

### บทที่ 3

## การทดสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์

ก่อนที่จะนำสมการและความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งรวบรวมได้จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาไปใช้ในการออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์ จำเป็นจะต้องทดสอบความถูกต้องของสมการและความสัมพันธ์ดังกล่าวก่อนว่ามีความถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการออกแบบและออปติไมซ์หรือไม่ สำหรับในบทนี้ เริ่มแรกจะกล่าวถึงสมมติฐาน สมการและความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ จากนั้นจะกล่าวถึงการทดสอบความถูกต้องของสมการและความสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ การคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ และผลการทดสอบความถูกต้องของสมการและความสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์

### 3.1 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์

ในส่วนของ การคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์จะใช้สมมติฐานดังต่อไปนี้

- 3.1.1 การไหลของของไหลอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state flow)
- 3.1.2 การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบมิติเดียว (one-dimensional heat transfer) และเป็นไปตามกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) และกฎของนิวตัน (Newton's law)
- 3.1.3 ของไหลในระบบไม่เกิดการเปลี่ยนวัฏภาค
- 3.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของของไหลเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ
- 3.1.5 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันลดของของไหลเปลี่ยนแปลงตามระยะทางของการไหล (flow path) และอุณหภูมิของของไหล
- 3.1.6 ไม่เกิดการสูญเสียความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม

โดยที่ระบบ คือ หม้อน้ำรถยนต์ที่ถูกทดสอบประสิทธิภาพอยู่ภายในอุโมงค์ลมที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน และมีการควบคุมอัตราการไหลขาเข้าและขาออกของน้ำ ความเร็วขาเข้าของอากาศ และอุณหภูมิขาเข้าของน้ำและอากาศให้มีค่าคงที่

### 3.2 สมการและความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์

สมการทั้งหมดที่ใช้คำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์

ตัวแปร	คำอธิบาย	สมการที่ใช้คำนวณ
$D_{h,a}$	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของรังผึ้ง	2.85
$D_{h,w}$	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ	2.71
$D_{l,w}$	เส้นผ่านศูนย์กลางลามินาร์ของท่อ	2.70
$A_{pr}$	พื้นที่ผิวของท่อที่สัมผัสกับอากาศ	2.54
$A_{sc}$	พื้นที่ผิวของครีปที่สัมผัสกับอากาศ	2.58
$A_a$	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของอากาศ	2.53
$A_w$	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของน้ำ	2.60
$A_{wall}$	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของท่อ	2.61
$\eta_f$	ประสิทธิภาพของครีป	2.22
$h_a$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ	2.86
$h_w$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ไหลภายในท่อแบน	2.72, 2.78
$U_m A$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์	2.33
$\Delta T_m$	ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล	2.36
$Q$	อัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์	2.43
$f_a$	แฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศ	2.81
$K_{c,a}, K_{e,a}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดและขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลของอากาศ	2.89, 2.90
$A_{ff,a}$	พื้นที่ที่น้อยที่สุดของการไหลของอากาศ	2.64
$\Delta P_a$	ความดันลดของอากาศ	2.47
$f_w$	แฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำที่ไหลภายในท่อแบน	2.6, 2.74
$K_{c,w}, K_{e,w}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดและขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ	2.87, 2.88
$K_{tank,w}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานภายในถังน้ำ	3.14
$A_{ff,w}$	พื้นที่ที่น้อยที่สุดของการไหลของน้ำ	2.63
$\Delta P_w$	ความดันลดของน้ำ	3.19

### 3.3 การทดสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์

ในส่วนนี้ เริ่มแรกจะกล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์จากผู้ผลิตภาคเอกชน จากนั้นจะกล่าวถึงการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ที่มีขนาด ลักษณะ และวัสดุที่ใช้ผลิตท่อ ครีบ และลักษณะของรังผึ้ง และสมการที่ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ สุดท้ายจะกล่าวถึงการทดสอบ และผลการทดสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์

#### 3.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ ประกอบด้วย

##### 3.3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบและลักษณะต่างๆ ของหม้อน้ำ ได้แก่

- 1) ลักษณะพื้นผิวของท่อ
- 2) ลักษณะการจัดวางท่อและครีบเป็นรังผึ้ง
- 3) วัสดุที่ใช้ผลิตท่อและครีบ
- 4) ขนาดของรังผึ้งหม้อน้ำ
- 5) ขนาดต่างๆ ของท่อและครีบ
- 6) จำนวนท่อ
- 7) ขนาดของถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง
- 8) ขนาดของท่อน้ำเข้าถึงน้ำตอนบนและท่อน้ำออกจากถังน้ำตอนล่าง
- 9) ความยาวของท่อน้ำเข้าถึงน้ำตอนบนและท่อน้ำออกจากถังน้ำตอนล่าง (วัดจากจุดที่วัดความดันลดถึงถังน้ำ)
- 10) ระยะห่างตามแนวตั้งวัดระหว่างจุดศูนย์กลางของท่อน้ำเข้าถึงน้ำตอนบนและท่อน้ำออกจากถังน้ำตอนล่าง

สำหรับข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์นั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ที่ประกอบด้วยท่อ ครีบ และรังผึ้งที่มีรูปแบบลักษณะ และวัสดุที่ใช้ในการผลิต ดังนี้

#### 1) ท่อแบน

##### 1. วัสดุที่ใช้ผลิตท่อ

ก. ทองเหลือง (สำหรับรังผึ้งทองแดง-ทองเหลือง)

ข. อะลูมิเนียม (สำหรับรังผึ้งอะลูมิเนียม)

##### 2. ลักษณะของพื้นผิวภายในท่อ

ผิวเรียบทั้งด้านความลึกและด้านความกว้างของท่อ

#### 2) ครีบลูเวอร์

##### 1. วัสดุที่ใช้ผลิตครีบ

ก. ทองแดง (สำหรับรังผึ้งทองแดง-ทองเหลือง)

ข. อะลูมิเนียม (สำหรับรังผึ้งอะลูมิเนียม)

##### 2. ลักษณะของลูเวอร์ แสดงดังรูปที่ 2.4

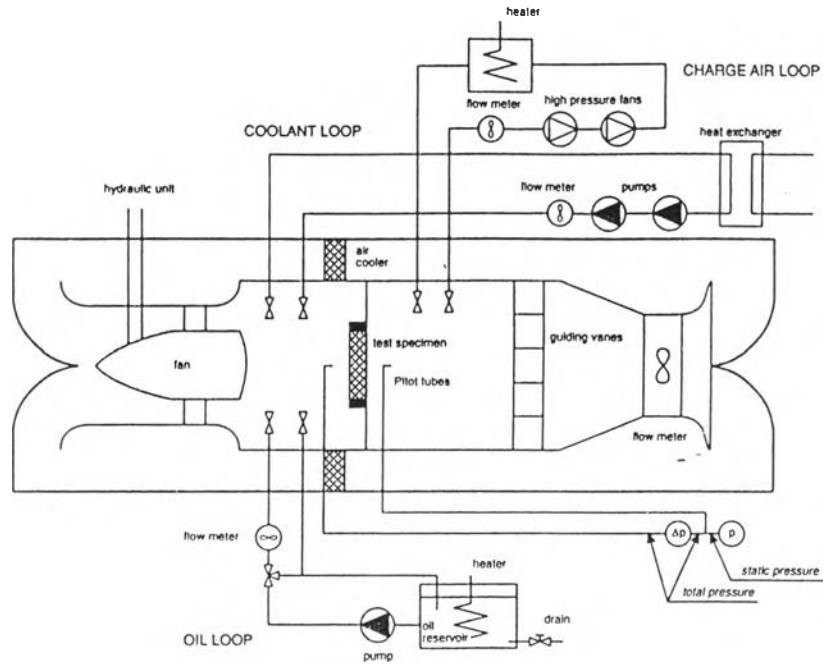
#### 3) ลักษณะการจัดวางท่อและครีบเป็นรังผึ้งหม้อน้ำ

ลักษณะการจัดวางท่อและครีบเป็นแบบครีบลูเวอร์พับงอ

#### 3.3.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะที่ทำการทดสอบ ได้แก่

- 1) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำ (20, 40, 60, 80, 100 ลิตร/นาที)
- 2) ความเร็วลมด้านหน้ารังผึ้ง (4, 6, 8, 10 เมตร/วินาที)
- 3) อุณหภูมิน้ำขาเข้า (ประมาณ 90 องศาเซลเซียส )
- 4) อุณหภูมิอากาศขาเข้า (ประมาณ 32 องศาเซลเซียส)

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำรถยนต์นั้นจะทดสอบภายในอุโมงค์ลมที่มีการหมุนวนกันความร้อน และควบคุมการไหลของอากาศด้านหน้ารังผึ้งให้เป็น uniform flow ด้วย honey comb โดยจะทำการวัดค่าของตัวแปรต่างๆ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว หรือเมื่ออัตราการไหลของน้ำขาเข้าและขาออกเท่ากัน ความเร็วลมด้านหน้ารังผึ้ง และอุณหภูมิขาเข้าของของไหลทั้งสองมีค่าคงที่



รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบประสิทธิภาพหมอน้ำรถยนต์

### 3.3.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือวัด แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือวัด

ตัวแปร	เครื่องมือวัด	ช่วงการวัด	ความถูกต้อง
ความเร็วของอากาศ	Differential pressure transmitter	0 – 15 มม.น้ำ	± 0.1 %
อัตราการไหลของน้ำ	Magnetic flowmeter	0 – 1,175 ลิตร/นาที	± 0.1 ลิตร/นาที
อุณหภูมิของอากาศ	RTD	0 – 100 °ซ	± 0.35 %
อุณหภูมิของน้ำ	RTD	0 – 100 °ซ	± 0.35 %
ความดันลดยของอากาศ	Differential pressure transmitter	0 – 100 มม.น้ำ	± 0.01 %
ความดันลดยของน้ำ	Differential pressure transmitter	0 – 700 มม.น้ำ	± 0.01 %

### 3.3.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ ได้แก่

1) ข้อมูลอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ (จำนวน 72 ค่า) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Q_w = m_w c_{p,w} (T_{w,1} - T_{w,2}) \quad (3.1)$$

ข้อมูลส่วนนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำรถยนต์ที่ประกอบด้วย รังผึ้งทองแดง -ทองเหลือง ซึ่งมีขนาดของรังผึ้ง ขนาดของท่อและครีปที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ ทั้งนี้ หม้อน้ำแต่ละรูปแบบจะถูกทดสอบที่สภาวะทดสอบ 12 สภาวะ คือ ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 20, 40 และ 100 ลิตร/นาที และความเร็วลมด้านหน้ารังผึ้งเท่ากับ 2, 4, 8 และ 10 เมตร/วินาที

2) ข้อมูลอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าของน้ำและอากาศเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ( $Q_{60}$ ) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ในทางอุตสาหกรรม (จำนวน 593 ค่า) และสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.2) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2534)

$$Q_{60} = Q_w \times \frac{60}{(T_{w1} - T_{a1})} \quad (3.2)$$

โดยที่

$Q_w$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่คำนวณจากสมการ (3.1)

$T_{w1}, T_{a1}$  คือ อุณหภูมิขาเข้าของน้ำและอากาศที่วัดได้ เป็นองศาเซลเซียส ตามลำดับ

ข้อมูลส่วนนี้ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำรถยนต์ซึ่งมีขนาดของรังผึ้ง ขนาดของท่อและครีป และวัสดุที่ใช้ในการผลิตรังผึ้งแตกต่างกัน 40 รูปแบบ โดยที่จำนวนสภาวะทดสอบสำหรับหม้อน้ำรถยนต์แต่ละรูปแบบจะไม่เท่ากัน

3) ข้อมูลความดันลดของอากาศซึ่งได้จากการวัดระหว่างด้านหน้าและด้านหลังรังผึ้ง ( $\Delta P_{a,exp}$ ) จำนวน 278 ค่า

4) ข้อมูลความดันลดของน้ำซึ่งได้จากการวัดระหว่างท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก ( $\Delta P_{w,exp}$ ) จำนวน 304 ค่า

สำหรับข้อมูลความดันลดของน้ำและข้อมูลความดันลดของอากาศนั้นได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำรถยนต์ซึ่งมีขนาดของรังผึ้ง ขนาด ของท่อและครีป และวัสดุที่ใช้ในการผลิตรังผึ้งแตกต่างกัน 46 รูปแบบ โดยที่จำนวนสภาวะทดสอบสำหรับหม้อน้ำรถยนต์แต่ละรูปแบบจะไม่เท่ากัน

### 3.3.2 การคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์

#### 3.3.2.1 อัตราการถ่ายเทความร้อน

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ พบว่า มีเพียงร้อยละ 10 ของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ที่แสดงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ ( $Q_{60}$ ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ และอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำและอากาศที่วัดได้จริง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ที่มีขนาดของรังผึ้งขนาดของท่อและครีปที่แตกต่างกันเพียง 6 รูปแบบ ในขณะที่ร้อยละ 90 ของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ จะแสดงเฉพาะค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ ( $Q_{60}$ ) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหม้อน้ำรถยนต์ที่มีขนาดของรังผึ้ง ขนาดของท่อและครีป และวัสดุที่ใช้ในการผลิตรังผึ้งที่แตกต่างกัน 40 รูปแบบ

เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ให้ได้มากที่สุด ในส่วนของการทดสอบความถูกต้องของสมการและความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณนี้ จะประมาณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ ( $Q_{w,exp}$ ) สำหรับข้อมูลที่แสดงเฉพาะค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ ( $Q_{60}$ ) จากสมการ (3.3) ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ที่แสดงทั้งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ ( $Q_{60}$ ) และอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ ซึ่งพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ ( $Q_{w,exp}$ ) นั้นจะมีค่าประมาณ 0.85 เท่าของอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ ( $Q_{60}$ )

$$Q_{w,exp} = 0.85 Q_{60} \quad (3.3)$$

และจะประมาณค่าอุณหภูมิขาออกของอากาศและน้ำจากสมการ (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ

$$T_{a,2} = T_{a1} + \frac{Q_{w,exp}}{\rho_a u_{fr,a} A_{fr,a} c_{p,a}} \quad (3.4)$$

$$T_{w,2} = T_{w1} - \frac{Q_{w,exp}}{\rho_w V_w c_{p,w}} \quad (3.5)$$

จากนั้น จะนำอุณหภูมิขาออกของน้ำและอุณหภูมิขาออกของอากาศที่คำนวณได้นี้ไปใช้ในการคำนวณความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล คุณสมบัติต่างๆ ของของไหล สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหล ค่าเฉลี่ยจริงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณ ( $Q_{w,cal}$ ) ต่อไป

### 3.3.2.2 ความดันลดของอากาศ

ความดันลดของอากาศที่ได้จากการคำนวณ ( $\Delta P_{a,cal}$ ) คำนวณได้จากสมการ (2.47)

### 3.3.2.3 ความดันลดของน้ำ

ในส่วนของ การคำนวณความดันลดของน้ำ เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจำเป็นต้องพิจารณาความดันลดซึ่งประกอบด้วย ความดันลดจากความเสียดทานของน้ำที่ไหลผ่านท่อ น้ำเข้าถึงน้ำตอนบน และท่อ น้ำออกจากถึงน้ำตอนล่าง ความดันลดของน้ำที่ไหลผ่านท่อแบน ความดันสถิต และความดันลดในถังน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากความดันลดของน้ำที่ได้จากการวัดนั้นเป็นค่าความดันลดระหว่างท่อ น้ำเข้าถึงน้ำตอนบนและท่อ น้ำออกจากถึงน้ำตอนล่าง

1) ความดันลดจากความเสียดทานของน้ำที่ไหลผ่านท่อ น้ำเข้าและท่อ น้ำออก  
ความดันลดจากความเสียดทานของน้ำที่ไหลผ่านท่อ น้ำเข้าและท่อ น้ำออก ( $\Delta P_{pipe}$ ) คำนวณได้จาก

$$\Delta P_{pipe} = \left[ \frac{\rho_w u_w^2}{2} \left( \frac{4 f_w L}{D} \right) \right]_{inlet\ pipe} + \left[ \frac{\rho_w u_w^2}{2} \left( \frac{4 f_w L}{D} \right) \right]_{outlet\ pipe} \quad (3.6)$$



โดยที่

$D_{pipe}, L_{pipe}$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก  
 $u_{w,pipe}$  คือ ความเร็วของน้ำภายในท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก คำนวณได้จาก

$$u_{w,pipe} = \frac{V_w}{\left(\frac{\pi}{4} D_{pipe}^2\right)} \quad (3.7)$$

$f_{w,pipe}$  คือ แฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำที่ไหลผ่านท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก คำนวณได้จากสมการ (2.6) ซึ่งเป็นสมการสำหรับท่อกลมผิวเรียบ

หมายเหตุ

การคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำที่ไหลภายในท่อน้ำเข้าจะคำนวณที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำ ในขณะที่คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำที่ไหลในท่อน้ำออกจะคำนวณที่อุณหภูมิขาออก

2) ความดันลดของน้ำที่ไหลผ่านท่อแบน

ความดันลดของน้ำที่ไหลผ่านท่อแบน ( $\Delta P_{tube}$ ) จะประกอบด้วยความดันลดจากความเสียดทานของน้ำและความดันลดจากการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลระหว่างถึงน้ำตอนบนกับท่อแบน และความดันลดจากการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลระหว่างท่อแบนกับถึงน้ำตอนล่าง แสดงดังสมการ

$$\Delta P_{tube} = \left[ \frac{\rho u^2}{2} \left( f \frac{A}{A_{ff}} + K_c + K_e \right) \right]_w \quad (3.8)$$

หมายเหตุ

การคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำจะคำนวณที่อุณหภูมิอ้างอิง ( $T_{w,I}, T_{w,II}$ )

3) ความดันสถิตของน้ำ

ความดันสถิตของน้ำ ( $\Delta P_{stat}$ ) คำนวณได้จาก

$$\Delta P_{stat} = \rho_w g z \quad (3.9)$$

โดยที่

$g$  คือ ความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

$z$  คือ ระยะห่างตามแนวตั้งวัดระหว่างจุดศูนย์กลางของท่อน้ำเข้าถึงน้ำตอนบนและท่อน้ำออก จากถึงน้ำตอนล่าง

หมายเหตุ

การคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำจะคำนวณที่อุณหภูมิอ้างอิง ( $T_{w,I}, T_{w,II}$ )

#### 4) ความดันลดในถังน้ำ

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา ไม่พบว่า มีการสร้างสมการหรือความสัมพันธ์เพื่อใช้คำนวณ ความดันลดในถังน้ำ ( $\Delta P_{\text{tank}}$ ) แต่เนื่องจากความดันลดในถังน้ำเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการออกแบบ หม้อน้ำรถยนต์ งานวิจัยนี้จึงได้สร้างสมการที่ใช้ในการคำนวณความดันลดในถังน้ำจากการวิเคราะห์ ความถดถอยเชิงเส้นเชิงพหุ (multiple linear regression) จากข้อมูลที่ได้การทดสอบประสิทธิภาพ หม้อน้ำรถยนต์ของภาคอุตสาหกรรม ด้วยโปรแกรมแมทแล็บและโปรแกรมเอสพีเอสเอส (รายละเอียด แสดงในภาคผนวก ข และภาคผนวก ค)

สำหรับความสัมพันธ์ที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น แสดงได้ดังสมการ

$$\Delta P_{\text{tank}} = \left[ \frac{\rho u^2}{2} K \right]_{\text{tank}} \quad (3.10)$$

โดยที่

$u_{\text{tank}}$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง คำนวณได้จาก

$$u_{\text{tank}} = \left( \frac{u_{t,1} + u_{t,2}}{2} \right) \quad (3.11)$$

เมื่อ

$u_{t,1}, u_{t,2}$  คือ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง คำนวณได้จาก

$$u_{t,1} = \frac{V_w}{W \times D_{t,1}} \quad (3.12)$$

$$u_{t,2} = \frac{V_w}{W \times D_{t,2}} \quad (3.13)$$

$K_{\text{tank}}$  คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำ คำนวณได้จาก

$$K_{\text{tank}} = 3.83 \times 10^{25} \exp^{(-0.61W + 10.55D - 3.65D_{t,1} - 40.27D_{t,2} + 3.01z_2)/D_{ht2}} \text{Re}_{t1}^{2.5-2.73D_{ht1}} \text{Re}_{t2}^{7.52D_{ht2}} \\ \left[ \ln \left( 1 + \frac{W}{D_{ht2}} \right) \right]^{12.04} \left[ \ln \left( 1 + \frac{H}{D_{ht2}} \right) \right]^{0.63} \left[ \ln \left( 1 + \frac{D}{D_{ht2}} \right) \right]^{-3.12} \left[ \ln \left( 1 + \frac{D_{ht1}}{D_{ht2}} \right) \right]^{5.57} \\ \left[ \ln \left( 1 + \frac{z_1}{D_{ht2}} \right) \right]^{0.36} \left[ \ln \left( 1 + \frac{z_2}{D_{ht2}} \right) \right]^{-0.94} [\ln(0.5 \text{Re}_{t1})]^{-14.85} [\ln(0.5 \text{Re}_{t2})]^{-15.33} \quad (3.14)$$

เมื่อ

$z_1, z_2$  คือ ความสูงของถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง ตามลำดับ

$D_{t,1}, D_{t,2}$  คือ ความลึกของถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง ตามลำดับ

$D_{ht1}, D_{ht2}$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง คำนวณได้

จากสมการ (3.15) และ (3.16) ตามลำดับ

$$D_{ht1} = \frac{2(W \times D_{t,1})}{W + D_{t,1}} \quad (3.15)$$

$$D_{ht2} = \frac{2(W \times D_{t,2})}{W + D_{t,2}} \quad (3.16)$$

$\text{Re}_{t1}, \text{Re}_{t2}$  คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง

คำนวณได้จากสมการ (3.17) และ (3.18) ตามลำดับ

$$\text{Re}_{t1} = \left( \frac{\rho u D_{ht1}}{\mu} \right)_w \quad (3.17)$$

$$\text{Re}_{t2} = \left( \frac{\rho u D_{ht2}}{\mu} \right)_w \quad (3.18)$$

นั่นคือ ความดันลดของน้ำ ( $\Delta P_{w,cal}$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta P_{w,cal} = \Delta P_{pipe} + \Delta P_{tube} - \Delta P_{stat} + \Delta P_{tank} \quad (3.19)$$

### 3.3.3 ความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์

ความถูกต้องของสมการและความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ และความดันลดของไหลของหม้อน้ำรถยนต์ที่ได้จากการคำนวณไปจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ (% deviation) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

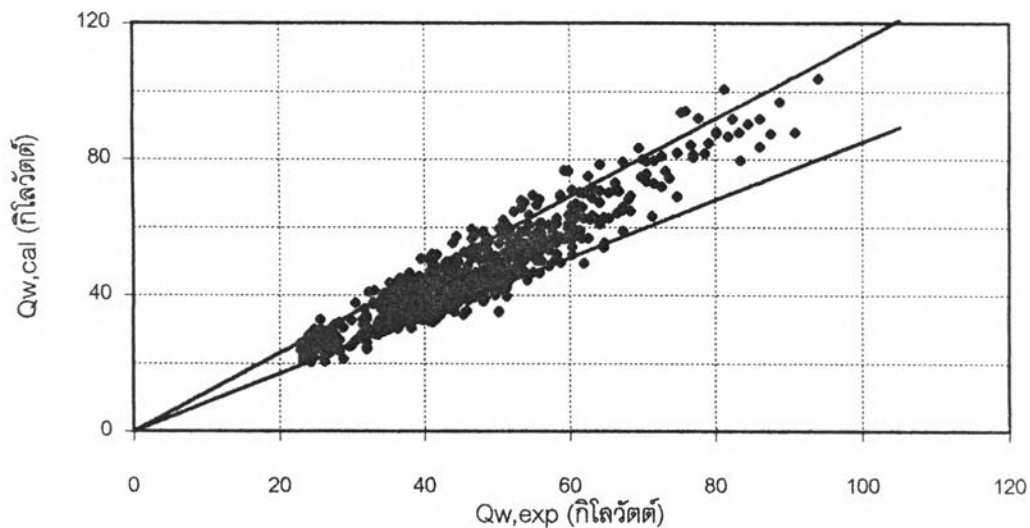
$$\%deviation = \frac{Calculated\ value - Tested\ value}{Tested\ value} \times 100\%$$

### 3.3.4 ผลการทดสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์

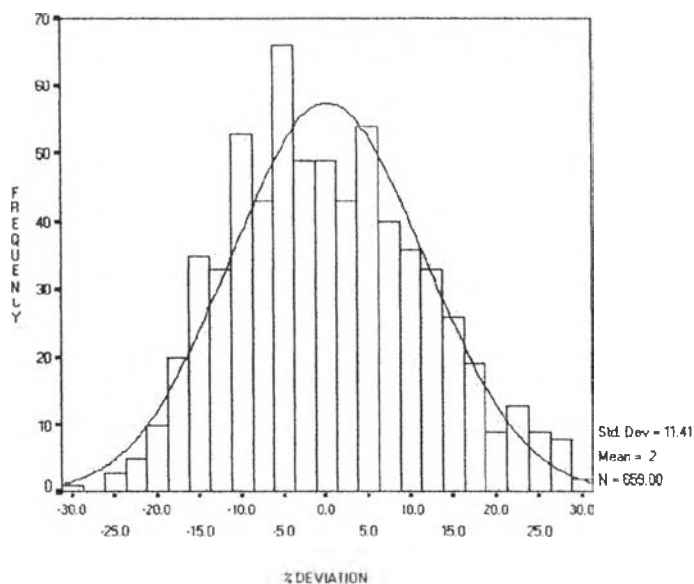
#### 3.3.4.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ

จากข้อมูลอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์จำนวน 659 ค่า พบว่า ร้อยละ 81.18 ของค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ (2.43) จะมีเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนไปจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์อยู่ในช่วง  $\pm 15\%$

รูปที่ 3.2 และ 3.3 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณและผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ และผลการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของค่าที่ได้จากการคำนวณไปจากค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณและจากผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

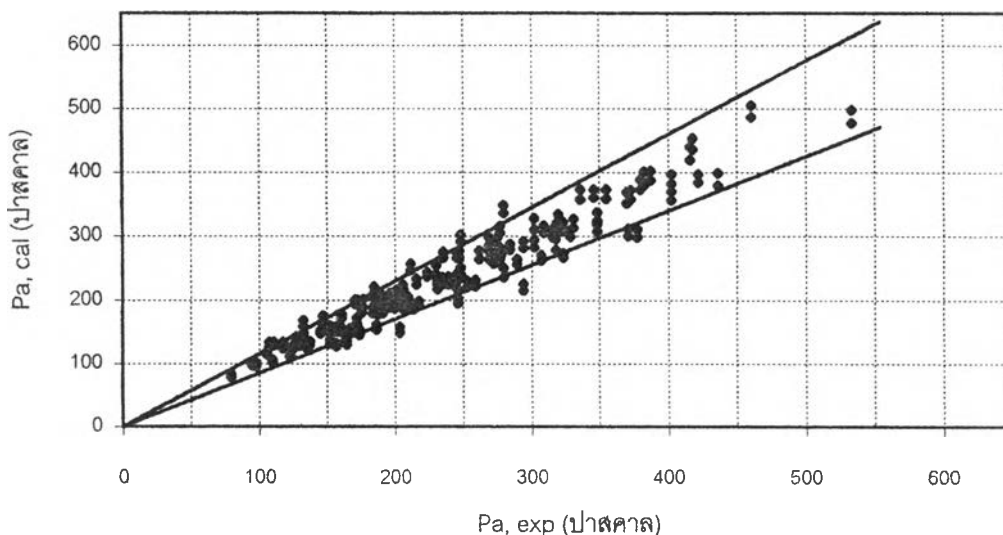


รูปที่ 3.3 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณไปจากค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

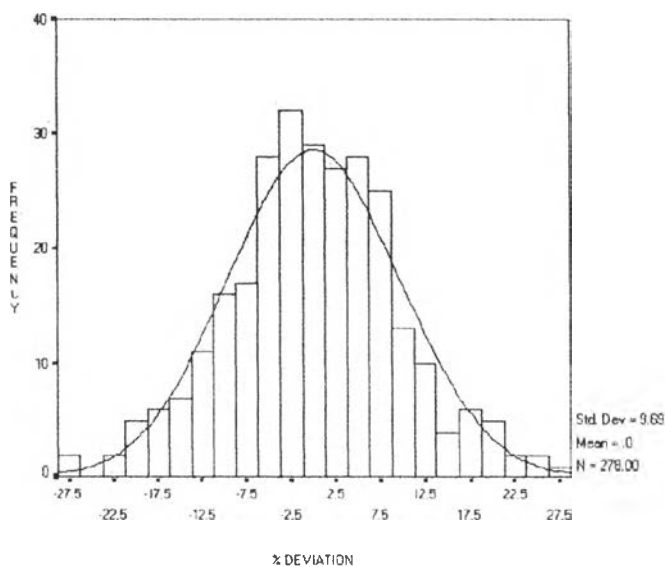
#### 3.3.4.2 ความดันลดของอากาศ

จากข้อมูลความดันลดของอากาศที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์จำนวน 278 ค่า พบว่า ร้อยละ 80.45 ของค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ (2.47) จะมีเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนไปจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ในช่วง  $\pm 15\%$

รูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงความดันลดของอากาศที่ได้จากการคำนวณและผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ และผลการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของค่าที่ได้จากการคำนวณไปจากค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ความดันลดของอากาศที่ได้จากการคำนวณและจากผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

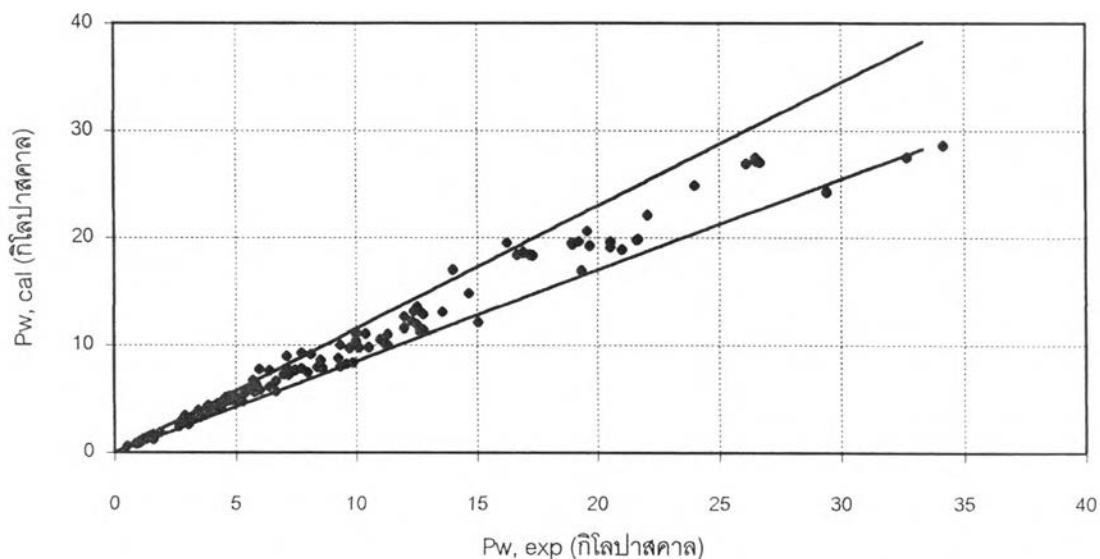


รูปที่ 3.5 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของความดันลดของอากาศที่ได้จากการคำนวณไปจากค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

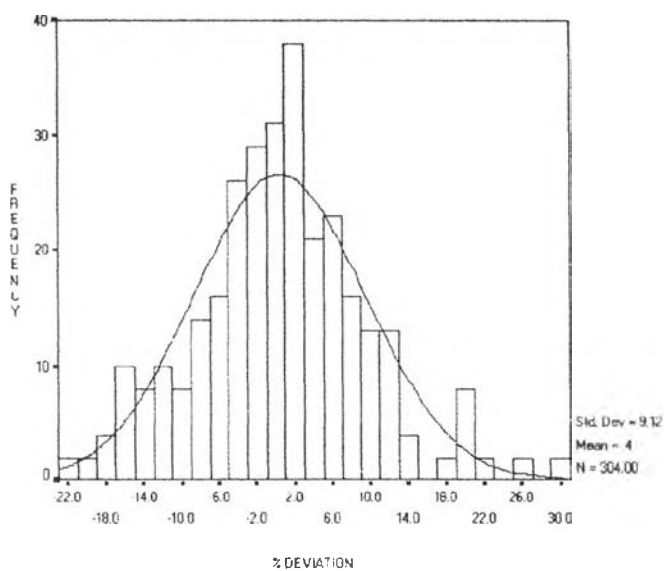
### 3.3.4.3 ความดันลดของน้ำ

จากข้อมูลความดันลดของน้ำที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์จำนวน 304 ค่า พบว่า ร้อยละ 88.82 ของค่าที่ได้จากการคำนวณความดันลดของน้ำโดยใช้สมการ (3.19) จะมีเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนไปจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ในช่วง  $\pm 15\%$

รูปที่ 3.6 และ 3.7 แสดงความดันลดของน้ำที่ได้จากการคำนวณและผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ และผลการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของค่าที่ได้จากการคำนวณไปจากค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 ความดันลดของน้ำที่ได้จากการคำนวณและจากผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์



รูปที่ 3.7 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของความดันลดของน้ำที่ได้จากการคำนวณไปจากค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์

### 3.4 บทสรุป

ในบทนี้ ได้กล่าวถึงวิธีการทดสอบและผลการทดสอบความถูกต้องของสมการและความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ ซึ่งประกอบด้วยอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ ความดันลดยของอากาศและน้ำ

จากผลการทดสอบพบว่า มากกว่าร้อยละ 80 ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือผลทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นจะมีเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนไปจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์อยู่ในช่วง  $\pm 15\%$  ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์ จึงสามารถนำสมการและความสัมพันธ์ต่างๆ ในบทที่ 2 ไปใช้ในการออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์ได้ สำหรับเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน  $\pm 15\%$  นี้จะนำไปใช้กำหนดขอบเขตของความไม่แน่นอนในส่วนของการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์ภายใต้ความไม่แน่นอนซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป