บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

เพื่อให้การดำเนินการศึกษา เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ สร้างโรงเรือนทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำความเย็นโดยการระเหยของแผงระเหยน้ำที่ทำจากวัสดุต่างชนิด และสร้างแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ใช้แผงระเหยน้ำในระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาสมรรถนะการทำความเย็นโดยการระเหยของแผงระเหยน้ำ

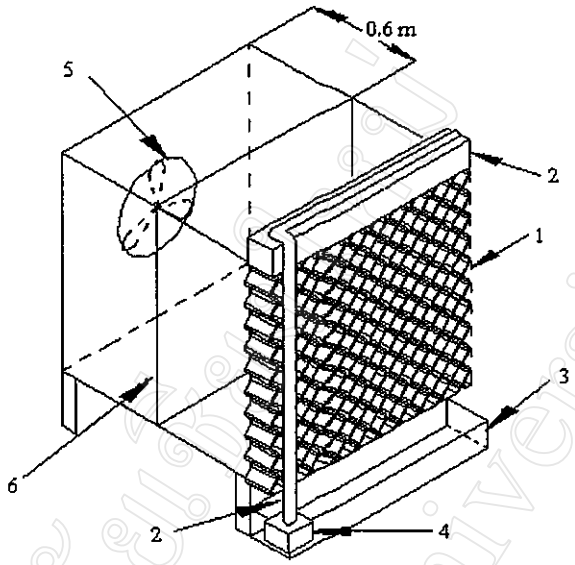
ทำการสร้างโรงเรือนทดลองขนาด 1.2×1.2×1.2 ลูกบาศก์เมตร วัสดุที่ใช้ทำผนังและหลังคาเป็นแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี (Galvanized iron) ด้านหน้าติดตั้งแผงระเหยน้ำ และอุปกรณ์การไหลเวียนของน้ำ ด้านบนของแผงระเหยน้ำมีอุปกรณ์การกระจายน้ำติดตั้งอยู่ ส่วนด้านหลังติดตั้งพัดลมดูดอากาศดังแสดงในรูป 3.1 ก ด้านในใช้สำหรับวัดอุณหภูมิโดยมีตำแหน่งในการวัด ดังรูป 3.1 ข การศึกษามีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาสมรรถนะการทำความเย็นโดยการระเหยของแผงระเหยน้ำ ประกอบด้วย

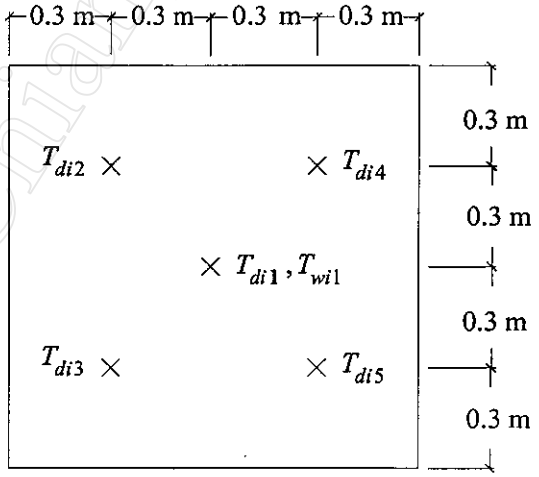
3.1.1.1 แผงระเหยน้ำ เป็นตัวกลางให้น้ำไหลผ่าน แผงระเหยน้ำที่ใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 3 ชนิด แต่ละชนิดมีความหนา 15 เซนติเมตร มีรายละเอียดดังนี้

ก. แผงระเหยน้ำแบบกระสอบป่าน ทำจากผืนกระสอบป่านขนาด 15×120 ตารางเซนติเมตรต่อผืน จำนวน 75 ผืน นำมาวางเรียงกันตามขวางโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างผืนเป็น 1.4 เซนติเมตร มีพื้นที่ระเหยประมาณ 27 ตารางเมตรต่อพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ 1 ตารางเมตร มีลักษณะของผืนกระสอบป่าน ดังแสดงในรูป 3.2

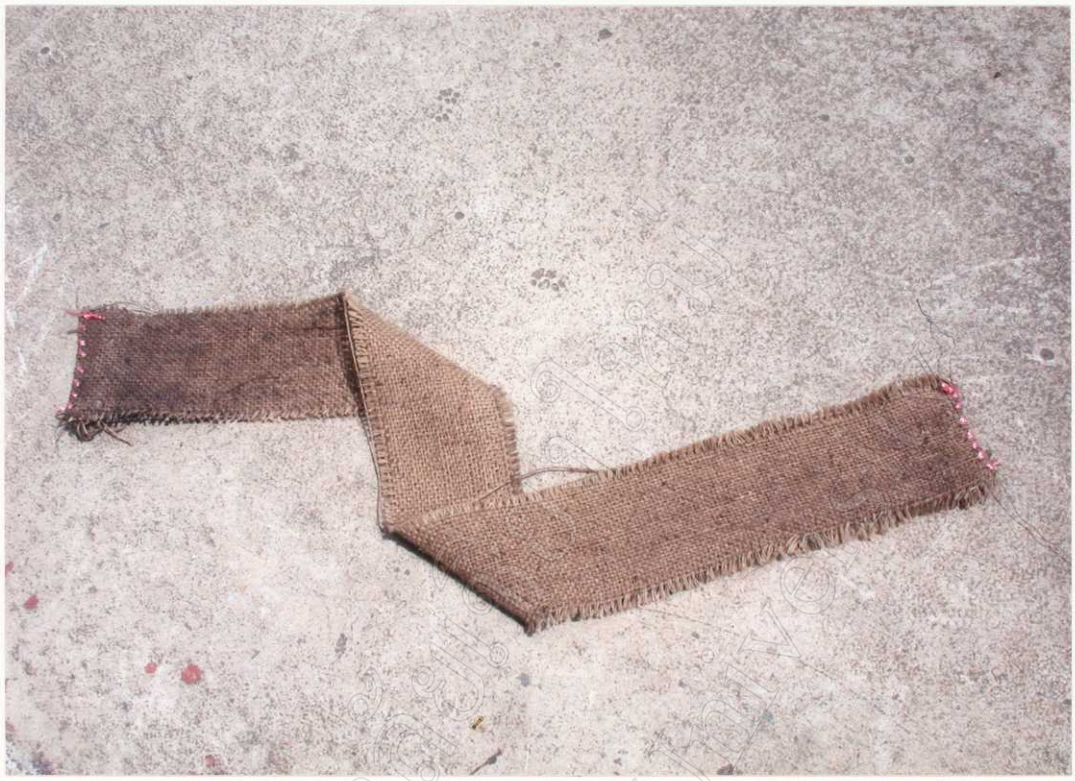
ข. แผงระเหยน้ำแบบคอนกรีตมีรูพรุน ขนาด 20×40 ตารางเซนติเมตรต่อก้อน จำนวนทั้งหมด 18 ก้อน เรียงต่อกันในแนวนอน 3 ก้อน แนวตั้ง 6 ก้อน โดยแต่ละก้อนมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เซนติเมตร ทำมุม 45° กับแนวระดับทางด้านลึกจำนวน 150 รู มีพื้นที่ระเหยประมาณ 12.45 ตารางเมตรต่อพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ 1 ตารางเมตร มีลักษณะของคอนกรีตมีรูพรุน ดังแสดงในรูป 3.3



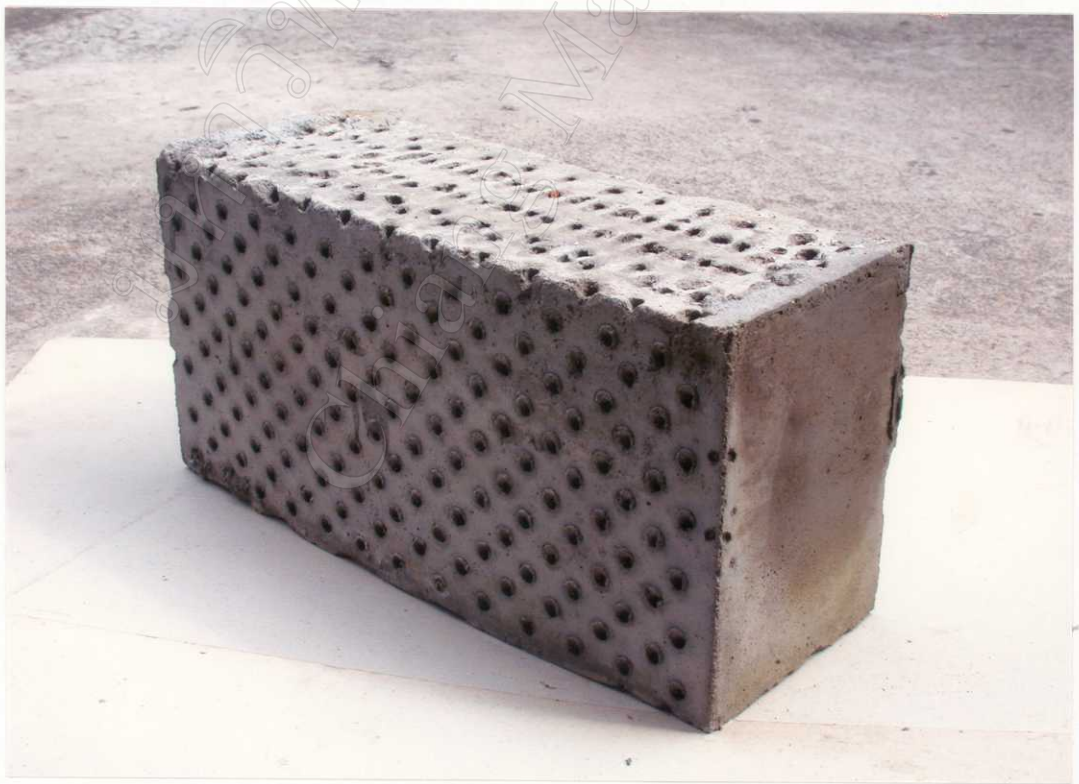
รูป 3.1 ก ลักษณะโรงเรือนทดลอง 1. แผงระเหยน้ำ 2. อุปกรณ์กระจายน้ำ 3. ถาดพักน้ำ 4. ปั๊มน้ำ 5. พัดลมดูดอากาศ 6. ระนาบวัดอุณหภูมิ



รูป 3.1 ข ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทดลอง



รูป 3.2 ผืนกระสอบป่าน



รูป 3.3 คอนกรีตมีรูพรุน

ค. แผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษ ขนาด 30×120 ตารางเซนติเมตรต่อแท่ง จำนวน 4 แท่ง เรียงต่อกัน ทำจากเยื่อกระดาษเคลือบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) มีชื่อเรียกว่า CELdek ลักษณะเป็นร่องลูกฟูกประกบกัน มีพื้นที่ระเหยประมาณ 54 ตารางเมตรต่อพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ 1 ตารางเมตร มีลักษณะของเยื่อกระดาษ ดังแสดงในรูป 3.4

3.1.1.2 อุปกรณ์กระจายน้ำ ประกอบด้วย ท่อลำเลียงน้ำ ท่อกระจายน้ำทำจากท่อพีวีซีเจาะรู และถาดกระจายน้ำขนาด 120×20×8 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีเจาะรู ทำหน้าที่กระจายน้ำให้ทั่วแผงระเหยน้ำจากทางด้านบนของแผงระเหยน้ำ ดังแสดงในรูป 3.5

3.1.1.3 ถาดพักน้ำ ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีมีขนาด 20×25×120 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นแหล่งเก็บน้ำที่ใช้หมุนเวียนในระบบ ดังแสดงในรูป 3.6

3.1.1.4 ปั๊มน้ำ ยี่ห้อ JUN รุ่น HX-4500 220 โวลต์ 70 วัตต์ อัตราการไหลสูงสุด 2500 ลิตรต่อชั่วโมง เฮดสูงสุด 3 เมตร ทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำจากถาดเก็บน้ำไปยังอุปกรณ์กระจายน้ำ

3.1.1.5 พัดลมดูดอากาศ ชนิดตามแนวแกน (Propellor) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 18 นิ้ว จำนวน 4 ใบพัด ทำหน้าที่ดูดอากาศภายนอกผ่านแผงระเหยน้ำ ดังแสดงในรูป 3.7

3.1.1.6 มอเตอร์ ชนิดเหนี่ยวนำ ยี่ห้อ มิตซูบิชิ ขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส 4 pole 220 โวลต์ 3.5 แอมแปร์ 1410 rpm

3.1.1.7 มู่เล่ อัตราทด 2:1 (6:3 นิ้ว) ทำหน้าที่เพิ่มรอบในการหมุนของพัดลม

3.1.1.8 เครื่องมือบันทึกข้อมูลทางอุณหภูมิ (Temperature recorder) แบบ 10 ช่องสัญญาณ ความละเอียดของการวัด 0.1 องศาเซลเซียส

3.1.1.9 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

3.1.1.10 เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ (Anemometor) ช่วงของสเกล 0.4-30 เมตรต่อวินาที

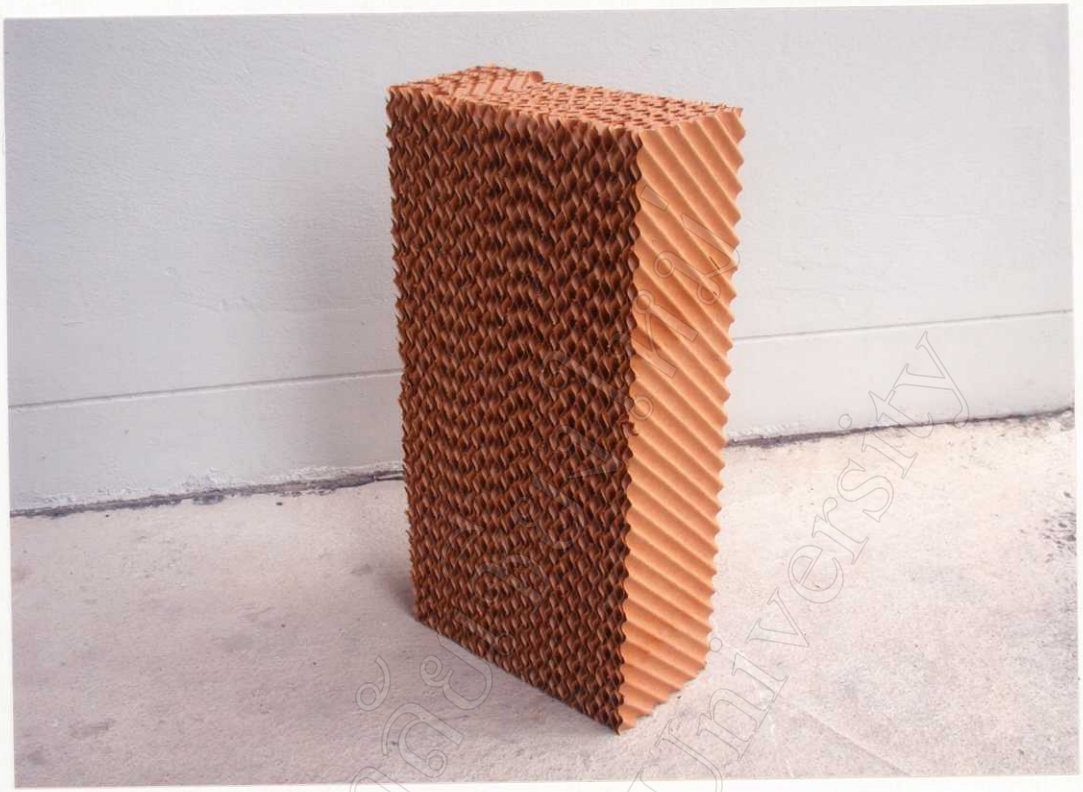
3.1.1.11 เครื่องมือปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ของบริษัท Fuji Electric รุ่น FVR-G5 ความถี่ในการหมุน 0.5-360 Hz. 200-230 โวลต์ 50/60 Hz. Out put current 3 แอมแปร์

3.1.2 วิธีการทดลอง

การศึกษาสมรรถนะของแผงระเหยน้ำทั้ง 3 ชนิด มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

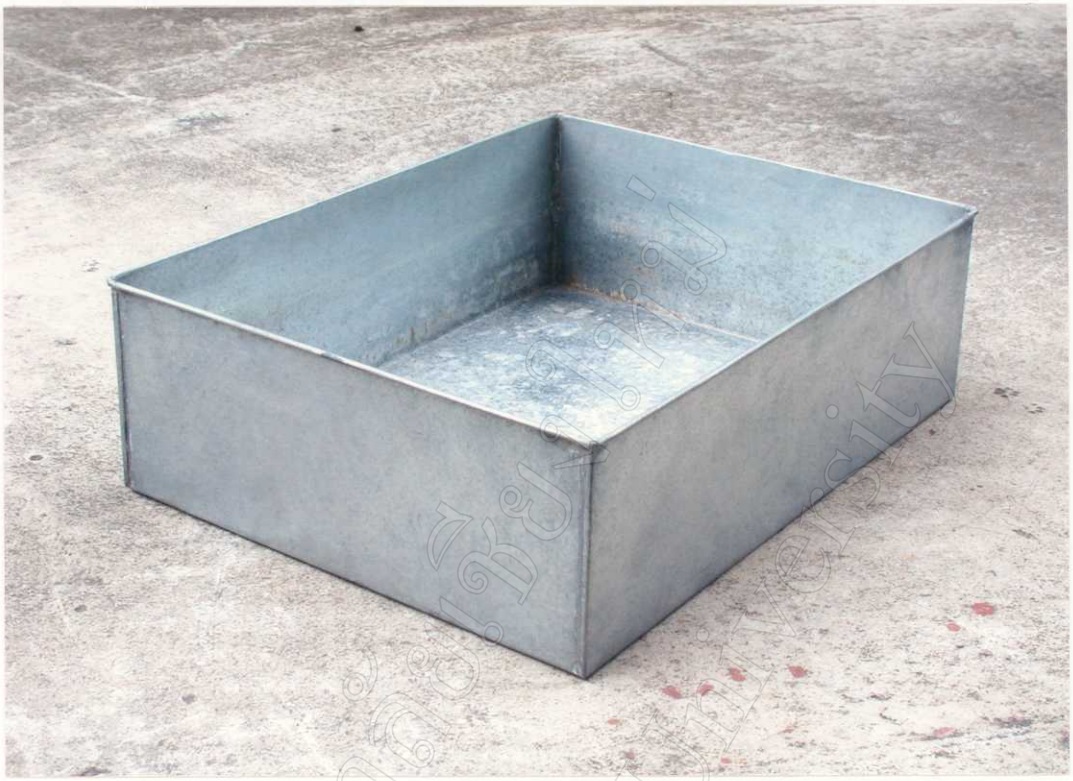
3.1.2.1 เปิดพัดลมดูดอากาศโดยปรับอัตราการระบายอากาศในโรงเรือนทดลองเท่ากับ 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พร้อมกับเปิดปั๊มน้ำ

3.1.2.2 วัดอุณหภูมิแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำค่าละ 1 ตำแหน่งที่กึ่งกลางหน้าตัด อุณหภูมิแห้งอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 5 ตำแหน่ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 1 ตำแหน่งที่กึ่งกลางหน้าตัด โดยแสดงตำแหน่งการวัด



รูป 3.4 เยื่อกระดาษ

รูป 3.5 อุปกรณ์กระจายน้ำ



รูป 3.6 ถาดพักน้ำ

รูป 3.7 พัดลมดูดอากาศ

ในรูป 3.1 ข ทำการวัดทุก 5 นาทีเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00–18.00 น.

3.1.2.3 เปลี่ยนอัตราการระบายอากาศในโรงเรือนทดลองเป็น 0.50, 0.75 และ 1.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และบันทึกข้อมูลในหัวข้อ 3.1.2.2

3.2 แบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกร

เพื่อที่จะสามารถทำนายอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร จึงได้สร้างแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกรขึ้น การทำนายอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนจะอาศัยหลักการสมดุลความร้อนที่ไหลผ่านและเข้าออกโรงเรือน ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะทำให้ทราบถึงอุณหภูมิอากาศที่ลดลงภายในโรงเรือนขนาดจริง

การสร้างแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกรนั้น ต้องประกอบด้วยแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของแผงระเหยน้ำ และเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของแผงระเหยน้ำให้ความถูกต้องมากน้อยเพียงไร จึงสร้างแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลอง เพื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของแผงระเหยน้ำก่อน แล้วเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองกับการทดลอง โดยรายละเอียดของแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ มีดังนี้

3.2.1 แบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของแผงระเหยน้ำ เป็นแบบจำลองสภาพที่สร้างขึ้นเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงระเหยน้ำ และการหาอุณหภูมิอากาศที่ผ่านแผงระเหยน้ำ การหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงระเหยน้ำจะพิจารณาการไหลของอากาศผ่านแผงระเหยน้ำเป็นการไหลในท่อแบบบังคับ (หัวข้อ 2.7) การหาอุณหภูมิอากาศที่ผ่านแผงระเหยน้ำจะพิจารณาเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวแผงระเหยน้ำกับอากาศที่ไหลผ่าน แล้วนำอุณหภูมิที่คำนวณได้หาปริมาณความร้อนจากการระบายอากาศในส่วนของแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลองต่อไป โดยมีสมมติฐานดังนี้ การไหลเป็นแบบคงตัว (Steady flow) อากาศเป็นของไหลแบบไม่อัดตัว (Incompressible fluid) กระบวนการระเหยที่แผงระเหยน้ำไม่มีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อม ความเร็วอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำเท่ากับความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ไหลในท่อ ($V_i = u_m$) ความเร็วและอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำเท่ากันทุกจุด ไม่มีความดันตกคร่อมของอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ

ในการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำจะใช้กระบวนการทำซ้ำ (Iterative method) โดยมีขั้นตอนแสดงในแผนผังการคำนวณ (Flow chart) ดังรูป 3.8 การคำนวณแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1.1 กำหนดข้อมูล (Input data) ของแผงระเหยน้ำ ดังนี้ พื้นที่ผิวแผงระเหยน้ำทั้งหมด (A_{pt}) พื้นที่ว่างบนระนาบหน้าตัดแผงระเหยน้ำ (A_{ct}) และกำหนดข้อมูลของท่อเพื่อใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงระเหยน้ำ ดังต่อไปนี้ พื้นที่หน้าตัดท่อ (A_{cd}) เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) จำนวนท่อทั้งหมด (N_d)

3.2.1.2 กำหนดอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ (T_i) เท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิผิวแผงระเหยน้ำ (T_s) เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศภายนอก อัตราการระบายอากาศในโรงเรือน (F) อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (T_{in})

3.2.1.3 สมมติอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ (T_{o1})

3.2.1.4 คำนวณความหนาแน่นโดยมวลของอากาศภายในโรงเรือนที่อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน คำนวณอัตราการไหลโดยมวลของอากาศภายในโรงเรือน ($\dot{m}$) และอัตราการไหลโดยมวลของอากาศในท่อ ($\dot{m}_d$)

3.2.1.5 คำนวณค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (C_p) และความหนาแน่นโดยมวลของอากาศ ที่อุณหภูมิ $(T_i + T_s)/2$ เพื่อใช้ในการหาอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ สมการที่ใช้ในการคำนวณได้จากตารางคุณสมบัติอากาศ (Incropera, 1990) แสดงในภาคผนวก ข

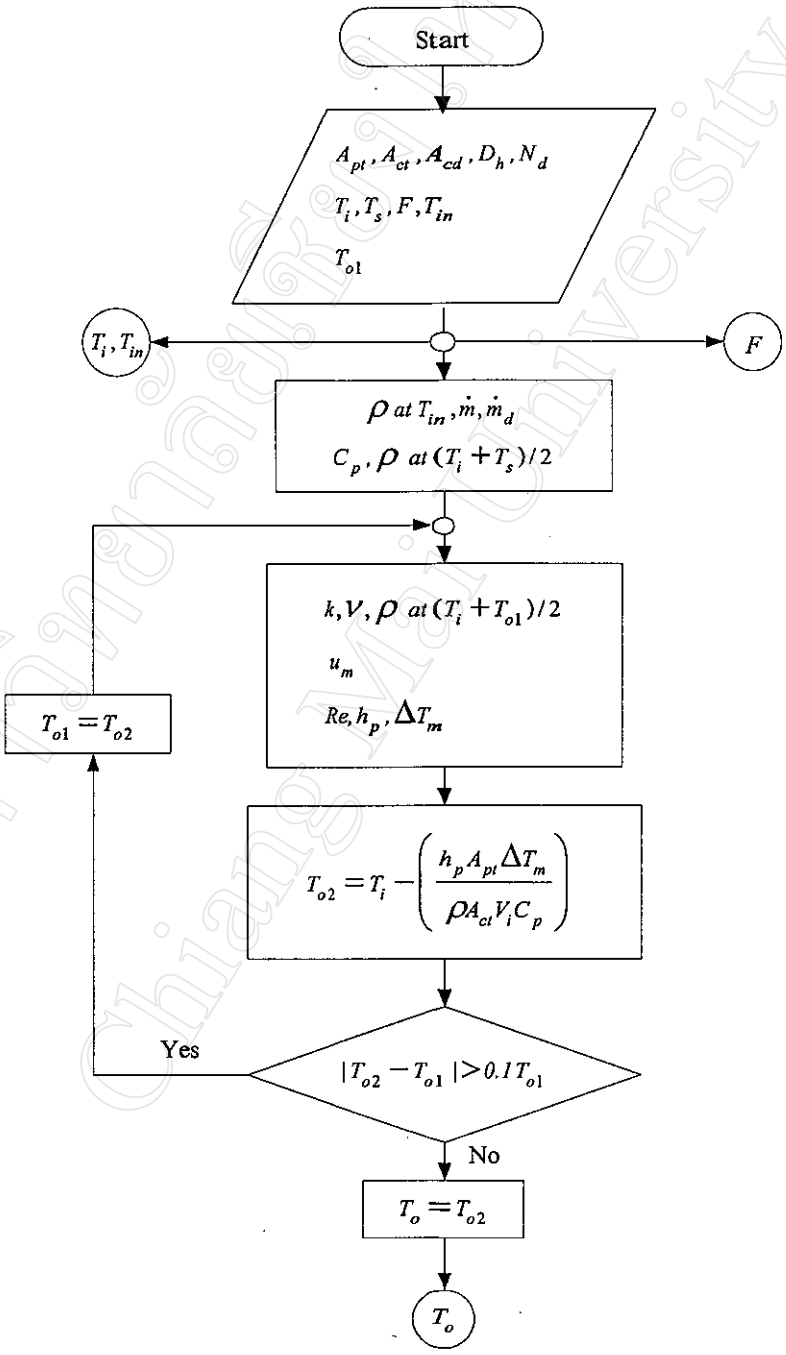
3.2.1.6 หาค่าการนำความร้อน (k) ความหนืดจลนศาสตร์ (ν) ความหนาแน่นโดยมวลของอากาศที่อุณหภูมิ $(T_i + T_{o1})/2$ เพื่อใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงระเหยน้ำ

3.2.1.7 คำนวณความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ไหลในท่อ (u_m)

3.2.1.8 คำนวณ $\mathrm{Re}, h_p, \Delta T_m$

3.2.1.9 คำนวณอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ (T_{o2}) ตามสมการ 2.12 ด้วยวิธีการทำซ้ำ โดยมีเงื่อนไขในการทำซ้ำว่า หากค่าสัมบูรณ์ของผลต่างอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่สมมติ (T_{o1}) มากกว่า 1/10 ของอุณหภูมิที่สมมติขึ้นจะดำเนินการตามหัวข้อ 3.2.1.6-3.2.1.9 ใหม่โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่คำนวณได้ คือ อุณหภูมิสมมติในรอบถัดไป คำนวณจนกว่าเงื่อนไขจะเป็นจริง

3.2.1.10 ได้ผลลัพธ์เป็นอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ (T_o)



รูป 3.8 แผนผังขั้นตอนการคำนวณอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ

3.2.2 แบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลอง เป็นแบบจำลองสภาพที่สร้างขึ้นเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทดลอง โดยจะทำการคำนวณหาอุณหภูมิทุก 5 นาทีเพื่อให้สอดคล้องกับการทดลอง การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศจะพิจารณาจากปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านโรงเรือน ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์และการถ่ายเทความร้อน การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การคำนวณหาปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคาและผนัง การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาและผนังจากการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการคำนวณหาปริมาณความร้อนจากการระบายอากาศ โดยมีสมมติฐานในการศึกษา ดังนี้ ไม่มีการสะสมความร้อนของหลังคาและผนัง ไม่มีการแผ่รังสีความร้อนระหว่างผนังด้านใน และหลังคาด้านในโรงเรือน ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นโรงเรือนกับอากาศภายในโรงเรือน ไม่พิจารณาผลของความเร็วลมตามธรรมชาติต่อการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหลังคาด้านนอกและผนังด้านนอก ไม่มีการรั่วซึม (Infiltration) ของอากาศเข้าโรงเรือน อุณหภูมิ ความเร็ว และความดันอากาศภายในโรงเรือนเท่ากันทุกจุด และการคำนวณหาปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ไม่คิดผลของเวลาสุริยะ (Solar time)

3.2.2.1 การคำนวณหาปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

การหาปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนหลังคา และปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผนัง โดยทั้งสองส่วนมีขั้นตอนการคำนวณที่เหมือนกัน ในที่นี้จะแสดงเฉพาะการคำนวณปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนหลังคาในด้านที่พิจารณา แผนผังขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูป 3.9 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. กำหนดค่าการดูดกลืน (Absorptivity, α_r) มุมเอียงกับแนวระดับ (θ_r) มุมอะซิมุธ (γ_r) ของหลังคา โดยมีค่าเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นลบในทิศตะวันออก และเป็นบวกในทิศตะวันตก ($-180^\circ \le \gamma \le 180^\circ$)

ข. กำหนดวันลำดับที่ของปี (n) ตัวอย่างเช่น 1 กุมภาพันธ์ n เท่ากับ 32 และตำแหน่งเส้นรุ้ง (Latitude, ς) ของจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเท่ากับ 18 องศา 47 ลิปดา เหนือ

ค. กำหนดมุมชั่วโมง (Hour angle, φ) เริ่มต้น และสุดท้าย โดยมีค่า 15° ในแต่ละ 1 ชั่วโมง ที่เวลาเที่ยงสุริยะมีค่าเป็นศูนย์ เวลาเช้ามีค่าเป็นลบ และเวลาบ่ายมีค่าเป็นบวก

ง. กำหนดปริมาณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยรายเดือน ($\overline{H}$) ของจังหวัดเชียงใหม่ จากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (ทนงเกียรติ, 2535)

จ. คำนวณมุมเอียง (Declination angle, δ) และมุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle, φ_S) ตามสมการ 2.38

ฉ. คำนวณปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแนวราบเหนือชั้นบรรยากาศโลก (H_o) ตามสมการ 2.38

ช. คำนวณปริมาณรังสีกระจายรายวันเฉลี่ยรายเดือน ($\overline{H}_d$) ตามสมการ 2.39

ซ. คำนวณค่าคงที่ a, b และ r_t ตามสมการ 2.40

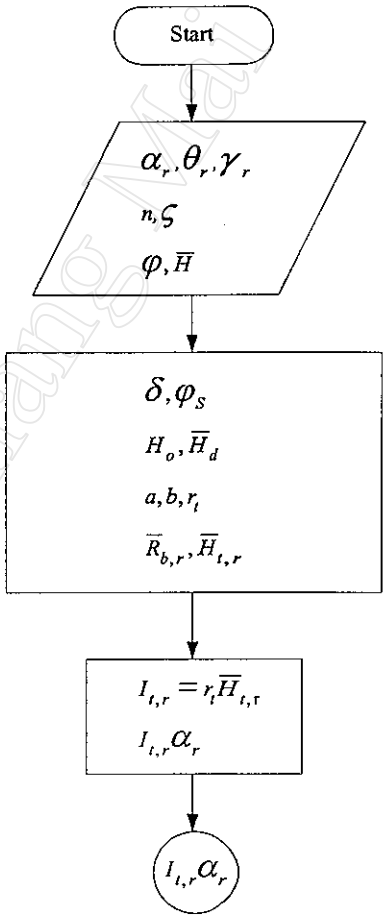
ฌ. คำนวณอัตราส่วนรังสีตรงบนหลังคาต่อรังสีตรงบนพื้นราบ ($\overline{R}_{b,r}$) ตามสมการ 2.43

ญ. คำนวณปริมาณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยรายเดือนบนหลังคา ($\overline{H}_{t,r}$) ตามสมการ 2.42

ฎ. คำนวณปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคา ($I_{t,r}$) ตามสมการ 2.41

ฏ. คำนวณปริมาณความร้อนที่หลังคาดูดกลืนไว้ ($I_{t,r}\alpha_r$)

ฐ. ได้ผลลัพธ์จากการคำนวณเป็นปริมาณความร้อนที่หลังคาในด้านที่พิจารณาดูดกลืนไว้



รูป 3.9 แผนผังขั้นตอนการคำนวณปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

เนื่องจากปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้เป็นปริมาณเฉลี่ยรายชั่วโมง ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนให้เป็นปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ โดยวิธีการสร้างสมการระหว่างความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์กับเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทุก 5 นาทีของแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือน

3.2.2.2 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังและหลังคา

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังและหลังคาในแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์มีหลักการและขั้นตอนการคำนวณเหมือนกัน ในที่นี้จะแสดงเฉพาะการคำนวณส่วนของหลังคาในด้านที่พิจารณา การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาต้องคำนวณหาอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอกด้วยวิธีการทำซ้ำก่อน โดยมีเงื่อนไข คือ ปริมาณความร้อนที่ผิวหลังคาด้านนอกเท่ากับปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคา ขั้นตอนการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูป 3.10 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. กำหนดคุณสมบัติของหลังคา คือ ความยาว (L_r) ความหนา (d_r) พื้นที่ (A_r) มุมเอียงจากแนวระดับ (θ_r) ค่าการนำความร้อน (k_r) ค่าการแผ่รังสี (ε_r) และความเร็วอากาศที่ผิวหลังคา (V_r)

ข. สมมติอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอก (T_{ro}) และอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (T_{in})

ค. คำนวณอุณหภูมิท้องฟ้า (T_{sky}) ตามสมการ 2.17

ง. กำหนดอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอกค่าแรก (T_{ro1}) เท่ากับ T_{ro}

จ. คำนวณสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($h_{rad,ro}$)

ฉ. คำนวณ $\beta, \nu, k, \Pr$ ที่อุณหภูมิ $(T_{ro1}+T_{am})/2$

ช. คำนวณ Gr, Nu สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของหลังคาด้านนอก ($h_{c,ro}$)

ซ. คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหลังคาด้านนอก (Q_{ro1}) ตามสมการ 2.17

ฌ. คำนวณอุณหภูมิผิวหลังคาด้านใน

ญ. คำนวณ $\beta, \nu, k, \Pr$ ที่อุณหภูมิ $(T_{ri}+T_{in})/2$

ฎ. คำนวณ Re, Nu สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของหลังคาด้านใน ($h_{c,ri}$)

ฏ. คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านหลังคา (Q_{ri1})

ฐ. คำนวณผลต่างระหว่าง Q_{ro1} กับ Q_{ri1} (ΔQ_{r1}) โดยมีเงื่อนไข คือ ถ้าค่าสัมบูรณ์ของ ΔQ_{r1} เข้าใกล้ศูนย์จะจบกระบวนการทำซ้ำ โดยได้ปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคา และอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอกและด้านใน แต่ถ้าผลต่างไม่เป็นไปตามที่กล่าวมาจะดำเนินการตามข้อ ฑ ต่อไป

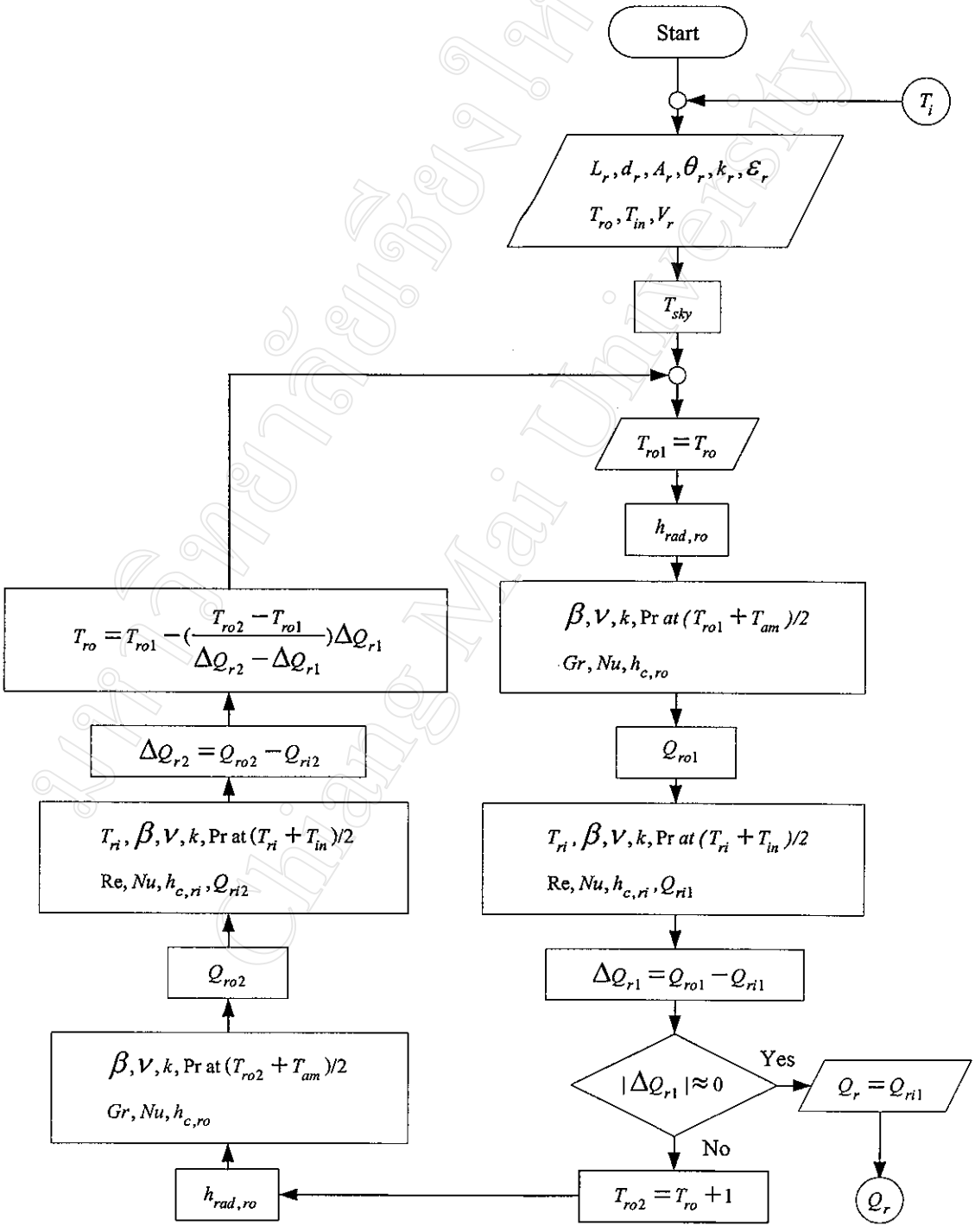
ฑ. กำหนดอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอกค่าที่สอง (T_{ro2}) เท่ากับ $T_{ro}+1$

ฒ. ใช้ T_{ro2} ดำเนินการเหมือนข้อ จ-ฐ โดยได้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็น ΔQ_{r2}

ณ. นำ ΔQ_{r1}, ΔQ_{r2} และ T_{ro1}, T_{ro2} ทำการคำนวณ T_{ro} ค่าใหม่ที่ให้ $\Delta Q_r = 0$

ด. ดำเนินการซ้ำตามข้อ ง-ฐ ใหม่จนกว่าเงื่อนไขจะเป็นจริง

ต. ได้ผลลัพธ์การคำนวณเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาด้านที่พิจารณา (Q_r)



รูป 3.10 แผนผังขั้นตอนการคำนวณปริมาณความร้อนผ่านหลังคา

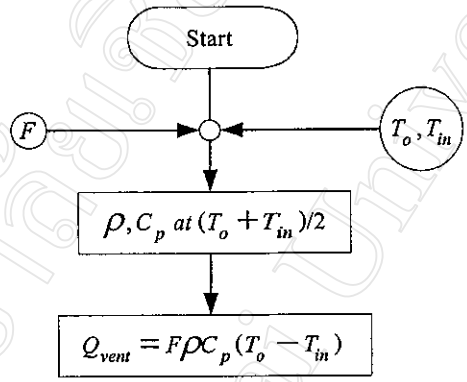
3.2.2.3 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศ (Q_{vent})

นำอุณหภูมิอากาศที่ผ่านแผงระเหยน้ำในหัวข้อ 3.2.1 และอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก. คำนวณความหนาแน่นโดยมวล ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศที่อุณหภูมิ $(T_o + T_{in})/2$

ข. คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศ ตามสมการ 2.21

สามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนการคำนวณดังนี้



รูป 3.11 แผนผังขั้นตอนการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศ

จากปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาและผนังในแต่ละด้าน และอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศ นำไปหาอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านโรงเรือนทั้งหมด และคำนวณหาอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทุก 5 นาที ตามสมการ 2.23

3.2.3 แบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกร

แบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นแบบจำลองสภาพที่สร้างขึ้นเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรจริง มีขั้นตอนการคำนวณเหมือนกับแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลอง แต่จะแตกต่างกันในส่วนของทฤษฎีและสมมติฐาน ดังนี้ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวหลังคาด้านนอกจะพิจารณาหลังคาเป็นระนาบเอียง ปริมาณความร้อนที่ผ่านโรงเรือนจะมีผลของความร้อนจากสุกรในโรงเรือนโดยมีความร้อนเท่ากับ 475 จูลต่อชั่วโมงต่อตัว (Watt *et al.*, 1986) ไม่พิจารณาผลของปริมาณความร้อนที่ลดลงเนื่องจากการติดตั้งเพดาน และการบังแดดของหลังคาต่อผนัง

ลักษณะโรงเรือนเลี้ยงสุกรในแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ เป็นโรงเรือนแบบปิด กว้าง 12 เมตร ยาว 75 เมตร ส่วนสูงเสาริม 3 เมตร ส่วนสูงเสากลางถึงจั่ว 6 เมตร ทิศทางโรงเรือนวางตามแนว ตะวันออก-ตะวันตก (อภิชัย, 2544) มีจำนวนสุกรในโรงเรือน 600 ตัว (เสริมศักดิ์, 2541) สถานที่ตั้งของโรงเรือนอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยโปรแกรมแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์แสดงในภาคผนวก ค

คุณสมบัติต่างๆ ของหลังคา และผนังที่ใช้ในแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลองและโรงเรือนเลี้ยงสุกร แสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 คุณสมบัติของหลังคา และผนังในแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนทดลอง และโรงเรือนเลี้ยงสุกร

คุณสมบัติ	แบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์			
	โรงเรือนทดลอง		โรงเรือนเลี้ยงสุกร	
	หลังคา	ผนัง	หลังคา	ผนัง
วัสดุ	แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี	แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี	กระเบื้องลอนคู่	อิฐบล็อก
พื้นที่/ด้าน (m^2)	1.44	1.44 (2 ด้าน) 1.13 (1 ด้าน)	503.25	225
ความหนา (cm)	0.075	0.075	0.4	7
มุมเอียงจากแนวระดับ (องศา)	0	90	26.57	90
k (W/m.K)	112.2 (20°C)	112.2 (20°C)	0.836	0.69 (20°C)
ε	0.23 (23°C)	0.23 (23°C)	0.9 (300 K)	0.75
α	0.55 (อุณหภูมิห้อง)	0.55 (อุณหภูมิห้อง)	0.5	0.26 (อุณหภูมิห้อง)