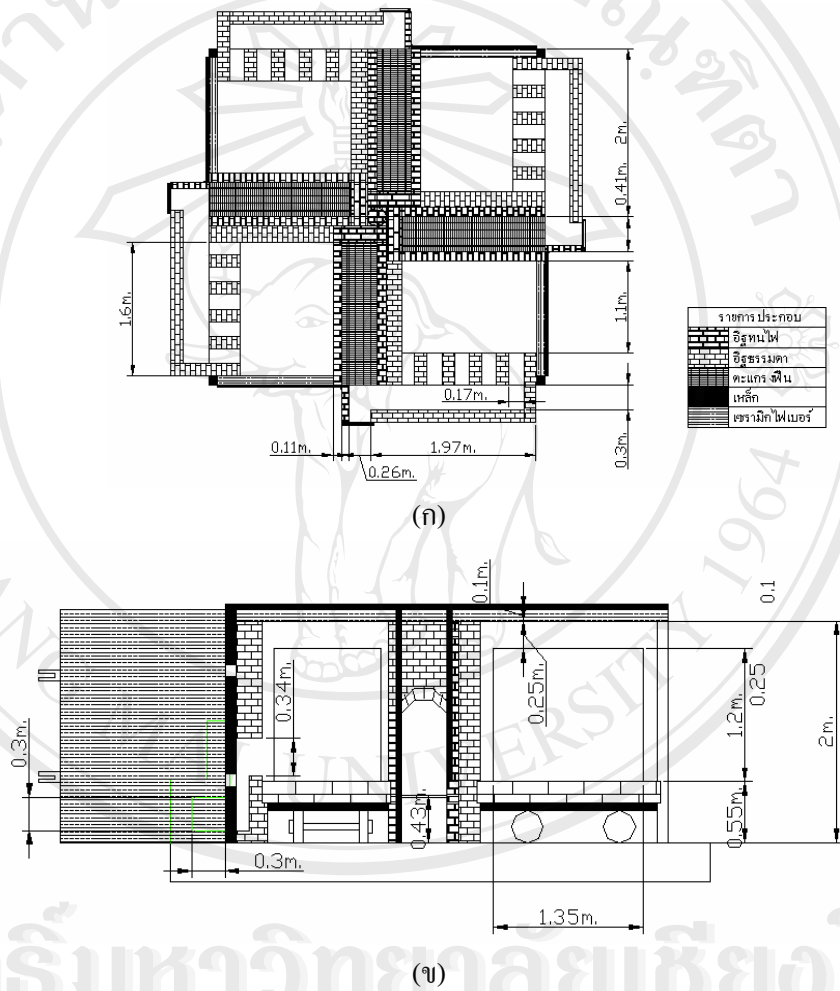
โดยในบทนี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกที่เป็นการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของเตาเผาจะกล่าวถึงวิธีการสร้างโดเมน วิธีการคำนวณผลและวิธีการแสดงผลลัพธ์ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมชุดของ CFDRC[®] ในการออกแบบต่างๆ และส่วนที่สองคือ วิธีการเก็บข้อมูลจริงโดยการทดสอบการเผาจริงเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองตามสภาวะต่างๆ ที่ได้ทำการจำลองการคำนวณตามโปรแกรมและกล่าวถึงการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ การติดตั้งซึ่งจะต้องสอดคล้องกับโปรแกรมและสอดคล้องกับการทำงานจริงด้วยอีกทั้งยังต้องคำนึงถึงสัณยภาพของเครื่องมือวัดเพื่อผลการวัดที่ไม่ผิดพลาดจากความเป็นจริงมากนัก

3.1 การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข

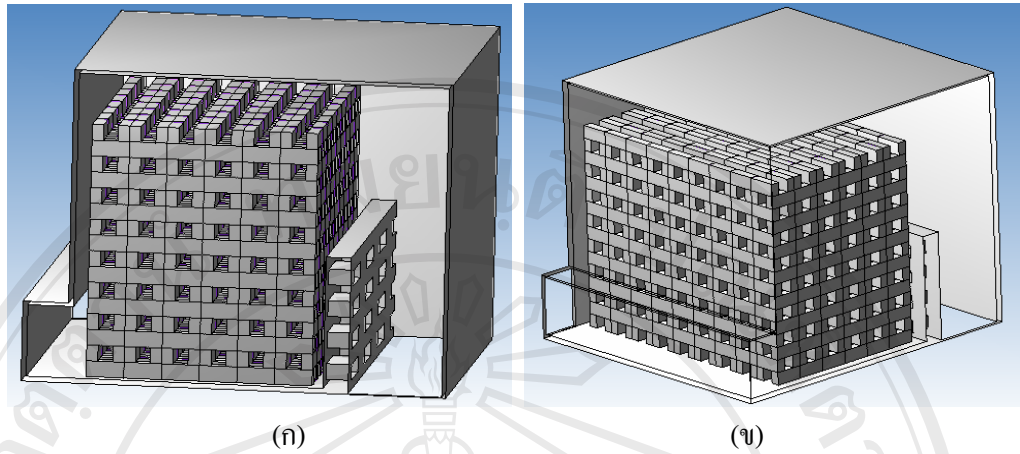
การคำนวณเชิงตัวเลขขั้นแรกจะต้องสร้างโดเมนในการคำนวณขึ้นมาก่อน ซึ่งโดเมนในการคำนวณในโครงการวิจัยนี้คือ การสร้างโดเมนที่มีลักษณะเป็นห้องเผา (เฉพาะบริเวณที่สนใจในที่นี้จะจำลองเฉพาะห้องเผาอุณหภูมิห้องเดียว) โดยมีความคล้ายคลึงทางด้านขนาดและรูปร่าง ที่เหมือนกันกับเตาของจริง ในงานวิจัยได้เลือกจำลองแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยในการจำลองนั้นจะทำการคำนวณผลจากโมเดลที่กำหนดไว้ทั้งหมด 9 โมเดลการทดลอง ซึ่งแต่ละโมเดลที่มีการจำลองแบบ 2 มิติ จะมีการเก็บข้อมูลจริงเพื่อเปรียบเทียบผลอยู่แล้ว ส่วนแบบจำลอง 3 มิติ จะศึกษาถึงปรากฏการณ์การไหลที่เกิดขึ้นเท่านั้น

ในการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข โดยการใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล CFDRC[®] สามารถแบ่งขั้นตอนการสร้างออกได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนแรกขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre-Processing) ขั้นตอนที่สองคือขั้นตอนการประมวลผล (Processing) และขั้นตอนสุดท้ายคือ ขั้นตอนหลังการประมวลผล (Post-Processing) รายละเอียดในการใช้โปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

การสร้างแบบจำลองในการศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมินั้นเนื่องจากลักษณะการทำงาน วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างและขนาดเหมือนกันทุกห้องดังรูปที่ 3.1 จึงสร้างแบบจำลองเป็นตัวแทนเพียงห้องเดียวและทำการคำนวณที่กระบวนการเผาไหม้เท่านั้นดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงลักษณะภายในห้องเผาไหม้

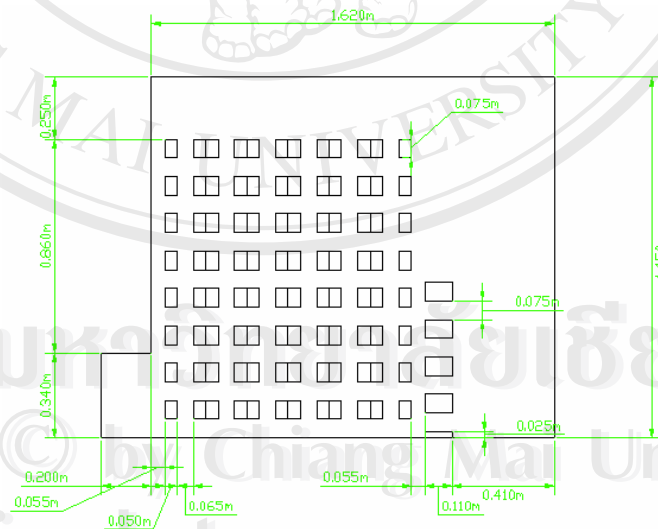


รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของเตาเผาไหม้ 4 ห้องเผา (ก) รูปด้านบน, (ข) รูปด้านหน้า



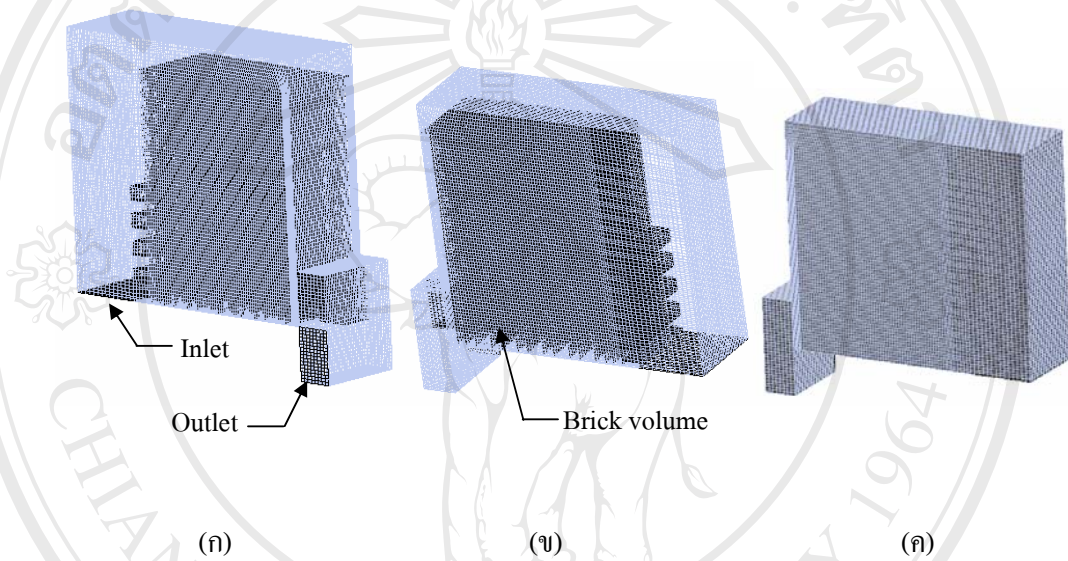
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของห้องเผาอิฐ (ก), (ข) รูปแบบ 3 มิติ ห้องเผาเดี่ยวแสดงปริมาตรภายในห้องเผา

ในงานวิจัยนี้ห้องเผามีการไหลของอากาศร้อนที่มีลักษณะที่กึ่งสมมาตรคือ มีลักษณะการไหลที่เหมือนกันจากด้านหน้าไปสู่ด้านหลังตามแนวความลึกและก๊าซร้อนที่จะวิ่งจากทางด้านล่างขวามือผ่านไปยังห้องเผาและออกไปทางด้านล่างซ้ายของห้องเผาดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของห้องเผาอิฐแบบ 2 มิติ

ส่วนในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ใช้โปรแกรม CFD-GEO โดยวัดความลึกสามส่วน เนื่องจากว่าในแนวทางลึกนั้นมีลักษณะเหมือนที่ซ้ํากันตลอดทางด้านลึก เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ (Computational Time) จึงสามารถสร้างแบบจำลองแบบ 3 มิติ โดยมีความลึกเพียง 3 ส่วน จากเตาจริงที่มี 7 ส่วน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม CFD-GEOM แบบ 3 มิติ 3 ส่วน
(ก) รูปด้านหลัง, (ข) รูปด้านหน้า, (ค) รูปด้านนอก

โมเดลทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณตามแบบจำลองที่สร้างไว้ในงานวิจัยได้กำหนดกรณีศึกษาทั้งหมด 9 โมเดล โดยแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบ 2 มิติ 9 โมเดล ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และแบบ 3 มิติ 1 โมเดล โดยเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในแบบ 2 มิติ มาเป็นกรณีศึกษาเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ไหลที่เกิดขึ้นจริงโดยมีอิทธิพลของการไหลในมิติที่สามด้วยซึ่งจะสามารถอธิบายลักษณะการไหลได้ใกล้เคียงกับการไหลที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าแบบจำลอง 2 มิติ

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองในการคำนวณ

แบบจำลอง (No.)	Temperature T (°C)	Flow Rate Q (kg/hr)
1	800	200
2	800	400
3	800	600
4	900	200
5	900	400
6	900	600
7	1,000	200
8	1,000	400
9	1,000	600

3.2 การเก็บข้อมูลการทดสอบจริง

เพื่อการตรวจสอบผลจากการจำลองเชิงตัวเลข โดยการใส่โปรแกรมจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบผล (Validate) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลได้ 2 วิธีคือ การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันหรือทำการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการเก็บข้อมูลจากการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบยืนยันผลการคำนวณทางโปรแกรม

ซึ่งในการเก็บข้อมูลจริงเปรียบเทียบนั้นจะเก็บข้อมูลความเร็วและข้อมูลอุณหภูมิภายในเตา ในการเก็บข้อมูลความเร็วนั้นจะเก็บข้อมูลทางเข้าของอากาศร้อนทางช่องซี่เต้าของเตา โดยต่อท่อวัดความเร็วลมออกมาเดินพัดลมดูดอากาศทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว (Steady State) จึงทำการวัดความเร็วเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศร้อนในระบบ เนื่องจากการคำนวณในแบบจำลองสามารถหาค่าความเร็วและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ได้ในงานวิจัยได้เปลี่ยนอุณหภูมิในการเผาสามารถทำการควบคุมได้ด้วยการควบคุมอัตราการใส่ฟืน ในการวัดอุณหภูมิที่สูงจะใช้หัววัดเทอร์โมคัปเปิลซึ่งทำจากเซรามิกหรือสแตนเลส ซึ่งทนอุณหภูมิได้ประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิภายในเตาเผาโดยการใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงจะอยู่ประมาณนี้ ต่อไปนี้เป็นการแสดงรายละเอียดของเครื่องมือวัดและการเก็บข้อมูล

3.2.1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ

เนื่องจากในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิในงานเตาเผาที่มีความร้อนสูงจำเป็นต้องใช้หัววัดที่ทนความร้อนซึ่งอาจทำได้ด้วยเซรามิกหรือสแตนเลสก็ได้ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1,300 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยเลือกใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type K ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สายเทอร์โมคัปเปิล Type K



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 หัววัดเซรามิก SK - JB-35C [1203937351] ชนิดTYPE K (ก) หัววัดเซรามิก,
(ข) กระโหลกของหัววัด [ที่มา: www.sangchaimeter.com]

ขนาดของปลอกป้องกันเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 x 200 มม. (CERAMIC, ALUMINA) อุณหภูมิใช้งานสูงสุด CERAMIC 1,300 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.6 หัววัดเซรามิกนั้นสามารถทนอุณหภูมิได้สูงก็จริง แต่การใช้งานนั้นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าเซรามิกนั้นแข็งแต่เปราะ หากใช้งานในลักษณะที่มีการกระแทกจะทำให้หัววัดเซรามิกนั้นแตกไม่สามารถนำไปใช้งานได้อีก ทั้งราคาของหัววัดชนิดนี้ยังแพงอีกด้วย หากเลือกเป็นหัววัดที่ทำด้วยสแตนเลสจะมีราคาต่ำกว่าเซรา

มิกเกือบเท่าตัวแต่หากใช้ไปนานก็จะเกิดสนิมกัดกร่อนและมีการโค้งงอเสียรูปทรงไปได้หากการงอเกิดขึ้นมากๆ อาจทำให้สายเทอร์โมคัปเปิลภายในเสียหายได้

เดินสายเทอร์โมคัปเปิลไปยังจุดต่างๆ ที่ต้องการวัดภายในเตา โดยในการติดตั้งจุดวัดต่างๆ ทำได้โดยการเจาะรูที่ประตูหรือผนัง เพื่อสอดหัววัดเข้าไปในจุดที่เราต้องการวัดโดยที่ปลายสายอีกข้างของแต่ละเส้นติดไว้ที่เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) รุ่น Fluke Hydra series II

เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) รุ่น Fluke Hydra Series II สามารถต่อบันทึกสัญญาณได้ 20 ช่องสัญญาณด้วยกัน สามารถบันทึกโดยตรงส่งผ่านตัวเครื่องหรือสามารถใช้คอมพิวเตอร์รันเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิในขณะการเก็บข้อมูลได้



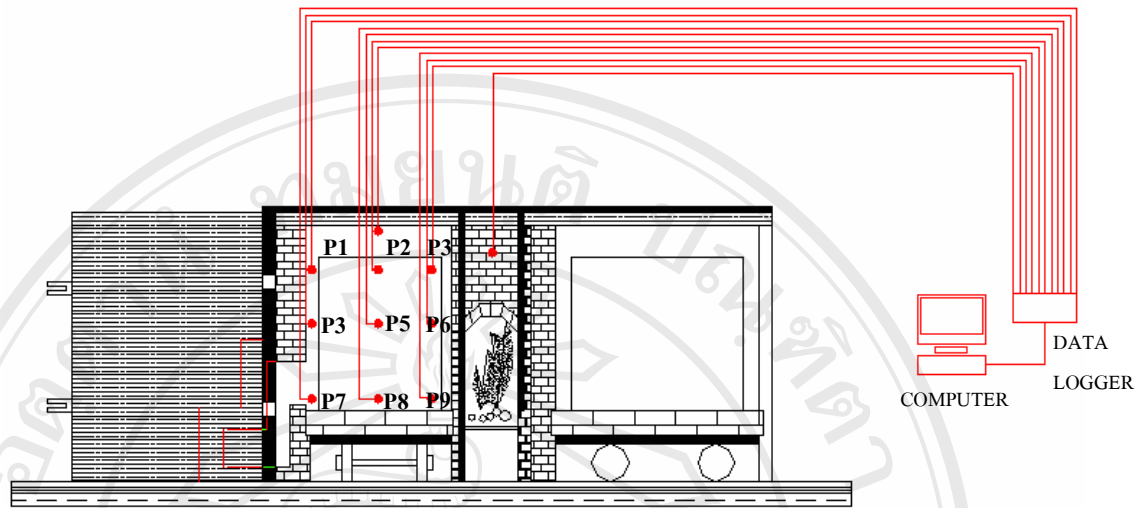
รูปที่ 3.8 เครื่องอ่านอุณหภูมิแบบดิจิทัล Digital thermometer รุ่น KM330 บริษัท Kane-May

เครื่องอ่านอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Digital Thermometer) ใช้วัดอุณหภูมิในช่วง -50 ถึง $+1300$ องศาเซลเซียส (-58 ถึง $+2000$ °F) ดังรูปที่ 3.8 ใช้อ่านอุณหภูมิในเวลาที่ต้องการเมื่อต้องการทราบอุณหภูมิ ณ เวลาที่ต้องการโดยสามารถอ่านอุณหภูมิได้สองหน่วยวัด และสามารถต่อวัดได้ที่ละ 2 ตัว สองจุดวัดโดยใช้ตัวเสียบทางด้านล่างซึ่งมีสองช่อง ช่องการวัดกับความแน่นอนอ่านได้จากตารางที่ 3.2 แสดงผลเป็นจอ LCD (Liquid Crystal Display) โดยที่อุณหภูมิรอบๆ ในการวัด (Ambient Operating Range) 0°C to 50°C (32°F to 122°F)

ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงการวัดที่ให้ค่าความแม่นยำ

Range	Accuracy
-50°C to 0°C	$+2^{\circ}\text{C}$, 1°C
-58°F to $+32^{\circ}\text{F}$	$+3^{\circ}\text{F}$, -2°F
0°C to 1100°C	$\pm (0.2\% \text{rdg} + 1^{\circ}\text{C})$
$+1100^{\circ}\text{C}$ to $+1300^{\circ}\text{C}$	$(+0, -0.7\% \text{rdg} \pm 1^{\circ}\text{C})$

การวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาได้กำหนดจุดที่ต้องการเปรียบเทียบไว้ทั้งหมด 9 จุด ด้วยกัน โดยแบ่งเป็นระยะเท่าๆ กัน กระจายในระนาบเดียวกันแต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านความยาวของหัววัดอุณหภูมิและกองอิฐที่เรียงตัวกันภายในห้องเผา ไม่สามารถสอดหัววัดอุณหภูมิไปได้ลึกมากนัก จึงอาจต้องวัดที่ระนาบด้านใกล้ประตูมากกว่าซึ่งควรจะเป็นการวัดที่ตำแหน่งตรงบริเวณตรงกลางของเตา การเสียบหัววัดอุณหภูมิได้เจาะรูที่ประตูไว้ 9 ตำแหน่ง โดยเจาะทะลุเหล็กและเซรามิกไฟเบอร์ เนื่องจากเป็นบริเวณที่เจาะรูได้ง่ายที่สุด หากเจาะที่ผนังอิฐอาจทำให้ผนังแตกร้าวเกิดความเสียหายให้แก่เตาได้ ตำแหน่งแสดงไว้รูปที่ 3.9 บันทึกข้อมูลโดยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)



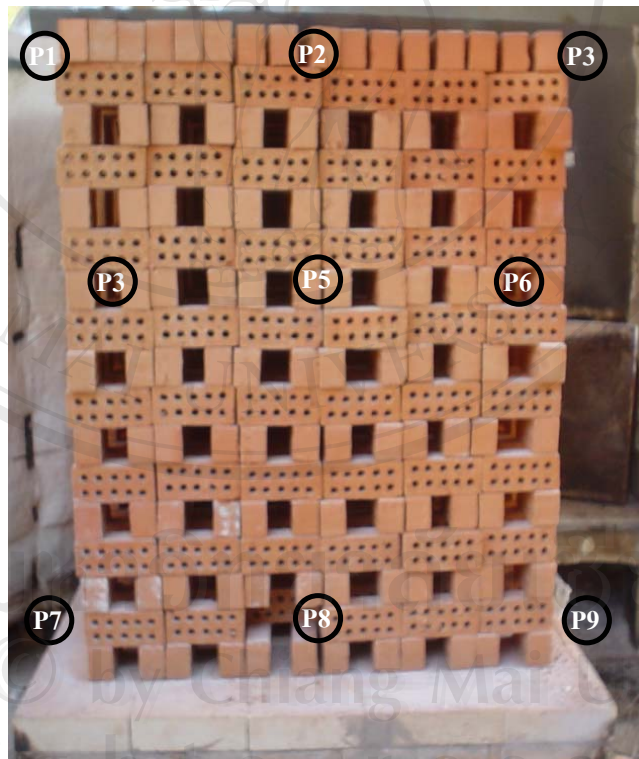
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายในเตา



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งหัววัดที่ตำแหน่งต่างๆ (ก), (ข) ตำแหน่งจากด้านหน้าประตู
(ค) ตำแหน่งการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในกองอิฐ 9 ตำแหน่ง

และอีกจุดที่สำคัญที่ได้ทำการเก็บข้อมูลคือ อุณหภูมิไฟที่ใช้ในการเผาที่ช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเป็นค่าขอบเขตของการคำนวณเชิงตัวเลข โดยได้แสดงตำแหน่งไว้ดังรูปที่ 3.10 แล้ว ใช้วิธีเดียวกับการเก็บที่ประตูโดยเจาะทางด้านบนของเพดานบริเวณเหนือห้องเผาไหม้แทนเนื่องจากจะได้อุณหภูมิที่ไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้อย่างแท้จริงแสดงไว้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งบริเวณเพดานเหนือห้องเผา (ก) บริเวณเหนือห้องเผาไหม้วัดอุณหภูมิไฟที่ใช้ในการเผาไหม้, (ข) บริเวณเหนือห้องเผาไหม้วัดอุณหภูมิใช้ควบคุมการเผาไหม้ด้านบน

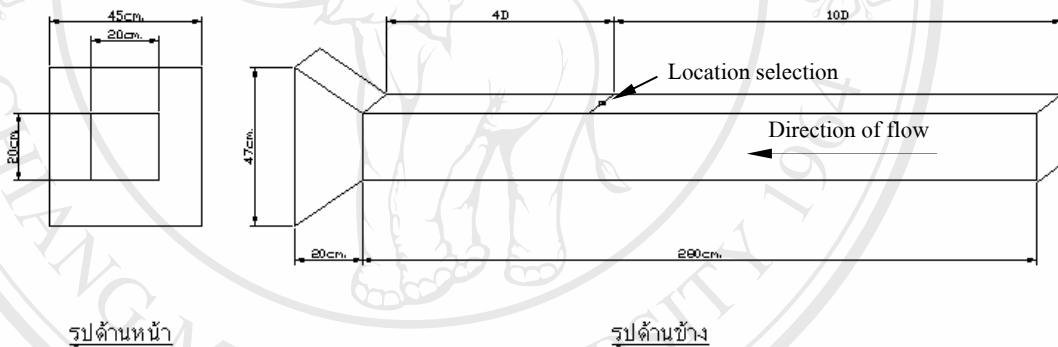
3.2.2 การเก็บข้อมูลความเร็ว (Velocity Fluid Flow Measurements)

ในงานวิจัยได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหล (Flow Rate) มีผลอย่างไรต่อการกระจายอุณหภูมิและความเร็วภายในเตา จึงต้องมีการวัดอัตราการไหลของระบบแล้วปรับอัตราการไหลต่างๆ ที่ต้องการตามแบบจำลองที่ได้คำนวณไว้ตามโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบผลจากการเก็บข้อมูลจริงกับผลจากการคำนวณที่ได้กล่าวไว้แล้วตอนต้น

เนื่องจากอัตราการไหลนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรงต้องวัดเป็นความเร็ว (Velocity) หรือความดัน (Pressure) แทนในงานวิจัยได้เลือกเก็บข้อมูลเป็นความเร็วภายในท่อแล้วคำนวณเป็นอัตราการไหลของระบบแทน โดยที่การวัดความเร็วภายในระบบนั้นจะวัดเมื่อเดินระบบพัฒนาจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ในการทดลองได้ศึกษาถึงอัตราการไหลไว้ 3 ค่า คือ 200, 400 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเลือกใช้วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve) ในการควบคุมอัตราการไหลของระบบ การวัดใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน (Hot-wire Anemometers) เครื่องมือวัดชนิด

นี้ไม่สามารถวัดความเร็วลมได้ที่อุณหภูมิสูงสามารถวัดได้ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส จึงใช้วัดความเร็วอากาศเข้าเตาได้เท่านั้น

การหาอัตราการไหลของระบบทำได้โดยการวัดความเร็วลมทางเข้าของเตาโดยการทำท่อออกมาจากช่องประตูซี่เถ้าซึ่งเป็นทางเข้าของอากาศที่ไหลเข้าเตาเนื่องจากหากทำการวัดโดยตรงจะไม่สามารถทำได้เพราะในการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดตามปกติต้องมีระยะในการวัด โดยตำแหน่งทิศทางการวัดจะแสดงได้ รูปที่ 3.12 การติดตั้งท่อเพื่อใช้วัดความเร็วลมทางเข้าของเตาต้องมีการต่อท่อให้สนิทเพื่อไม่ให้อากาศรั่วเข้าบริเวณรอยต่อทำได้โดยการใช้อีฐรองที่ปลายท่อเพื่อให้ได้ระดับเดียวกันตลอดความยาวแล้วต่อด้วยการใช้สก็อตเทปพลาสติกติดบริเวณรอยต่อแล้วใช้เชรามิกอุดอีกครั้งหนึ่งในการวัดใช้วิธีเจาะรูบริเวณกลางท่อ (Center Line) แล้ววัดที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความลึกเพื่อหาความเร็วที่จุดต่างๆ ซึ่งความเร็วบริเวณกลางท่อจะมีความเร็วสูงที่สุดแล้วค่อยๆ ลดลงที่ตำแหน่งใกล้ผิวท่อทั้งสองด้าน



รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งวัดความเร็วลม



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและท่อวัดความเร็วม (ก) ท่อวัดความเร็วม,
(ข) การต่อท่อวัดความเร็ว, (ค) เครื่องมือวัดความเร็วม

การวัดความเร็วทางเข้าเลือกใช้หัววัดแบบแข็งแรง (Robust Hot Bulb Probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ช่วงอุณหภูมิวัด -20 ถึง $+70$ องศาเซลเซียส ช่วงในการวัดความเร็ว 0 ถึง 10 เมตรต่อวินาที $\pm (0.03m/s \pm 5\% of mv)$ ดังรูปที่ 3.13 (ค)



รูปที่ 3.14 เครื่องมือวัดความเร็วม รุ่น 350/335 M/XL

ใช้วัดความเร็วมเข้าได้เท่านั้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำซึ่งไม่สามารถใช้วัดทางออกได้เนื่องจากอุณหภูมิสูงต้องใช้หัววัดที่ทนความร้อนวัดเป็นความดันแทนแล้วเปลี่ยนเป็นความเร็ว



รูปที่ 3.15 ชุดหัววัดความดัน

ชุดหัววัดความดัน (Pitot Tube) กับตัววัดความดันแตกต่าง (Pressure Sensor) วัดได้สูงสุด 50 hPa (mbar) 20 inch H₂O ซึ่งวัดความดันแตกต่างระหว่าง ความดันสถิต (Stagnation Pressure) กับความดันสถิต (Static Pressure) ดังรูปที่ 3.15

3.2.3 การเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน (Energy Usage Measurement)

ในการวิเคราะห์ระบบการทำงานของเตาต้องมีการคำนวณหาประสิทธิภาพเตา การใช้พลังงานเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการใช้พลังงานของเตาเผาอิฐจะมีสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ส่วนที่สองการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเดินพัดลมในระบบส่วนแรกสามารถเก็บได้โดยการบันทึกการใช้ไม้น้ำซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในระบบทำได้โดยการนำไม้น้ำไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก โดยใช้ตาชั่งทั่วไปในการชั่ง ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ส่วนที่สองเป็นการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนโดยพัดลมในระบบเป็นพัดลมดูด Diameter 80 cm. มอเตอร์ 5 HP 3 phase ทำลมได้ 3,000 CFM., sP 3 inch Water



รูปที่ 3.17 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า Nanovip-Nanovip Plus

โดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า Nanovip-Nanovip Plus ดังรูปที่ 3.17 อุณหภูมิการใช้งาน -10°C to 50°C ความชื้นในการใช้งาน 20% ถึง 80% RH วัดได้ทั้ง 2 และ 3 เฟส ใช้ในการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนในเตาเผาอุณหภูมิความแม่นยำของการวัดโวลต์ (Accuracy of Voltage) Full Scale 750 V 0.3%F.S.+0.3% Rdg.

3.3 ผลลัพธ์และขั้นตอนการทดลอง

อิฐที่ใช้ในการทดสอบเผาเป็นอิฐขนาดเล็กความกว้าง 7.5 เซนติเมตร หนา 5.5 เซนติเมตร ยาว 16.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.18 เป็นอิฐก่อโชว์แนวเพื่อความสวยงาม หรือใช้ก่อผนังไม่รับน้ำหนักใช้อุณหภูมิเผาโดยเฉลี่ยประมาณ 900-1,000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.18 ก้อนอิฐขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง (size $16.5 \times 7.5 \times 5.5 \text{ cm}^3$)

วิธีการเรียงอิฐเพื่อใช้ในการทดลองเผาจะเรียงแบบสมมาตรมีลักษณะการเรียงที่เหมือนกัน โดยเรียงไขว้กัน ดังรูปที่ 3.19

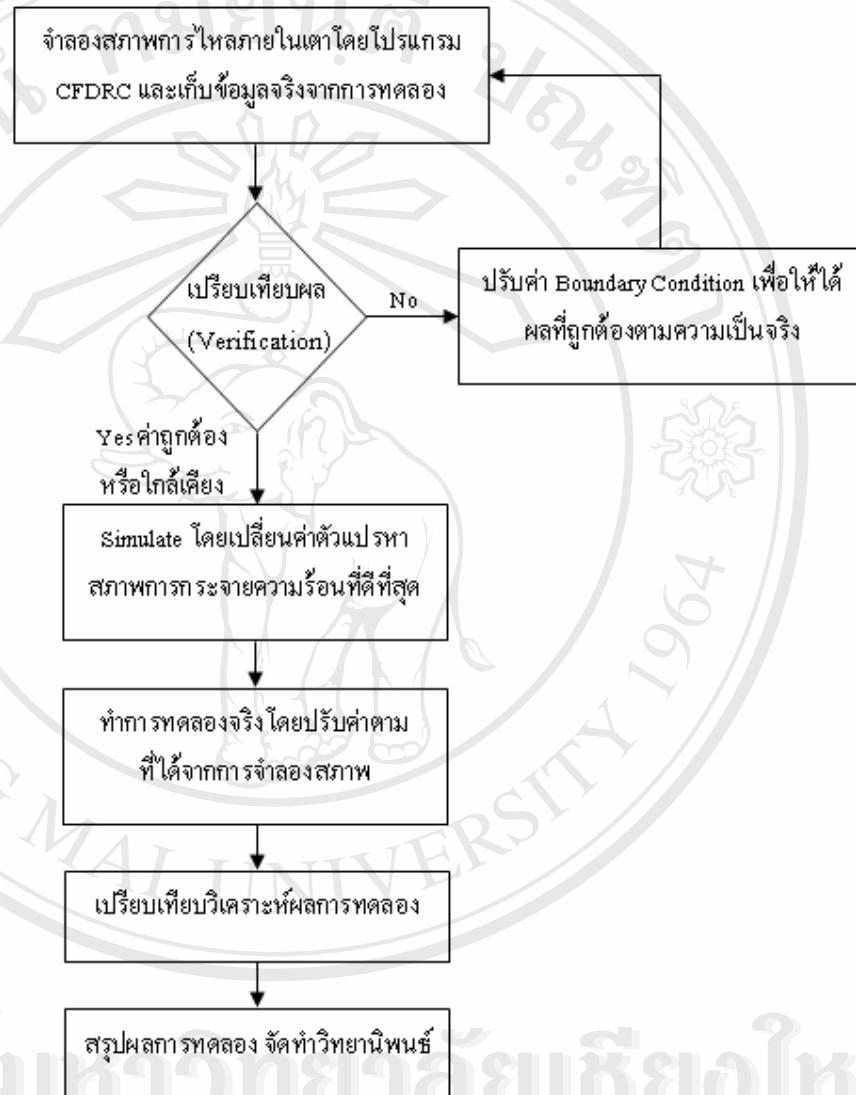


(ก)

รูปที่ 3.19 แสดงการจัดเรียงจริงที่ใช้ในการทดสอบเผาที่ทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบ และทำนายผลของตัวแปรที่สนใจ ในการจัดเรียงจะเรียงไปร้งเหมือนกัน โดยเรียงทั้งหมด 17 ชั้น

ขั้นตอนงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปเป็นขั้นตอนวิธีในการวิจัยได้ดังรูปที่ 3.20

สามารถสรุปขั้นตอนต่างๆ เป็นแผนภาพ (Flow Chart) การทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 3.20 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทดลองในงานวิจัย