บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการวิจัยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนสำหรับประหยัดพลังงานในกระบวนการอบแห้งสมุนไพรผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 ท่อความร้อน

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

2.4 ค่าความชื้นของวัสดุ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

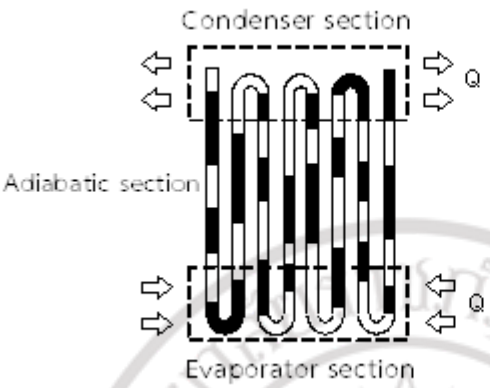
2.1 ท่อความร้อน

ท่อความร้อนมีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองข้าง ภายในบรรจุสารทำงานสำหรับการถ่ายโอนทางความร้อน ด้านหนึ่งของท่ออยู่ในบริเวณแหล่งความร้อนหรือที่มีอุณหภูมิสูง อีกด้านหนึ่งอยู่ในบริเวณที่ต้องการความร้อนหรือด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ท่อจะอยู่แนวดิ่งหรือเอียงจากด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ามาสู่ด้านที่มีอุณหภูมิสูง ท่อความร้อนอาศัยหลักการถ่ายโอนทางความร้อนโดยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อที่ส่วนล่างของท่อ สารทำงานสถานะของเหลวเมื่อได้รับความร้อนที่ส่งผ่านผนังท่อจากแหล่งความร้อนและจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอลอยขึ้นสู่ส่วนบนของท่อ ที่ส่วนบนไอของสารทำงานจะคายความร้อนให้กับบริเวณที่ต้องการความร้อนผ่านผนังท่อและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเกาะผนังท่อและไหลกลับมาสู่ส่วนล่างของท่อด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก จากนั้นก็จะรับความร้อนแล้วเปลี่ยนสถานะเป็นไอลอยขึ้นวนเวียนไปตลอดเวลาที่มีความแตกต่างด้านอุณหภูมิ เพื่อให้การถ่ายโอนทางความร้อนที่ดี ท่อที่ใช้ส่วนใหญ่จึงเป็นท่อทองแดงเพราะมีค่าการนำความร้อนสูง ส่วนสารทำงานอาจจะเป็นน้ำหรือน้ำยาทำความเย็นชนิดใดก็ได้ตามความเหมาะสม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะจะต้องมีการถ่ายโอนทางความร้อนแฝงซึ่งมีปริมาณความร้อนสูง การถ่ายโอนทางความร้อนจึงขึ้นอยู่กับการหมุนเวียนของสารทำงานภายในท่อความร้อน

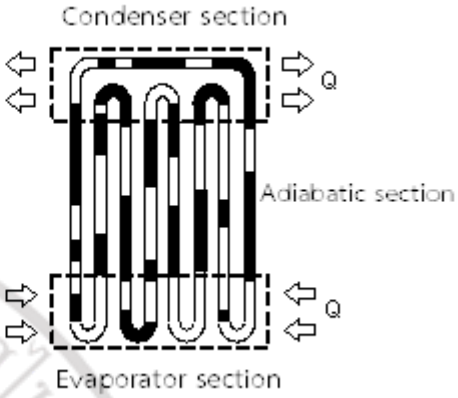
2.1.1 ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe, OHP)

ท่อความร้อนชนิดนี้สามารถถ่ายโอนความร้อนได้ดี โดยใช้หลักการของคาปิลลารีที่และทำให้ท่อมีลักษณะโค้งตามรูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.1

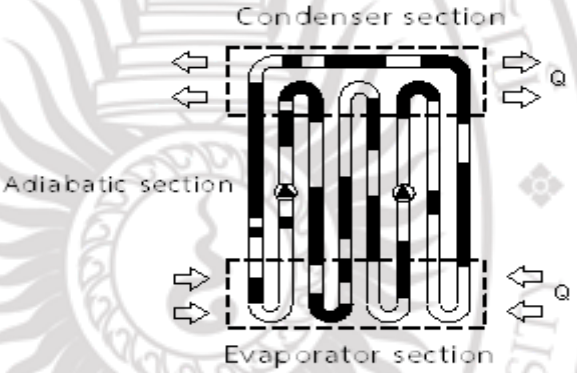
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ก.ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (CEOHP)



ข.ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (CLOHP)



ค.ท่อความร้อนชนิดสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

ภาพที่ 2.1 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น (OHP)

1. ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (CEOHP) ทำขึ้นมาจากท่อความร้อนแบบคาพิลลารีที่ทำปลายปิดทั้งสองข้าง โดยไม่มีเช็ควาล์วและไม่เป็นวงรอบ ดังแสดงใน ภาพที่ 1 (ก)

2. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (CLOHP) เป็นท่อที่อาศัยแรงคาพิลลารียาวและถูกทำให้โค้งตามรูปร่าง เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนก็จะเกิดการเดือดและเคลื่อนที่ของฟองไอภายในทำให้คล้ายกับลักษณะการสั่นเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข)

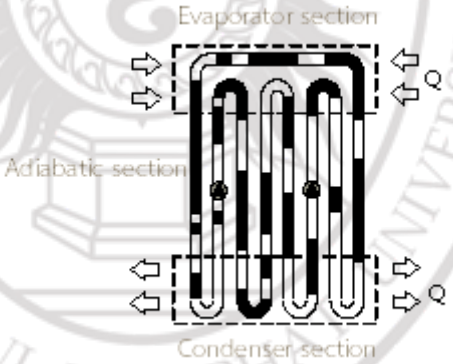
3. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ทำขึ้นมาจากท่อคาพิลลารี่ยาวที่ถูกขดเป็นการพัฒนามาการท่อความร้อนแบบสั่นจะเพิ่มขึ้นมาในส่วนของเช็ควาล์ลให้การกำกับทิศทางการไหลให้ไปในทิศเดียวกัน ซึ่งทำหน้าที่พาความร้อนไหลเวียนอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 1 (ค)

หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe, OHP)

ท่อความร้อนแบบสั่น เมื่อได้รับความร้อนซึ่งอยู่ในสภาวะของเหลวอิ่มตัวเกิดการเดือดแบบฟอง เป็นก้อนของเหลวและจากนั้นจะกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ซึ่งส่วนควบแน่นจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

ท่อความร้อน (CLOHP/CV) มีหลักการทำงานคล้ายกับการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ คือ มีลักษณะเป็นระบบปิด ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Le) ส่วนกันความร้อน (La) และส่วนควบแน่น (Lc) ดังแสดงในภาพที่ 2 เมื่อสารทำงานถูกบรรจุลงในท่อความร้อน (CLOHP/CV) ที่ทำมาจากท่อคาพิลลารี่ ซึ่งภายในท่อถูกทำให้เป็นสุญญากาศ สารทำงานที่อยู่ในสภาวะของเหลวอิ่มตัวจะได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหยที่ถูกติดตั้งอยู่ด้านล่างส่วนควบแน่นจะเกิดการเดือดแบบฟอง และรวมตัวกันเป็นก้อนไอ (Vapor,plug) เคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ก้อนไอก็จะควบแน่น และยุบตัวลง ดังนั้นสารทำงานที่เป็นก้อนไอจึงสามารถถ่ายโอนความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกปลายด้านหนึ่งของท่อได้ โดยอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวตลอด เนื่องจากถูกบังคับทิศทางการไหลโดยวาล์วกันกลับ เป็นผลให้สารสารทำงานสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นทำให้สามารถถ่ายโอนความร้อนได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสั่นชนิดอื่น



ภาพที่ 2.2 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV)

คุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ เมื่อให้ความร้อนเข้าไปยังส่วนทำระเหย สารทำงานจะรับความร้อน และก่อตัวเป็นก้อนไอ ก้อนของเหลวแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ของเหลวไปยังส่วนควบแน่น ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนขึ้น ในการหาค่าการถ่ายโอนความร้อนไปยังส่วนควบแน่นคำนวณจากวิธี Calorimeter โดยการความร้อนทางเข้าและทางออกของส่วนควบแน่น จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Q = \dot{m} C_p \left(T_{out} - T_{in} \right) \tag{2.1}$$

เมื่อ

Q คือ ค่าการถ่ายโอนพลังงานความร้อน (W)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน (J/kg $^{\circ}$C)

T_{out} คือ อุณหภูมิของสารรับความร้อนขาออกของส่วนควบแน่น ($^{\circ}$C)

T_{in} คือ อุณหภูมิของสารรับความร้อนขาเข้าของส่วนควบแน่น ($^{\circ}$C)

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงผลของอัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหน่วยพื้นที่จึงต้องแสดงผลในรูปของอัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (q)

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \qquad (2.2)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

Q คือ ค่าการถ่ายโอนความร้อน (W)

D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (m)

L_c คือ ความยาวในส่วนควบแน่น (m)

N คือ จำนวนแท่งของท่อความร้อนในส่วนควบแน่น

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนซึ่งการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของก้อนของเหลว และฟองไอภายในท่อความร้อนซึ่งการเคลื่อนที่ดังกล่าวเกิดขึ้นจากแรงตึงผิวของก้อนของเหลว และความดันไอของฟองไอ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในส่วนของทฤษฎี และการที่จะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวแบบสลับกันไประหว่างก้อนของเหลวและฟองไอภายในท่อความร้อนชนิดสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับได้นั้น เส้นผ่านศูนย์กลางท่อจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะทำให้แรงตึงผิวของก้อนของเหลวสามารถยึดก้อนของเหลวไว้กับผิวท่อได้การคำนวณหาขนาดท่อดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการ (Maezawa et al, 1996 :791-795)

$$Di \le 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \qquad (2.3)$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.2. ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ส่วนมากแล้วได้ รับมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และ การแผ่รังสีแต่โดยทั่วไปแล้วจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้ง

โดยทั่วไปมักอาศัยอากาศร้อนในการอบแห้ง ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มขันของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนไป กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มขันของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลงความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540 :104-123)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งมีดังนี้ (วิไล รังสาดทอง, 2547 : 229)

1. ธรรมชาติของวัสดุ วัสดุเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนของน้ำภายในวัสดุแบบผ่านแคบ ซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในวัสดุเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าวัสดุที่มีเนื้อแน่น วัสดุที่มีน้ำตาลสูงจะมีความเหนียวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า ส่วนวัสดุที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งเร็วกว่า

2. ขนาดและภาพประกอบร่าง ขนาดและภาพประกอบร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักเช่น ภาพประกอบร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้ง ๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3. ตำแหน่งของวัสดุในเตา น้ำในวัสดุที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

5. อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อช่วงการทำแห้งลดลงด้วย

6. ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น

2.4 ความชื้นของวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_d = \left(\frac{w-d}{d} \right) \qquad (2.4)$$

เมื่อ M_w คือความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis)
W คือ มวลของวัสดุ kg
D คือ มวลวัสดุแห้ง kg

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w-d}{d} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ

M_w คือความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis)
W คือ มวลของวัสดุ kg
D คือ มวลวัสดุแห้ง kg

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์และคนอื่นๆ (2553 : 40) ศึกษาถึงการลดการใช้พลังงานในส่วนของการทำความร้อนของฮีทเตอร์สำหรับเครื่องอบลมร้อน พบว่า ภายในตู้อบผลิตภัณฑ์มีการกระจายอุณหภูมิได้ดี สามารถช่วยลดพลังงานความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบลมร้อนแบบธรรมดาได้เฉลี่ย 46.24 % และเมื่อมีการเพิ่มความเร็วลมที่ใช้พบว่าการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่ทำการทดสอบ

อนุชา คินิมาน และคณะ (2555 : 57-59) ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนชนิดสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่โมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบนสำหรับอบแห้งพริก โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มีความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นเท่ากับ 0.05 เมตร ในการทดลองจะใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่วนระเหย3 ค่า คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อนขาเข้าส่วนทำระเหย และความเร็วลมขาเข้าส่วนควบแน่น 3 ค่า คือ 0.5, 0.75 และ 1 เมตร/วินาที สารทำงาน 3 ค่า คือ น้ำ R123และ Ethanol ที่อัตราการเติมสาร 50% โดยปริมาตรรวม จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการอบพริกให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 14 (มาตรฐานแห้ง) ค่าการถ่ายโอนความร้อน และค่าประสิทธิผลสูงสุดได้จากสารทำงาน R123 ที่ความเร็วลมร้อน 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่วนทำระเหย80 องศาเซลเซียส คือ 60.15 วัตต์ และ 0.1 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการอบแห้งพริกน้อยที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมง 20 นาที

นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์ และ คณะ (2547 : 83-87) ศึกษาถึงผลของมุมเอียงและจำนวนวาล์วกันกลับที่มีต่อลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ จาการทดลองพบว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ 2 ชุดให้ปริมาณการถ่ายโอนความ

ร้อนสูงที่สุดที่มุม 90 องศาและมุมเอียงการทำงานที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับทำงานได้ดีคือมุม 60-90 องศา ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ 8 และ 10 ชุด การถ่ายโอนความร้อนจะทำได้ไม่ดีที่มุม 90 องศาแต่จะสามารถทำงานได้ดีขึ้นเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลง

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นว่าการติดตั้งท่อความร้อนจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งได้เพิ่มขึ้น การเก็บรักษาและการแปรรูปสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคสะเก็ดเงิน ที่ศูนย์รักษาโรคสะเก็ดเงิน จังหวัดจันทบุรี โดยใช้วิธีการอบแห้งซึ่งมีการใช้ตู้อบความร้อนที่ติดตั้งท่อความร้อนและดึงพลังงานความร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยคำนึงถึงความประหยัด ความสะอาดของสมุนไพร ผลกระทบจากการใช้งานพลังงาน และระยะเวลาที่มีผลต่อการอบแห้งซึ่งจะส่งผลต่อการเตรียมยารักษาผู้ป่วย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี