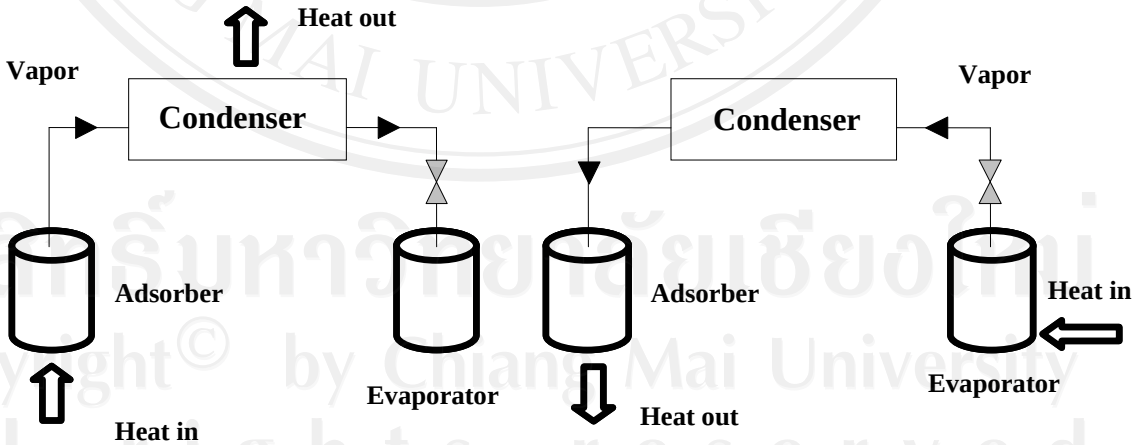
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย

การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ อาจกล่าวได้ว่ามีอัตราส่วนการใช้พลังงานสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในกิจกรรมอื่นๆ โดยในอาคารธุรกิจ พบว่ามีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงถึง 60% ดังนั้นมาตรการในการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะต้องศึกษา รวมทั้งนำมาใช้ให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในทางปฏิบัติ

ระบบทำความเย็นแบบดูดซับ (Adsorption Cooling System) เป็นระบบปรับอากาศประเภทหนึ่งที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอ (Vapor Compression System) ซึ่งนิยมใช้กันในปัจจุบัน ระบบทำความเย็นแบบดูดซับจะใช้คู่สารทำงานที่มีตัวดูดซับในสถานะของแข็ง ซึ่งเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) และ สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารทำความเย็น

ในการทำงานของระบบ จะแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ กระบวนการคายสารดูดซับ (Desorption Process) และกระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) การทำงานเบื้องต้นของระบบทำความเย็นแบบดูดซับสามารถแสดงดังรูปที่ 1.1



a) Desorption Process b) Adsorption Process

รูปที่ 1.1 แผนภาพอย่างง่ายแสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 1.1 การทำงานของระบบเริ่มขึ้นเมื่อเครื่องดูดซับ (Adsorber) ที่ภายในบรรจุคู่สารดูดซับได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน ทำให้สารทำความเย็นที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวสารดูดซับเกิดการระเหยออกจากเครื่องดูดซับ มาแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารถ่ายโอนความร้อนและควบแน่นภายในเครื่องควบแน่น และไหลผ่านวาล์วไปเก็บไว้ในเครื่องทำระเหย ดังรูปที่ 1.1 (a) เรียกกระบวนการนี้ว่า การคายสารดูดซับ (Desorption Process) จากนั้นจะระบายความร้อนออกจากเครื่องดูดซับทำให้อุณหภูมิของเครื่องดูดซับลดต่ำลงเช่นเดียวกับความดันของระบบ สารทำความเย็นภายในเครื่องทำระเหยจะเกิดการระเหยตัวกลับมาดูดซับบนผิวของสารดูดซับภายในเครื่องดูดซับอีกครั้ง ดังรูปที่ 1.1 (b) กระบวนการนี้เรียกว่า การดูดซับ (Adsorption Process) ซึ่งการระเหยของสารทำความเย็นภายในเครื่องทำระเหยเกิดจากการดึงความร้อนภายในส่วนทำความเย็นเพื่อใช้เป็นความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เป็นผลให้อุณหภูมิภายในส่วนทำความเย็นลดต่ำลง

อนึ่งในระหว่างคายสารดูดซับ จะต้องป้อนพลังงานความร้อนจากภายนอกเข้าสู่สารดูดซับ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของสารดูดซับเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันในกระบวนการดูดซับ อุณหภูมิของสารดูดซับต้องมีค่าต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้สมรรถนะของการดูดซับเพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเพียงอย่างเดียวในการระบายความร้อน พบว่าไม่สามารถระบายความร้อนออกจากสารดูดซับได้อย่างทันท่วงที ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ของวัฏจักรการทำงานมาก

หนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาคือ การใช้ระบบระบายความร้อนร่วม (Combined Heat Exchanger System) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในกรณีของ การระบายความร้อนโดยใช้น้ำร่วมกับท่อความร้อน ซึ่งท่อความร้อนที่เลือกใช้จะเป็นชนิดสั่นแบบวงรอบ (Closed Loop Oscillating Heat Pipe) โดยอุปกรณ์ที่เลือกใช้สามารถระบายความร้อนจากภายในเครื่องดูดซับได้อีกทางหนึ่ง และมีจุดเด่นที่เหนือกว่าท่อความร้อนแบบปกติคือ มีสมรรถนะสูง และสามารถดัดแปลงเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย เหมาะแก่การติดตั้งภายในชุดสารดูดซับ ซึ่งมีพื้นที่ในการติดตั้งจำกัด

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของระบบ และได้เปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำเพียงอย่างเดียว ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยคาดว่าสามารถนำมาใช้เป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญ ของการพัฒนาระบบทำความเย็นแบบดูดซับของประเทศไทยต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นร่วมกับการใช้น้ำในการระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นเรื่องใหม่ ที่ยังไม่มีข้อมูลผลการวิจัยที่เด่นชัดนัก ดังนั้น สาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะกล่าวถึงเพียงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนในการระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ และงานวิจัยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ดังต่อไปนี้

1.2.1 การใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ

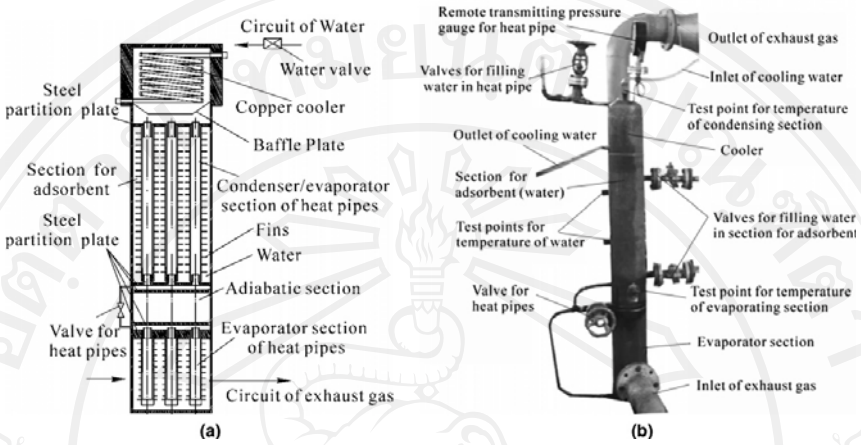
Wang et al. (2005) ได้สร้างระบบดูดซับสำหรับทำน้ำแข็งในเรือหาปลาชนิดหนึ่งขึ้น โดยเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ผสมกับแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เป็นสารดูดซับ และใช้แอมโมเนียเป็นสารถูกดูดซับ การทดลองนี้ได้นำท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเข้ามาช่วยระบายความร้อน ทั้งในส่วนให้ความร้อนและส่วนระบายความร้อนโดยมีวาล์วสำหรับควบคุมทิศทางการไหลของสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ในช่วงให้ความร้อน วาล์วของท่อความร้อนจะถูกเปิด และวาล์วของน้ำหล่อเย็นจะปิด และในทางกลับกัน เมื่อถึงช่วงที่ต้องระบายความร้อน วาล์วของท่อความร้อนจะปิดและวาล์วน้ำหล่อเย็นจะถูกเปิด พบว่าท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้ดี มีค่าภาระการทำความเย็นประมาณ 17.1 kW ถึง 17.8 kW อุณหภูมิที่เครื่องควบแน่นที่ทำได้คือ -15 ^{o}C เวลาทำงานของวัฏจักรประมาณ 10 นาที

Chen et al. (2006) ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเข้ากับระบบดูดซับ ที่ใช้ในระบบผลิตน้ำแข็งสำหรับเรือหาปลา โดยนำท่อความร้อนมาเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนแก่ถังปฏิกิริยา และใช้น้ำทะเลระบายความร้อนออกจากท่อความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นที่มีการทำงานที่ต่อเนื่องมีค่า Specific Cooling Power (SCP) เท่ากับ 521.3 W/kg แต่อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำทะเลเข้ามาระบายความร้อน ก่อให้เกิดการกัดกร่อนสูง

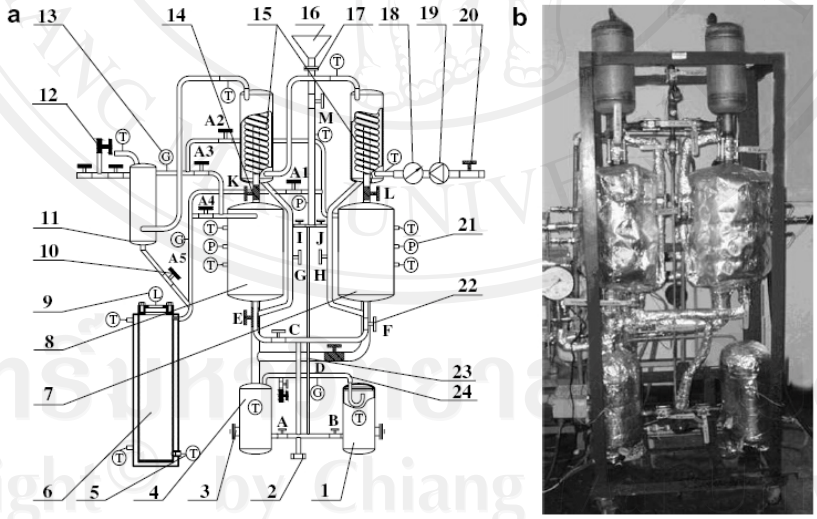
ในปีต่อมา Wang et al. (2007) ทำการออกแบบและศึกษาผลที่ได้จากการนำท่อความร้อน 2 ชนิดใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซับในเรือหาปลา ซึ่งชุดแรกนั้นจะเป็นท่อความร้อนแบบแยกส่วนสำหรับให้ความร้อนแก่ถังปฏิกิริยาในกระบวนการคายสารที่ถูกดูดซับ และอีกชุดจะเป็นท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสำหรับระบายความร้อนของถังปฏิกิริยาในช่วงดูดซับสาร ซึ่งท่อความร้อนในส่วนนี้มีการติดตั้งที่บริเวณภายนอกของถังเก็บสารดูดซับ ในช่วงของการระบายความร้อนนี้ท่อความร้อนจะเป็นตัวพาความร้อนจากบริเวณถังปฏิกิริยาขึ้นไปด้านบน ที่ได้มีการติดตั้งท่อที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานสำหรับส่วนควบแน่น ทำให้ไอน้ำควบแน่น กลายเป็นน้ำกลับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลงมาด้านล่าง จากนั้นก็จะระเหยกลายเป็นไออีกครั้งเป็นวัฏจักร ดังแสดงในรูปที่ 1.4 สำหรับการทดลองนี้ ได้ค่า COP เท่ากับ 0.38 มีช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสมที่สุด 720 นาที

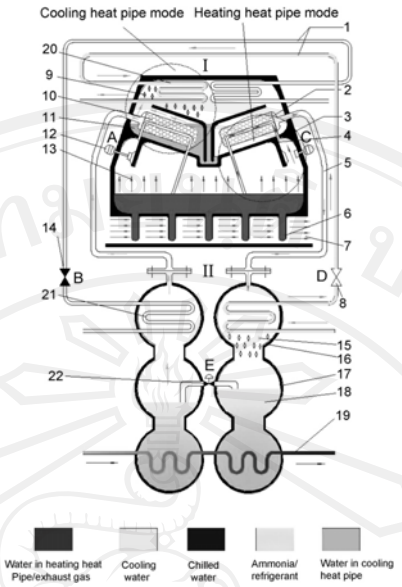


รูปที่ 1.2 ระบบดูดซับที่ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน
(a) โครงสร้างของระบบ และ (b) ภาพถ่ายระบบทดลอง (Wang et al, 2005)

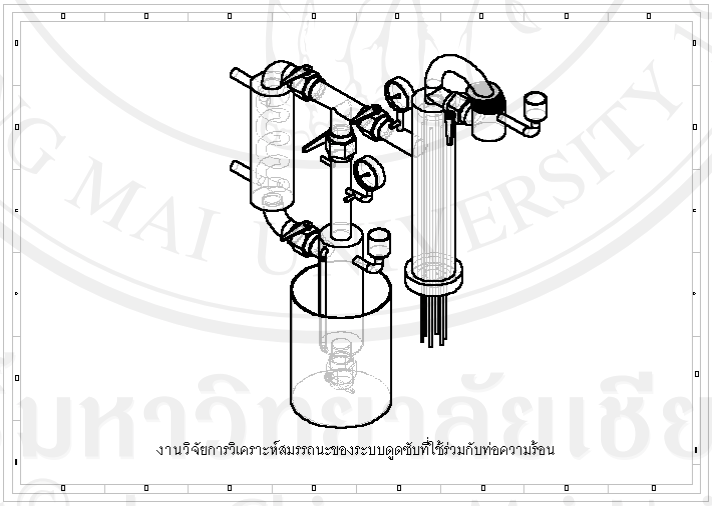


รูปที่ 1.3 การนำท่อความร้อนแบบแยกส่วนมาประยุกต์ใช้งานระบบดูดซับ
(Chen et al., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 1.4 การนำท่อความร้อน 2 ชนิดใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซับในเรือหาปลา (Wang et al., 2007)



รูปที่ 1.5 ระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับเทอร์โมไฟอน (ยิ่งลักษณ์, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยิ่งลักษณ์ (2549) ทำการออกแบบ ทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับท่อความร้อน โดยเครื่องดูดซับมีการติดตั้งชุดท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน 2 ชุด เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนและระบายความร้อนออกจากเครื่องดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ทำอุณหภูมิได้ต่ำสุด 5^{o}C และค่า COP เท่ากับ 0.5 นอกจากนี้จากการเพิ่มอุณหภูมิชุดเทอร์โมไซฟอนจาก 90^{o}C เป็น 100^{o}C พบว่าปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น 15% เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการคายสารถูกดูดซับ

Wang (2008) ได้รวบรวมผลการศึกษาระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับท่อความร้อน พบว่าคู่สารทำงานที่นิยมนำมาใช้ในระบบคือ ถ่านกัมมันต์กับเมทานอล ซึ่งการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ กำลังได้รับความสนใจ เนื่องมาจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง หาง่ายและผลิตได้เองในประเทศไทย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้คู่สารทำงาน คือ ถ่านกัมมันต์และเมทานอล โดยผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองผลิตจากถ่านหิน

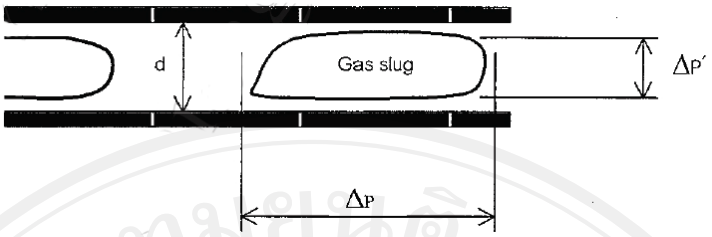
1.2.2 การประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่น

ท่อความร้อนแบบสั่น เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอีกชนิดหนึ่งที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เนื่องจากสารมารถเปลี่ยนสารทำงานภายในได้ เพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวได้ อีกทั้งยังสามารถดัดงอ ใช้ได้หลายรูปแบบ ทำให้ท่อความร้อนชนิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย

Akachi (1996) กล่าวถึงหลักการทำงานเบื้องต้นของ OHP (Oscillating Heat Pipes) โดยเกิดจากการส่งถ่ายความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนไปยังแหล่งรับความร้อน โดยความร้อนจะถูกส่งผ่านโดยการสั่น (Oscillation) ในทิศทางตามแนวแกนท่อตามยาว

Maesawa et al. (1996) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารี่ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวทั้งหมด 20 โค้งเลี้ยว สารทำงานที่ใช้คือ R142b ผลจากการศึกษาคือ ท่อเทอร์โมไซฟอนมีการส่งถ่ายความร้อนโดยการสั่น ซึ่งเป็นผลมาจากการเดือดเป็นฟองของสารทำงาน โดยฟองนั้นจะเกิดในส่วนของท่อในส่วนทำระเหย และจะสลายไปเมื่อไปอยู่ในท่อส่วนควบแน่น พบว่าการเกิดปรากฏการณ์แบบนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อน อัตราการเติมสารทำงาน สภาวะการทำงาน (Heating Mode) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และจำนวนรอบของการขดไปมา ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะเป็นตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบโดยมีเมทานอลเป็นสารทำงานในการทดสอบนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 1.6 การไหลแบบ Slug ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารี่ (Maesawa et al. 1996)

Piyanun et al. (2003) ศึกษาเชิงทดลองถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนและปรากฏการณ์การไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ หรือที่เรียกว่า CLOHP (Closed Loop Oscillating Heat Pipes) ที่ทำมาจากท่อทองแดง โดยทดสอบด้วยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03, 1.06 และ 0.66 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหยขนาด 50, 100 และ 150 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวที่แปรเปลี่ยนจาก 5 ถึง 23 ของไหลทำงานคือ น้ำ, เอทานอล และ R123 อัตราการเติมสารที่ 50 % ของปริมาตรโดยรวมของท่อ ซึ่งผลการทดลองเชิงคุณภาพนี้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของความโน้มถ่วงของโลก จำนวนโค้งเลี้ยว และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผ่านได้อย่างมาก และ Piyanun et al. (2003) ได้วิจัยศึกษาหาตัวแปรสำคัญในการทดลองท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งผลการทดลองส่วนหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับมุมของท่อความร้อนได้ผลการทดลองดังรูปที่ 1.7 แสดงให้เห็นว่าที่มุมระนาบเท่ากับ 0 องศา ท่อความร้อนสามารถทำงานได้ แต่ต้องอยู่ในเงื่อนไขที่ว่า จำนวนโค้งเลี้ยวที่ใช้ต้องมากกว่าจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤต

จากงานวิจัยข้างต้นได้สอดคล้องกับการทดลองแบบจำลองการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดและแบบสั่นวงรอบ (พฤทธ์, 2545) ที่ได้มีการทำนายแนวโน้มการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่น โดยสร้างจากแบบจำลองที่มีการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณและประมวลผล พบว่า เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มมากขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ผิวให้ความร้อนจะมีค่าคงที่ เนื่องจากความสมมาตรภายในท่อความร้อน ขณะที่อัตราการถ่ายเทความร้อนจะมีค่ามากขึ้น สารทำงานเอทานอล R123 และน้ำ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ผิวให้ความร้อนจากมากไปหาน้อยตามลำดับ และนอกจากนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ผิวให้ความร้อนจะแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ และแปรผกผันกับความยาวส่วนทำระเหย

จากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น พบว่าท่อความร้อนแบบสั่นเป็นอุปกรณ์ที่มีสมรรถนะในการระบายความร้อนสูง และยังสามารถดัดแปลงเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ โดยมิได้จำกัดทิศทางการไหลของสารทำงานเหมือนกับท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้น การประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่น สำหรับการระบายความร้อนออกจากสารดูดซับร่วมกับการใช้น้ำ เป็นสิ่งที่น่าสนใจ และควรแก่การศึกษา เพราะเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบทำความเย็นแบบดูดซับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ออกแบบ สร้าง ทดสอบ และศึกษาสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed Loop Oscillating Heat Pipe, CLOHP) เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนร่วมกับน้ำ

1.3.2 สร้างแบบจำลองทางการทดลอง (Empirical Modeling) เพื่อทำนายสภาวะการทำงานของระบบดูดซับเพื่อการทำความเย็นที่ใช้ CLOHP

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

(1) ระบบดูดซับแบบของแข็งเพื่อทำความเย็น ทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง

(2) สารดูดซับ (Adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ทำจากถ่านหิน

(3) สารถูกดูดซับ (Adsorbate) คือ เมทานอล

(4) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (CLOHP) ทำจากท่อทองแดง เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร

(5) ใช้เมทานอลเป็นสารทำงานในท่อความร้อน

(6) สภาวะการทำงานที่กำหนดและใช้ในการทดสอบมีดังนี้

ก. แหล่งให้ความร้อนของเครื่องดูดซับ ช่วงอุณหภูมิ 90-95 ^{o}C

ข. อุณหภูมิของเครื่องดูดซับช่วงการคายสารดูดซับ ช่วงอุณหภูมิ 70 – 90 ^{o}C

ค. แหล่งระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น ช่วงอุณหภูมิ 5-15 ^{o}C

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง และเป็นแนวทางการพัฒนาระบบทำความเย็นแบบดูดซับ ที่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเข้ามาเป็นส่วนประกอบของระบบ

1.5.2 แบบจำลองทางการทดลอง สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำนายพฤติกรรมการทำงานของวัฏจักรทำความเย็นแบบดูดซับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved