

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาผลของ ระยะห่างระหว่างครีบบ ระยะห่างระหว่างเกล็ด และมุมเอียงเกล็ด ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของครีบบแบบเกล็ดกับอากาศร้อนที่ลอยตัวแบบธรรมชาติ ณ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำ ๆ เพื่อนำค่าที่ได้ไปออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมกับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในลำดับต่อไป ในงานวิจัยนี้จะได้ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบกับระยะห่างระหว่างเกล็ด และมุมเอียงเกล็ดโดยมีความคาดหวังว่าการปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของครีบบแบบเกล็ดดังที่กล่าวข้างต้นนั้นจะช่วยเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากแนวท่อเป็นแนวเกล็ดมากขึ้น และได้ทดสอบการถ่ายเทความร้อนครีบบแบบเกล็ดเพื่อวิเคราะห์ว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนอย่างไร โดยวิธีดำเนินงานวิจัย คือ การสร้างชุดทดสอบถ่ายเทความร้อนของครีบบแบบเกล็ดเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของ  $j$  โคนเบิร์ก แฟกเตอร์ ซึ่งการออกแบบครีบบเกล็ด วิธีการทดลองและอุปกรณ์การทดสอบจะได้กล่าวถึงรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 การออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบชุดทดสอบให้ชุดทดลองมีความคล้ายคลึงกันกับงานวิจัยของ ปฏิภาณ (2547) และ เจนจิรา (2545) เนื่องจากทั้งสองงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการใช้คอนเดนเซอร์ปรับอากาศรถยนต์เพื่อเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการพาความร้อนโดยผลต่างอุณหภูมิอากาศหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ดังจะกล่าวรายละเอียดของการทดลองทั้งสองในบทต่อไป โดยคอนเดนเซอร์รถยนต์ที่ใช้มีครีบบแบบเกล็ด ดังนั้นเพื่อออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบใหม่ที่มีสมรรถนะดีกว่า ผู้วิจัยจึงได้ขยายขนาดของครีบบเกล็ดในคอนเดนเซอร์รถยนต์โดยมีขนาด 15 : 1 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก) เพื่อให้สะดวกต่อการสร้างครีบบเกล็ดและการขยายขนาดไม่ได้มีผลต่อชั้นขอบเขตการไหล (Lyman และ คณะ, 2002) ครีบบเกล็ดที่ใช้ออกแบบให้ใช้เหล็กเป็นวัสดุ เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและราคาที่ถูก ขนาดของฮีตเตอร์ที่ใช้เป็น 1250 วัตต์/ตารางเมตร 5 ตัว เพื่อให้เพียงพอต่อการก่อให้เกิดผลต่างอุณหภูมิที่ให้ค่าความเร็วของอากาศร้อนขาเข้าได้เท่าที่ต้องการคือที่ 0.1-1.2 เมตร/วินาที (อุณหภูมิ 40-110 °C) หรือให้ได้ตัวเลขเรย์

โนลด์ส์ตามที่ต้องการคือตั้งแต่ 232.59-1023.67 โดยได้มีเครื่องหรีไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดปริมาณไฟฟ้าเข้าเพื่อที่จะได้ปริมาณไฟฟ้าตามที่ต้องการ รายละเอียดของชุดทดลองและครีบกี้ดที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนในการทดสอบ

ตัวแปร	โมเดล (15:1)
ระยะห่างระหว่างครีบกี้ด ( $F_p$ )	3 cm
ระยะห่างระหว่างเกิ้ล็ด ( $L_p$ )	2-4 cm
อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบกี้ดต่อระยะห่างระหว่างเกิ้ล็ด ( $F_p/L_p$ )	0.75-1.5
มุมเอียงเกิ้ล็ด ( $\theta$ )	18-40 $^{\circ}$
ความยาวเกิ้ล็ด ( $L_l$ )	4.5 cm
อุณหภูมิอากาศเข้า ( $T_{ai}$ )	40-110 $^{\circ}$ C
ความเร็วอากาศเข้า ( $v_{ai}$ )	0.1-1.2 m/s
ตัวเลขเรย์โนลด์ส์ดอากาศ ( $Re_{L_p}$ )	(ขาเข้า) 232.59-1023.67
ระยะห่างระหว่างพื้นที่เรียบกับครีบกี้ด ( $S_2$ )	37.5 mm
ระยะห่างของพื้นที่เรียบบริเวณด้านข้างครีบกี้ด ( $S_1$ )	39.75 mm

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองทั้งการพาความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับเพื่อที่จะได้นำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นได้ โดยในการพาความร้อนแบบธรรมชาติจะทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าชุดทดสอบกับอุณหภูมิอากาศปกติโดยใช้ฮีตเตอร์ และหลังจากทดสอบการพาความร้อนที่ตัวแปรทางกายภาพต่าง ๆ แล้ว ผู้วิจัยได้จัดชุดทดลองเพื่อให้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับโดยได้ติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ปล่องทางเข้าของชุดทดลอง โดยกลับขั้วพัดลมดูดอากาศให้เป็นเป่า พัดลมที่ใช้มีขนาด 18 ลูกบาศก์เมตร/นาทึ จากการคำนวณซึ่งแสดงในภาคผนวกพบว่าเพียงพอต่อการทำให้เกิดความเร็วลมเท่าที่ต้องการ โดยมีเครื่องหรีไฟในการปรับปริมาณไฟฟ้าเข้าพัดลมเพื่อปรับความเร็วลมให้ได้ตามที่ต้องการ

### 3.2 หลักการทำงานและการออกแบบชุดทดสอบการหาค่าการถ่ายเทความร้อนของครีบบแบบเกล็ด

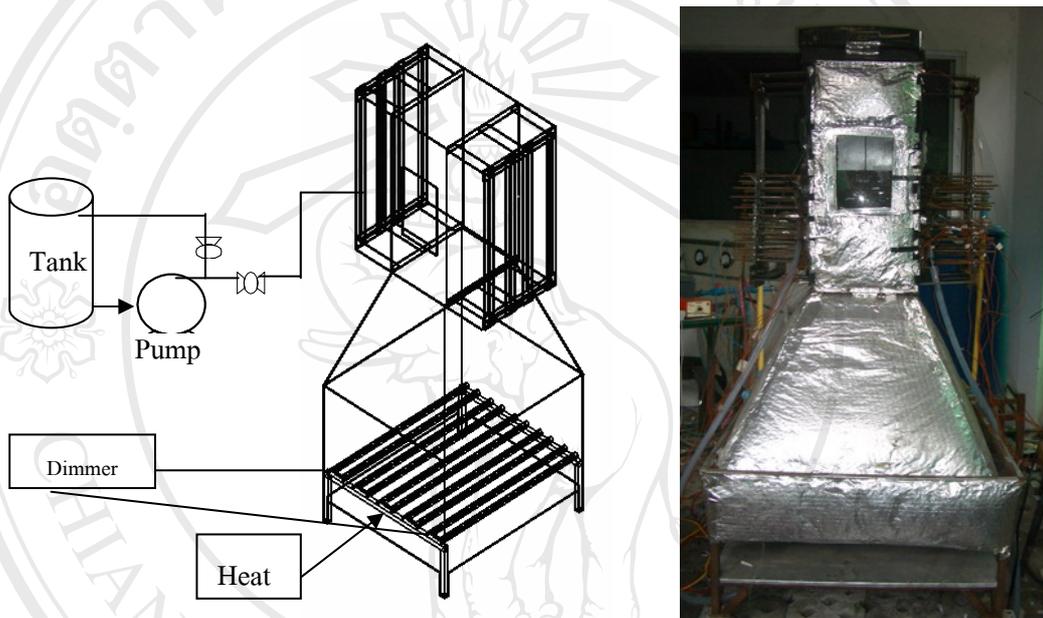
ในหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบและทดสอบครีบบแบบเกล็ดโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่า  $j$  โคบีร์น แฟกเตอร์ ของครีบบแบบเกล็ดในการรับความร้อนจากอากาศร้อนที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบกับระยะห่างระหว่างเกล็ด และมุมเอียงเกล็ดต่างๆ โดยการนำเสนอในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการนำเสนอหลักการทำงานของชุดทดสอบและวิธีการทดสอบ ส่วนที่สองจะเป็นการนำเสนอข้อมูลการออกแบบครีบบเกล็ดที่ใช้ในการทดสอบ และส่วนสุดท้ายจะนำเสนอข้อมูลของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

#### 3.2.1 หลักการทำงานของชุดทดสอบและวิธีการทดสอบ

การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนของครีบบแบบเกล็ดในการรับความร้อนจากอากาศร้อนที่ตัวแปรทางกายภาพต่างๆ โดยชุดทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ชุดทดสอบประกอบไปด้วยปล่อง ภายในบรรจุด้วยแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1250 วัตต์จำนวน 5 แท่งดังแสดงในรูปที่ 3.2 ทำหน้าที่อุ่นอากาศให้ร้อนเพื่อให้อากาศลอยตัวขึ้น ผ่านครีบบแบบเกล็ดซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ โดยแท่งฮีตเตอร์สามารถปรับปริมาณไฟฟ้าได้โดยใช้ชุดหรีไฟดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นจากฮีตเตอร์ได้ โดยความเร็วอากาศร้อนในการทดสอบจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-1.2 เมตรต่อวินาที ส่วนภายนอกจะมีปั้มน้ำหอยโข่ง (Centrifugal pump) ขนาด 1.5 แรงม้าทำหน้าที่บังคับให้น้ำป้อนไหลผ่านครีบบเกล็ด ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าระบบโดยการ bypass และใช้โรตารีมิเตอร์ในการวัดปริมาณการไหล อัตราการไหลของน้ำในการทดสอบจะอยู่ในช่วง 3 ลิตรต่อวินาที ชุดทดลองซึ่งครีบบสามารถปรับระยะห่างระหว่างครีบบ ระยะห่างระหว่างเกล็ด และ มุมเอียงเกล็ดได้ เพื่อศึกษาผลกระทบจากอัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบกับระยะห่างระหว่างเกล็ด และมุมเอียงเกล็ด ที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อน ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบต่อระยะห่างระหว่างเกล็ด 0.75 1 และ 1.5 โดยมีมุมเอียงเกล็ด 18, 23, 30, 35 และ 40 องศา โดยขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

1. เริ่มจากปรับอัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบต่อระยะห่างระหว่างเกล็ด และมุมเอียงเกล็ด
2. เปิดไฟเข้าระบบแล้วปรับไฟให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการศึกษา จากนั้นเปิดปั้มน้ำแล้วปรับให้ได้อัตราการไหลที่ต้องการ
3. รอจนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศร้อนและน้ำที่เข้าและออกชุดทดสอบ อยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) ซึ่งจะใช้เวลาเดินเครื่องประมาณ 1 ชั่วโมง

4. เริ่มเก็บข้อมูลความเร็วลมของอากาศร้อนที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม ส่วนอุณหภูมิเข้า-ออกของก๊าซร้อน และน้ำป้อนจะบันทึกโดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ที่ใช้สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K โดยจะเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 5 นาที เป็นเวลาติดต่อกัน 120 นาที



รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบหาค่าการถ่ายเทความร้อน

ซึ่งหลังจากได้ข้อมูลจากการทดสอบแล้ว จะนำมาคำนวณหาค่า  $j$  โคนเบิร์ก แฟกเตอร์ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ส์ต่างๆตามลำดับ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบดังจะได้กล่าวในบทต่อไป



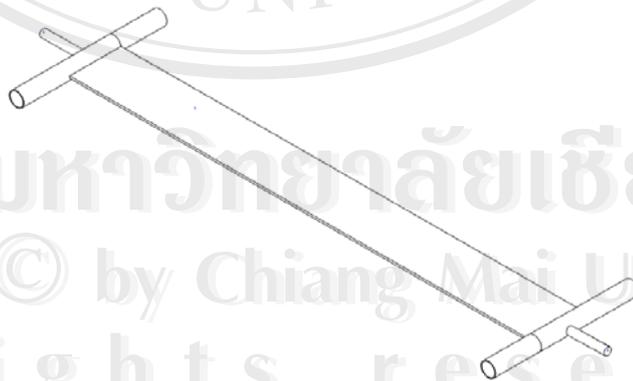
รูปที่ 3.2 แท่งฮีตเตอร์ที่ทำหน้าที่อุ่นอากาศให้ร้อนเพื่อให้ลอยตัวขึ้น



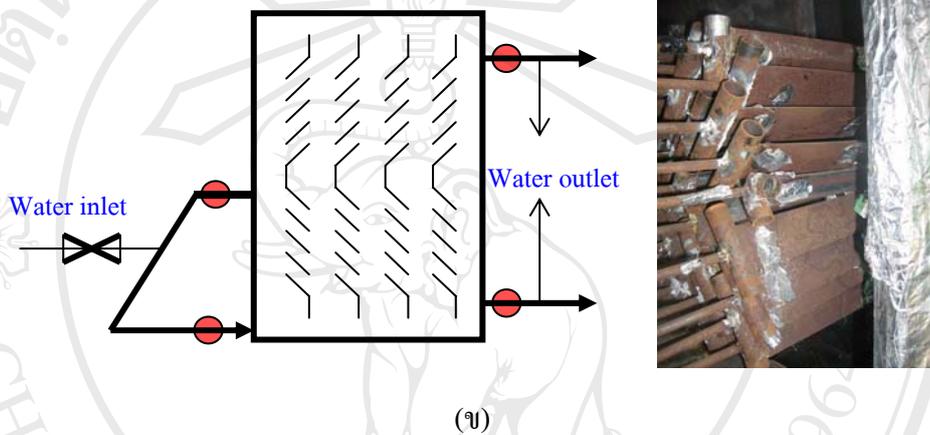
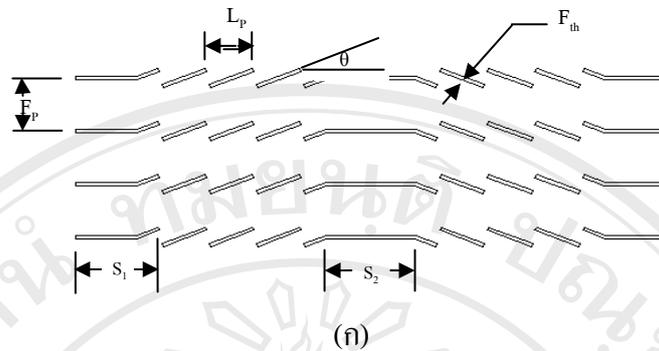
รูปที่ 3.3 แสดงชุดหรีไฟฟ้าที่ทำปรับปริมาณไฟฟ้าที่เข้าสู่เตา

### 3.2.2 ชุดคริบเกล็ดที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ได้ออกแบบคริบเกล็ดให้มีความคล้ายคลึงกันทางด้านพลศาสตร์กับคริบเกล็ดที่ใช้ในคอนเดนเซอร์รถยนต์ยี่ห้อ Formula ซึ่งใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในงานวิจัยของเจนจิรา (2546) โดยออกแบบให้ใช้เหล็กในการทำคริบเกล็ดเนื่องจากค่าการนำความร้อน ( $k$ ) สูงกว่าอลูมิเนียมและราคาถูกกว่าทองแดง ซึ่งได้ขยายขนาดของคริบดังกล่าวเพื่อสะดวกต่อการสร้างและการทดลอง โดยขนาดของตัวต้นแบบต่อชุดทดลองเป็น 15: 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และการนำไปประกอบเข้ากับชุดทดลองแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 คริบแบบเกล็ดที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการถ่ายเทความร้อน



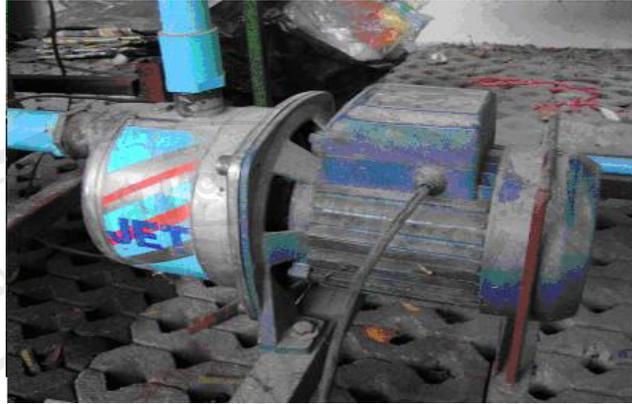
รูปที่ 3.5 (ก) ชุดทดลองและตัวแปรต่างๆ ของครีบบเกล็ด (ข) ลักษณะชุดการทดลอง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพดังกล่าวเพื่อที่จะได้เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งลักษณะทางกายภาพที่ได้ปรับเปลี่ยนแสดงในตารางที่ 3.1

### 3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

ก. ปั๊มน้ำ (Pump) ทำหน้าที่บังคับให้น้ำป้อนไหลผ่านครีบบเกล็ด โดยในการทดสอบได้ใช้ปั๊มน้ำหอยโข่ง ยี่ห้อ Pedrollo รุ่น JCRM/15H ขนาด 1.5 แรงม้า มีเฮดสูงสุด 72 เมตร อัตราการไหลของน้ำอยู่ระหว่าง 5-50 ลิตรต่อนาที ใช้ไฟ 6.7 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

ข. โรตานิเตอร์ (Rota meter) เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำป้อนที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์ โดยมีช่วงระดับการวัดตั้งแต่ 0 – 7 lit/min อ่านค่า ณ ขอบที่กว้างที่สุดของลูกกลอย ลักษณะเครื่องดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.6 ปั้มน้ำที่ใช้ในการทดสอบ



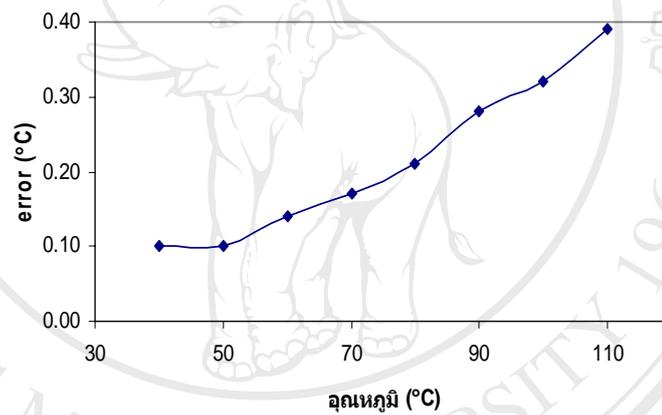
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของโรตารีเตอร์

ค. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) เป็นเครื่องบันทึกข้อมูล 12 ช่องสัญญาณ ยี่ห้อ Supcon รุ่น R3000/R4000 มีช่วงการวัดอุณหภูมิระหว่าง  $-200$  ถึง  $1300$  °C ค่าความถูกต้อง  $\pm 2.0$  °C ลักษณะเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Supcon รุ่น R3000/R4000)

จะเห็นได้ว่าเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Supcon รุ่น R3000/R4000 จะมีความคลาดเคลื่อนที่  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมากเกินไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเทียบวัดเครื่องบันทึกอุณหภูมิดังกล่าวนี้ กับเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ DagPRO รุ่น 5300 ขนาด 8 ช่องสัญญาณ มีช่วงอุณหภูมิการวัด  $-250$  ถึง  $1200^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูป 3.9 ซึ่งผ่านมาตรฐานการเทียบวัดแล้วว่ามีค่าความผิดพลาดที่  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ในช่วงการวัด  $0 - 200^{\circ}\text{C}$  โดยนำมาเทียบวัดในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ  $40-110^{\circ}\text{C}$  พบว่า เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Supcon รุ่น R3000/R4000 มีค่าความผิดพลาดในช่วงการวัดที่  $40-80^{\circ}\text{C}$  เป็น  $\pm 0.1-0.2^{\circ}\text{C}$  และ  $\pm 0.2-0.4^{\circ}\text{C}$  ที่ช่วงการวัด  $80-110^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดที่แสดงในคู่มือการใช้งานของเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Supcon รุ่น R3000/R4000 นั้น น่าจะเป็นค่าความผิดพลาดที่ปลายของช่วงการวัด เช่น  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  อาจจะเป็นค่าความผิดพลาดในช่วงการวัดสูงสุดคือ  $1300^{\circ}\text{C}$  เป็นต้น โดยมีช่วงของการวัดและค่าความผิดพลาดที่เป็นดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 ค่าความผิดพลาดในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.10 เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ DagPRO รุ่น 5300

ง. เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ DagPRO รุ่น 5300 ขนาด 8 ช่องสัญญาณ มีช่วงอุณหภูมิการวัด  $-250$  ถึง  $1200$  °C มีความผิดพลาดที่  $\pm 0.1$  °C

จ. เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดความร้อน (Hot wire anemometer) ยี่ห้อ Testo รุ่น 425 มีช่วงการวัดตั้งแต่  $0$  ถึง  $20$  m/s สามารถวัดได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่  $-20$  ถึง  $+70$  °C และมีค่าความถูกต้อง  $\pm 0.5$  °C ของค่าที่อ่านได้ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดความร้อน (Testo รุ่น 425)

ฉ. เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Pitot tube ยี่ห้อ Testo รุ่น 445 โดยในช่วงที่อุณหภูมิเกินช่วงที่เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดความร้อนไม่สามารถวัดได้ จะใช้เครื่องวัดลมแบบปีโตทิวป์ที่สามารถทนความร้อนได้ดีกว่าโดยมีช่วงการวัดที่  $-30$ - $1300$  °C โดยเครื่องจะคำนวณความเร็วจากความดัน และมีค่าความถูกต้อง  $\pm 0.01$  m/s ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความเร็วลมแบบปีโตทิวป์ (Pitot tube)

หลังจากทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีปล่อยให้อากาศร้อนลอยตัวแบบธรรมชาติที่ค่า เรย์โนลด์ส์ต่างๆ แล้ว ผู้วิจัยได้ปรับชุดการทดลองเพื่อที่จะหาค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีการพาความร้อนแบบบังคับ โดยได้ทำการติดพัดลมดูดอากาศบริเวณปล่องเพื่อดูดอากาศร้อนออกจากชุดทดลอง และสามารถปรับความเร็วของพัดลมได้ตามต้องการโดยใช้เครื่องหรีไฟในการปรับปริมาณปริมาณ ไฟฟ้าเข้าพัดลม

ช. พัดลมดูดอากาศยี่ห้อ Deton ขนาด 45 วัตต์ มีปริมาณลม 18 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูปที่ 3.13 พัดลมดูดอากาศ

ช. เครื่องหรีไฟไฟฟ้าเข้าพัดลมดูดอากาศ ยี่ห้อ Siam neonline ให้ไฟออก 0-215 โวลต์



รูปที่ 3.14 เครื่องหรี่ไฟหือ Siam neonline

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนของครีบบแบบเกล็ดที่อัตราส่วนระหว่างระหว่างครีบท่อระยะห่างระหว่างระหว่าเกล็ด และมุมเอียง ณ ค่าต่าง ๆ ทั้งการพาความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับ ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว จากนั้นจะได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $j$  โคนเบิร์น แฟกเตอร์ กับตัวเลขเรย์โนลด์ส์และตัวเลขกราชอร์ฟที่มุมเอียงเกล็ด และอัตราส่วนระหว่างระหว่างครีบท่อระยะห่างระหว่างระหว่าเกล็ดต่าง ๆ โดยในรายละเอียดของผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการวิจัยจะได้กล่าวในบทที่ 5 โดยในบทต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดการนำคอนเดนเซอร์รถยนต์ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในงานอุตสาหกรรมที่เป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติ