บทที่ 4

อุปกรณ์การทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัย

สำหรับอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังจะได้กล่าวต่อไปดังนี้

4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์การทดลอง

ลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเชิงเวลาและวัฏจักรการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมในรีเจเนอเรเตอร์แบบโครงอิฐทนไฟ ประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ .4.ส่วน คือ รีเจเนอเรอเตอร์ ระบบป้อนของไหลร้อน ระบบป้อนของไหลเย็น และระบบวัดอุณหภูมิ โดยแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 รีเจเนอเรเตอร์

รีเจเนอเรเตอร์ที่ทำการทดลองมีลักษณะเป็นรูปปล่องไฟสี่เหลี่ยม หน้าตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โครงอิฐทนไฟทำมาจากอิฐทนไฟแบบ Super – Duty Fireclay Brick ASTM C 27 – 93, Regular Type รุ่น K 43 SP – 38 ขนาด 230 x 115 x 38 มิลลิเมตร เรียงประกอบกันในแนวนอนให้มีช่องว่างขนาด 854 x 854 มิลลิเมตร จำนวน 9 ช่อง มีความยาว 2,390 มิลลิเมตร แต่ละช่องมีขนาด 123.4 x 123.4 มิลลิเมตร (แบ่งตาม Symmetry Line) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 – 4.3

4.1.2 ระบบป้อนของไหลร้อน

การป้อนของไหลร้อนในช่วงสะสมความร้อน (Heating Period) ทำการป้อนโดยการใช้เครื่องเป่าอากาศ (blower) ป้อนอากาศที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมให้ไหลผ่านท่อส่งของไหลมีขนาด 410 x 410 x 900 มิลลิเมตร โดยภายในท่อส่งของไหลจะมีตะแกลงเหล็กเพื่อกระจายให้ของไหลมีการไหลที่เท่ากันตลอดหน้าตัด และมีกลุ่มฮีทเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1,500 วัตต์ จำนวน 10 แท่ง ติดตั้งอยู่ห่างจากเครื่องเป่าอากาศ 400 มิลลิเมตร อากาศที่ไหลผ่านกลุ่มฮีทเตอร์ไฟฟ้าก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะไหลผ่านตัวรีเจเนอเรเตอร์ต่อไป ลักษณะของระบบป้อนของไหลร้อนแสดงในรูปที่ 4.4 – 4.5

4.1.3 ระบบป้อนของไหลเย็น

การป้อนของไหลเย็นในช่วงคายความร้อน (Cooling Period) ทำการป้อนโดยการใช้เครื่องเป่าอากาศ (blower) ป้อนของไหลที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมให้ไหลผ่านท่อส่งของไหลมีขนาด 410 x 410 x 1,000 มิลลิเมตร โดยภายในท่อส่งของไหลจะมีตะแกลงเหล็กเพื่อกระจายให้ของไหลมีการไหลที่เท่ากันตลอดหน้าตัด ของไหลที่ผ่านตะแกลงเหล็กก็จะไหลเข้ารีเจเนอเรเตอร์ต่อไปลักษณะของระบบป้อนของไหลเย็นแสดงไว้ในรูปที่.4.6

4.1.4 ระบบวัดอุณหภูมิ

ในการติดตั้งระบบวัดอุณหภูมิของชุดทดลองมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถทราบอุณหภูมิของของไหลและอิฐทนไฟที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของตัวรีเจเนอเรเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของชุดทดลองแยกเป็นเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้วัดอุณหภูมิของของไหลเป็นเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0 – 600 ^{o}C และเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้วัดอุณหภูมิในเนื้ออิฐทนไฟเป็นเทอร์โมคัปเปิลรุ่น GG – K – 24 – SB ชนิด K วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0 – 800 ^{o}C โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) เพื่อบันทึกอุณหภุมิที่เวลาต่าง ๆ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิมีทั้งหมด 14 จุด โดยวัดอุณหภูมิของของไหล 5 จุด วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟ 9 จุด ซึ่งมีตำแหน่งดังนี้

จุดที่ 1 (T1) วัดอุณหภูมิของของไหลในช่องการไหลที่ระยะ x = 0 มิลลิเมตร

จุดที่ 2 (T2) วัดอุณหภูมิของของไหลในช่องการไหลที่ระยะ x = 597.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 3 (T3) วัดอุณหภูมิของของไหลในช่องการไหลที่ระยะ x = 119.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 4 (T4) วัดอุณหภูมิของของไหลในช่องการไหลที่ระยะ x = 179.25 มิลลิเมตร

จุดที่ 5 (T5) วัดอุณหภูมิของของไหลในช่องการไหลที่ระยะ x = 239.00 มิลลิเมตร

จุดที่ 6 (T6) วัดอุณหภูมิของผิวอิฐทนไฟที่ระยะ x = 597.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 7 (T7) วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟลึกจากผิวอิฐ 9.5 มิลลิเมตร ที่ระยะ x = 597.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 8 (T8) วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟลึกจากผิวอิฐ 19 มิลลิเมตร ที่ระยะ x = 597.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 9 (T9) วัดอุณหภูมิของผิวอิฐทนไฟที่ระยะ x = 119.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 10 (T10) วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟลึกจากผิวอิฐ 9.5 มิลลิเมตร ที่ระยะ x = 119.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 11 (T11) วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟลึกจากผิวอิฐ 19 มิลลิเมตร ที่ระยะ x = 119.50 มิลลิเมตร

จุดที่ 12 (T12) วัดอุณหภูมิของผิวอิฐทนไฟที่ระยะ x = 239.00 มิลลิเมตร

จุดที่ 13 (T13) วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟลึกจากผิวอิฐ 9.5 มิลลิเมตร ที่ระยะ x = 239.00 มิลลิเมตร

จุดที่ 14 (T14) วัดอุณหภูมิของอิฐทนไฟลึกจากผิวอิฐ 19 มิลลิเมตร ที่ระยะ x = 239.00 มิลลิเมตร

4.2 อุปกรณ์การทดลองอื่น ๆ

4.2.1 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์(Inverter) ในการทดลองจะต้องมีการปรับอัตราการไหลของของไหลให้ได้ค่าที่ต้องการ ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลของของไหลได้โดยการปรับความเร็วของมอเตอร์ขับพัดลม โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ยี่ห้อ Toshiba รุ่น VF – A3 รายละเอียดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.10

4.2.2 อุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ในการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ทำการทดลองใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ HIOKI รุ่น 8422 – 51 ขนาด 160 x 230 x 45 มีช่องการวัดจำนวน 32 ช่อง รายละเอียดของอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.11

4.2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วของของไหล (Anemometer) ในการทดลองครั้งนี้ใช้อุปกรณ์วัดค่าความเร็วของของไหลยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA – 44 ขนาด 72 x 180 x 32 มิลลิเมตร โพร็บวัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาวของโพล็บ 245 มิลลิเมตร (ขณะที่ยังไม่ได้ยืดออก) และมีความยาวสูงสุด 940 มิลลิเมตร ย่านการวัดลมอยู่ในช่วง 0.2 – 20.0 เมตรต่อวินาที รายละเอียดของอุปกรณ์วัดความเร็วลมแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.12

4.2.4 ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ในการทดลองจะทดลองที่อุณหภูมิขาเข้าของของไหลร้อนเท่ากับ 400 ^{o}C จึงต้องมีการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังตัวฮีทเตอร์เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังตัวฮีทเตอร์ รายละเอียดของอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ การออกแบบและสร้างชุดทดลองโดยทำการออกแบบให้มีพารามิเตอร์ใกล้เคียงกับรีเจเนอเรเตอร์ที่มีใช้อยู่ในโรงงานถลุงดีบุก ของบริษัท ไทยแลนด์สเมลติ้งแอนด์รีไฟนิ่ง จำกัด และการทดลองเพื่อหาค่าต่าง ๆ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อวัตถุประสงค์

4.3.1 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

สำหรับการออกแบบชุดทดลองนี้เป็นการออกแบบโดยทำการย่อส่วนมาจากรีเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้งานจริงในโรงงานถลุงดีบุก ของบริษัท ไทยแลนด์สเมลติ้งแอนด์รีไฟนิ่ง จำกัด โดยรายละเอียดในการออกแบบมีดังต่อไปนี้

ข้อมูลเบื้องต้น

ชนิดของอิฐทนไฟ	Super – Duty Fireclay Brick ASTM C 27 – 93 Regular type รุ่น K43 ขนาด 230x115x76 mm	
ขนาดของช่องการไหล	0.18 x 0.18	m
ความกว้างของ element	0.26	m
จำนวนช่องการไหล	120	ช่อง
ความยาว	5.04	m
อัตราการไหลของอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้	4,951	m^3/hr
อัตราการใช้เชื้อเพลง	270	kg/hr
ปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสีย	4.61	%
อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วง Cooling period	496	^oC
อุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซเสียในช่วง Heating period	743	^oC
ความหนาแน่นของอากาศในช่วง Cooling period	0.4589	kg/m^3
ความหนาแน่นของก๊าซเสียในช่วง Heating period	0.3473	kg/m^3
ความหนืดของอากาศในช่วง Cooling period	3.552×10^{-5}	kg/m-s
ความหนืดของก๊าซเสียในช่วง Heating period	4.221×10^{-5}	kg/m-s

1. การออกแบบทางเรขาคณิต (Geometric similarity)

ต้นแบบ (Prototype)

อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้าง element $(\Pi_1)_{pro}$ = L_1 / b_1

= 5.04 / 0.26

= 19.38

อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของช่อง $(\Pi_2)_{pro}$ = L_1 / a_1

= 5.04 / 0.18

= 28

Hydraulic Diameter $(D_{h1})_{pro}$ = $4A_c / P$

= (4 x 0.18 x 0.18) / (4 x 0.18)

= 0.18 เมตร

อัตราส่วนของความยาวต่อ Hydraulic Diameter $(\Pi_3)_{pro}$ = L_1 / D_{h1}

= 5.04 / 0.18

= 28

ชุดทดลอง (Model)

จากการตรวจสอบขนาดความหนาของอิฐทนไฟที่มีขายพบว่ามีขนาดเท่ากับ 0.038 เมตร จึงทำการออกแบบโดยเลือกใช้ความหนาของอิฐทนไฟเท่ากับ 0.038 เมตร

$(\Pi_1)_{pro} = (\Pi_1)_{model}$

$19.38 = L_2 / b_2$

$19.38 = L_2 / (0.038 + a_2)$

$L_2 = (0.038 + a_2) \times 19.38$ (1)

$(\Pi_2)_{pro} = (\Pi_2)_{model}$

$28 = L_2 / a_2$

$L_2 = 28 \times a_2$ (2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการ (1) เท่ากับ (2) จะได้

$$(0.038 + a_2) \times 19.38 = 28 \times a_2$$

$$a_2 = 0.0854 \text{ เมตร}$$

$$L_2 = 28 \times 0.0854$$

$$= 2.39 \text{ เมตร}$$

$$(D_{h2}) = (4 \times 0.0854 \times 0.0854) / (4 \times 0.0854)$$

$$= 0.0854 \text{ เมตร}$$

2. การออกแบบทางพลศาสตร์ (Dynamic similarity)

เนื่องจากคุณสมบัติของของไหลจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของของไหลจึงเป็นการยากที่จะทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในชุดทดลองเพื่อใช้เป็นค่าในการออกแบบทางพลศาสตร์ ผู้วิจัยจึงกำหนดอุณหภูมิของของไหลร้อนที่จะทำการทดลองเท่ากับ 400 ^{o}C และอัตราการไหลโดยมวลในช่องการไหลเท่ากับ 4.069 x 10^{-3} kg/s เป็นค่าที่ใช้ในการทดลอง

3. การสร้างชุดทดลอง

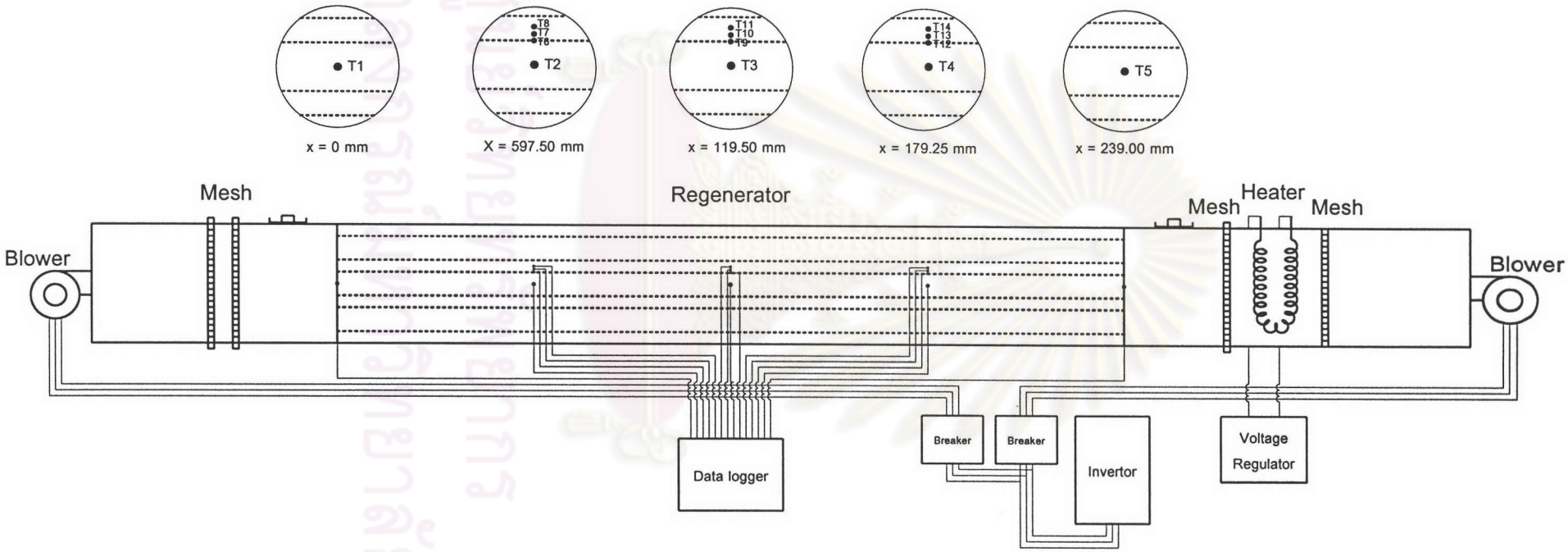
ส่วนแรกของชุดทดลองที่ทำการสร้างคือตัวรีเจเนอเรเตอร์ในการสร้างจะใช้อิฐทนไฟแบบเดียวกับรีเจเนอเรเตอร์ที่ใช้จริง คือ อิฐทนไฟแบบ Super – Duty Fireclay Brick ASTM C 27 – 93 Regular type รุ่น K43 แต่มีขนาดเท่ากับ 230 x 115 x 38 มิลลิเมตร จำนวน 300 ก้อน ซึ่งจะต้องมีการนำมาปรับแต่งขนาดของความกว้างและความยาวใหม่บางส่วนโดยที่ความหนาของอิฐยังคงเดิมอยู่ที่ 38 มิลลิเมตร เพื่อที่จะนำมาจัดเรียงเป็นตัวรีเจเนอเรเตอร์ให้ได้ตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ หลังจากทำการสร้างตัวรีเจเนอเรเตอร์เสร็จแล้วก็ทำการสร้างชุดส่งของไหลร้อน และของไหลเย็น ในส่วนของชุดส่งของไหลร้อนจะใช้เหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร มาทำการขึ้นรูปให้เป็นท่อสี่เหลี่ยมขนาด 410 x 410 มิลลิเมตร โดยภายในท่อจะติดตั้งชุดฮีทเตอร์ไฟฟ้าไว้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของของไหลจากอุณหภูมิบรรยากาศให้ได้เท่ากับ 400 ^{o}C จากนั้นนำมาต่อเข้ากับตัวรีเจเนอเรเตอร์โดยปลายท่ออีกด้านจะติดตั้งเครื่องเป่าอากาศ (blower) เพื่อใช้ในการป้อนของไหลในช่วง Heating period ส่วนชุดป้อนของไหลเย็นก็จะเป็นแบบเดียวกันกับชุดป้อนของไหลร้อนแต่จะแตกต่างกันตรงที่ชุดป้อนของไหลเย็นจะไม่มีชุดฮีทเตอร์ติดตั้งไว้ ส่วนที่เหลือจะเป็นชุดควบคุมการ เปิด – ปิด เครื่องเป่าอากาศ ชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ฮีทเตอร์โดยชุดควบคุมการ เปิด – ปิด เครื่องเป่าอากาศนั้นจะใช้สะพานไฟ 2 ตัว ซึ่งต่อกระแสไฟฟ้ามาจาก

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์(Inverter) ต่อกระแสไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ขับเครื่องเป่าอากาศแต่ละตัวแยกกัน โดยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์นี้จะเป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเครื่องเป่าอากาศเพื่อให้ได้อัตราการไหลของของไหลตามที่ต้องการ ในส่วนของชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีทเตอร์จะใช้ Voltage regulator เป็นตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีทเตอร์จำนวน 2 ตัว ซึ่งอยู่ทางด้านหน้าสุดของกลุ่มฮีทเตอร์ ส่วนฮีทเตอร์อีก 8 ตัวจะไม่มีการควบคุมพลังงานไฟฟ้าโดยจะต่อกระแสไฟฟ้าโดยตรงมาจากสะพานไฟควบคุมการ ปิด - เปิด ตัวฮีทเตอร์เอง

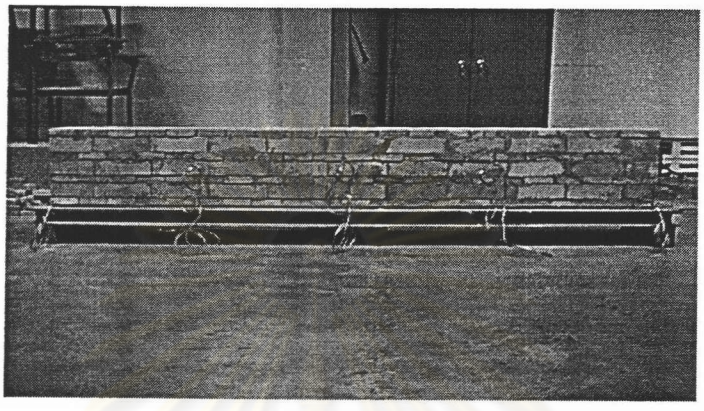
4.3.2 การทดลอง

ในการทดลองจะทำการทดลองที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10, 20 และ 30 นาที และในทุก ๆ เวลาที่ใช้ในวัฏจักรจะทำการทดลองเป็นเวลา 15 ชั่วโมง ตัวอย่างเช่นหากทำการทดลองที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักรเท่ากับ 10 นาที เริ่มแรกจะทำการอุ่นตัวรีเจเนอเรเตอร์ไว้ก่อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยการเปิดให้เครื่องเป่าอากาศทางด้านชุดป้อนของไหลร้อนเป่าอากาศที่อุณหภูมิบรรยากาศผ่านชุดฮีทเตอร์อากาศเมื่อผ่านชุดฮีทเตอร์ก็จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับ 400 ^{o}C จากนั้นก็จะไหลผ่านไปยังตัวรีเจเนอเรเตอร์และจะระบายออกที่ฝาระบายทางด้านชุดป้อนของไหลเย็นเมื่ออุ่นจนครบ 2 ชั่วโมงแล้วจึงทำการสลับให้เป็นช่วง Cooling period โดยทำการปิดฮีทเตอร์ ปิดเครื่องเป่าอากาศทางด้านชุดป้อนของไหลร้อน ปิดฝาระบายทางด้านชุดป้อนของไหลเย็น เปิดฝาระบายทางด้านชุดป้อนของไหลร้อน แล้วจึงเปิดเครื่องเป่าอากาศทางด้านชุดป้อนของไหลเย็นให้ทำงานให้เครื่องเป่าอากาศที่อุณหภูมิบรรยากาศเป่าผ่านตัวรีเจเนอเรเตอร์แล้วไประบายออกยังช่องระบายทางด้านชุดป้อนของไหลร้อน เมื่อครบ 10 นาที ก็จะทำการสลับให้อุปกรณ์ทางด้านชุดป้อนของไหลร้อนทำงานอีกที ทำการสลับแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 15 ชั่วโมง จากนั้นจึงหยุดการทดลองและปล่อยให้อิฐทนไฟระบายความร้อนออกจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศแล้วจึงเริ่มทำการทดลองที่เวลาที่ใช้ในวัฏจักร 20 และ 30 นาที ตามลำดับ

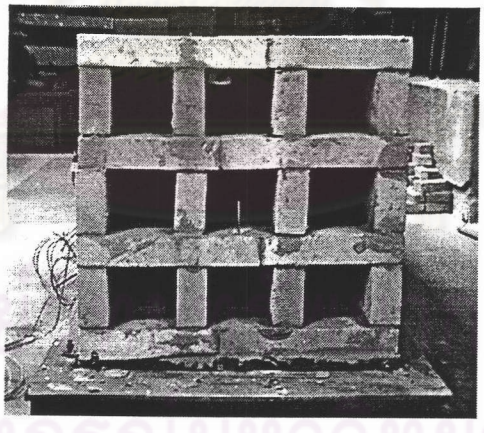
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 4.1</u> แสดงชุดทดลองและตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

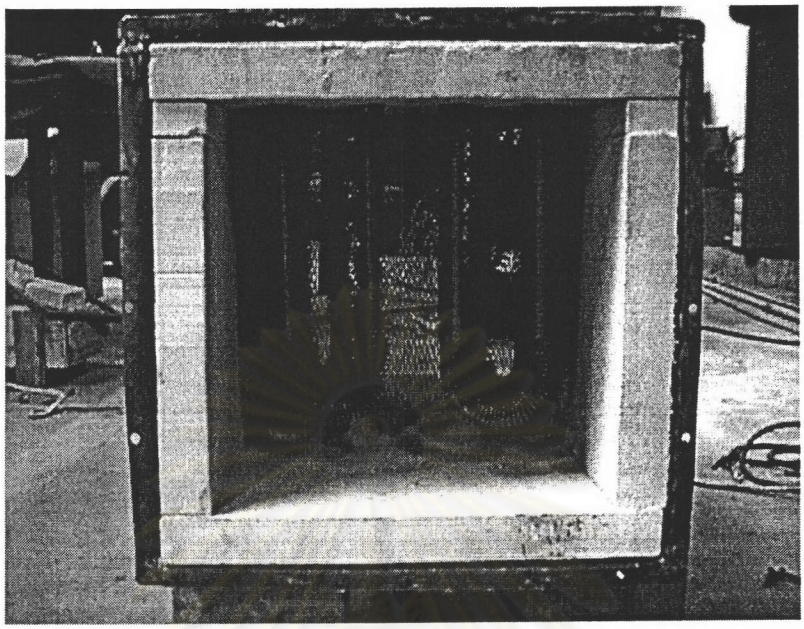


รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะทางด้านข้างของรีเจเนอเรเตอร์

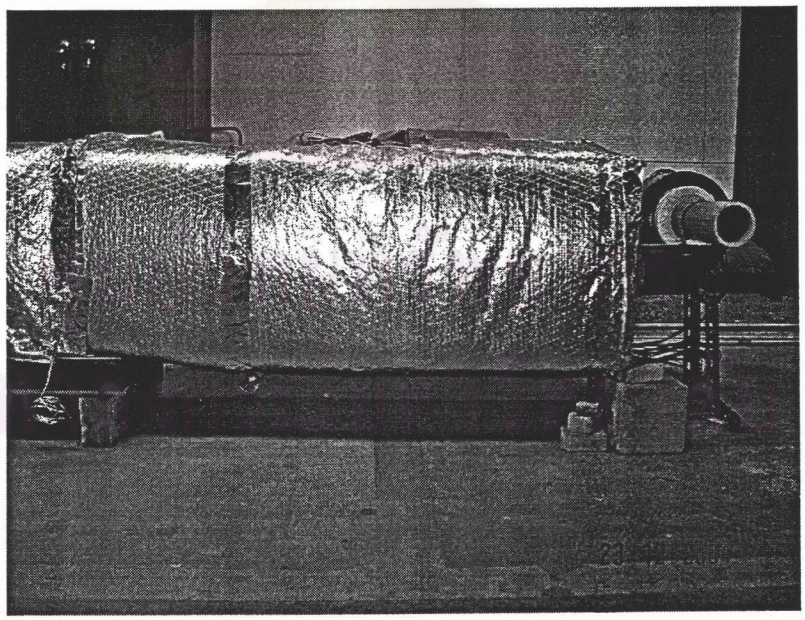


รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะทางด้านหน้าของรีเจเนอเรเตอร์

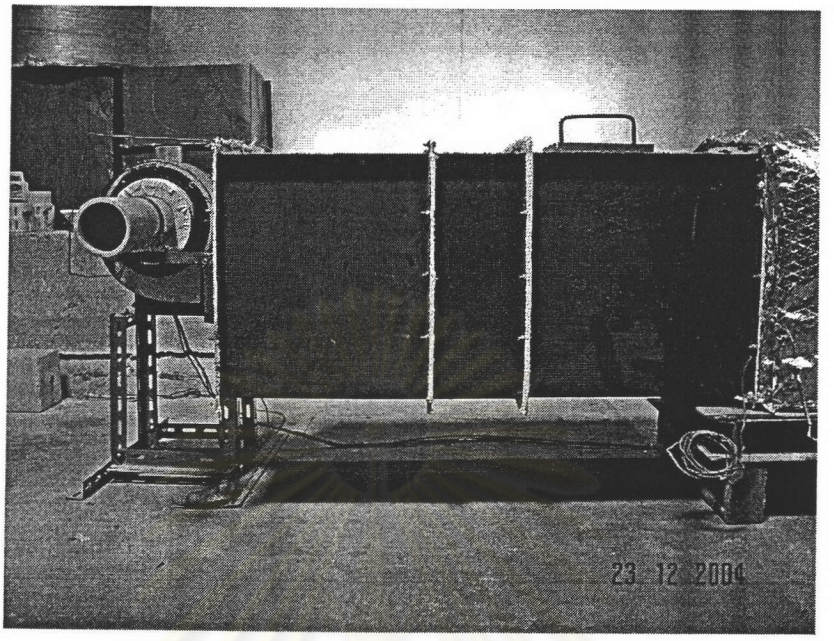
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



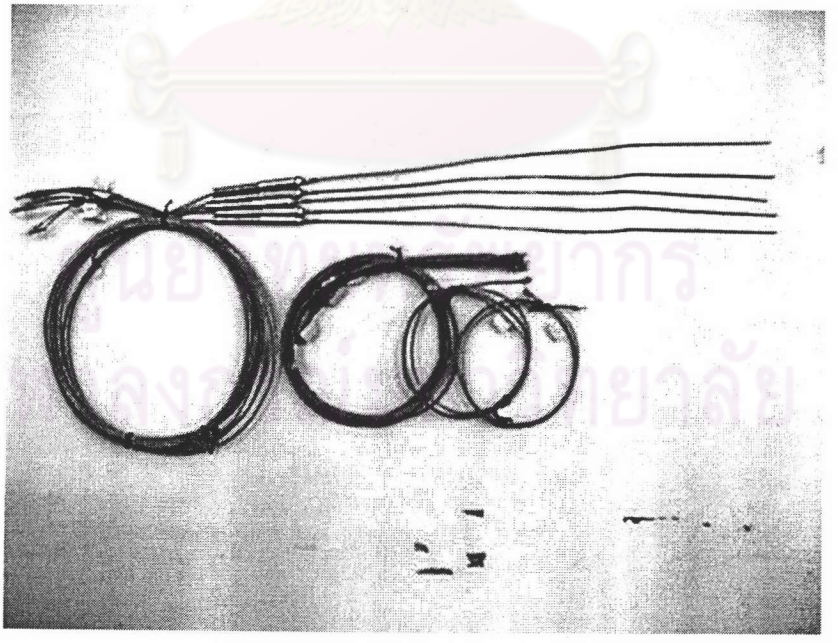
รูปที่ 4.4 แสดงฮีทเตอร์ที่ใช้ในการทำของไหลร้อน



รูปที่ 4.5 ระบบป้อนของไหลร้อน

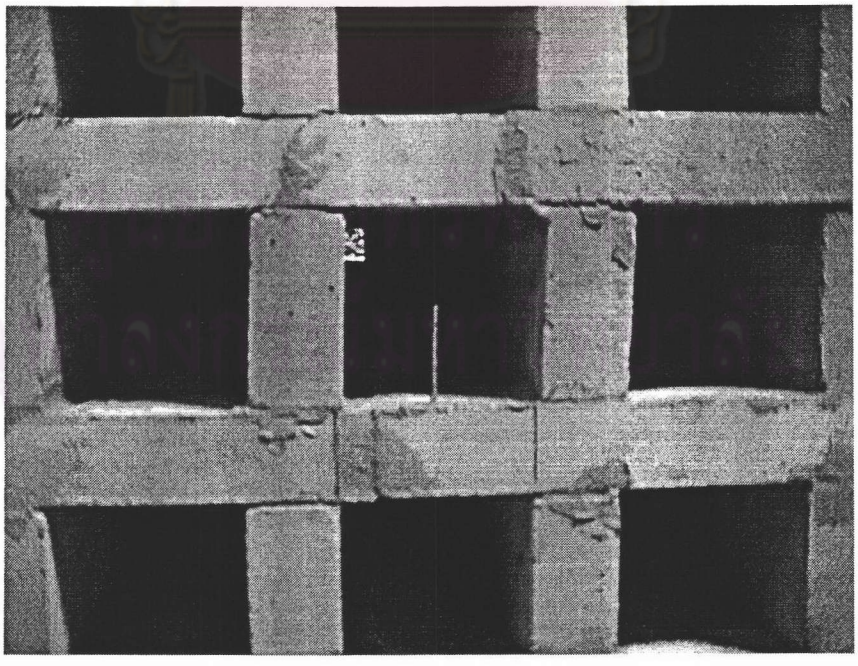


รูปที่ 4.6 แสดงระบบป้อนของไหลเย็น

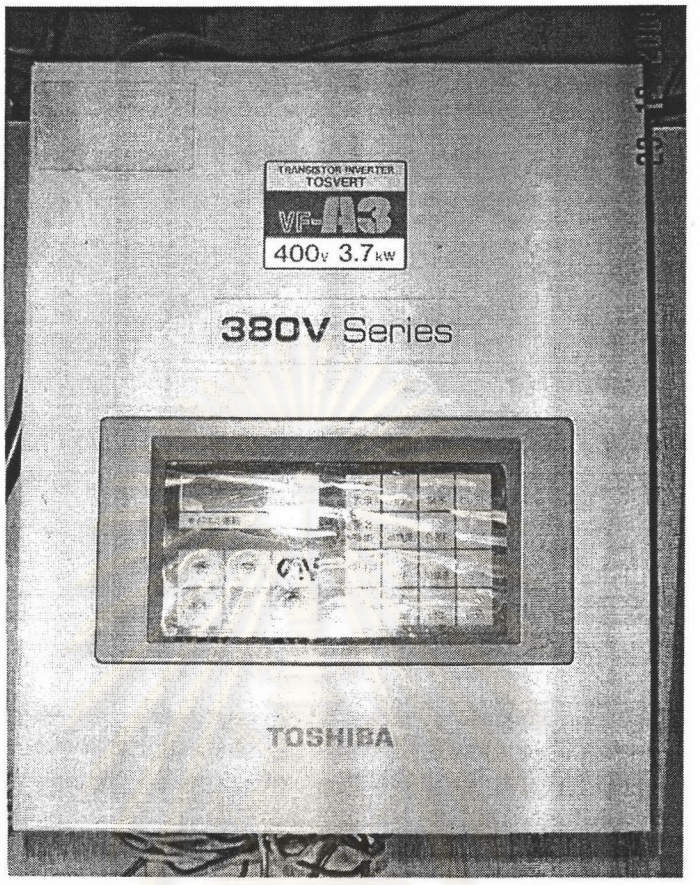


รูปที่ 4.7 แสดงเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิของเนื้ออิฐทนไฟ

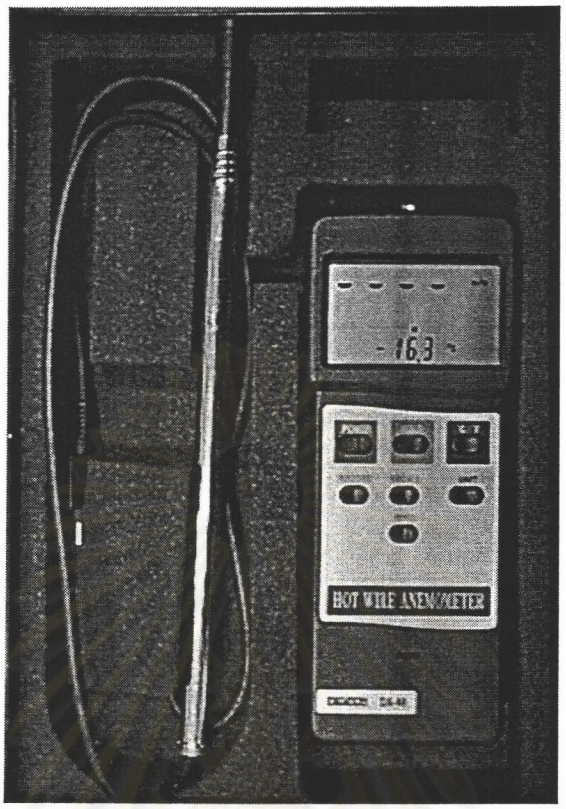


รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิของของไหลในช่องการไหล

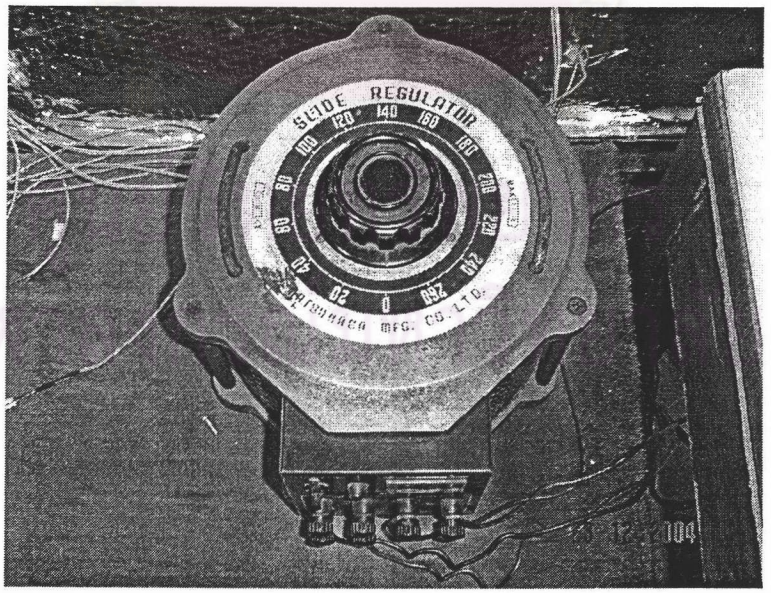


รูปที่ 4.10 แสดงอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์

รูปที่ 4.11 แสดงอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ



รูปที่ 4.12 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ



รูปที่ 4.13 แสดงอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของฮีทเตอร์