

การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนในประเทศไทย Heat Pipe and Thermosyphon Applications in Thailand

สกุศลตา วรณปะเข*
Sakultala Wannapakhe*

บทคัดย่อ

ท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงและทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ด้วยข้อดีหลายประการจึงทำให้นักวิจัยได้ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนในการแลกเปลี่ยนความร้อนและช่วยประหยัดพลังงาน สำหรับประเทศไทยนั้นปัจจุบันได้เริ่มมีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนมากขึ้น โดยท่อความร้อนนั้นมีความเกี่ยวข้องกับหลายประเภทซึ่งแต่ละประเภทถูกออกแบบเพื่อให้สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีที่สุดและเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน การประยุกต์ใช้งานในประเทศไทยนั้นส่วนมากจะถูกประยุกต์ใช้เพื่อช่วยประหยัดพลังงานในการถ่ายเทความร้อนและช่วยกระจายความร้อนเป็นต้น เช่น การประยุกต์ใช้ในเตาอบ การประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้ง เครื่องทำน้ำอุ่นจากแสงอาทิตย์ การประยุกต์ใช้ระบายความร้อนในคอมพิวเตอร์ และนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วยังได้มีการประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนอีกหลากหลายงาน ซึ่งในการประยุกต์ใช้งานท่อความร้อนนั้น พบว่าท่อความร้อนสามารถช่วยประหยัดพลังงานความร้อนและช่วยในการกระจายความร้อนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ท่อความร้อน ฮีทไพป์ เทอร์โมไซฟอน
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Abstract

Heat pipe and thermosyphon are heat transfer devices with high performance of heat transfer and heat exchanger without the use of energy from outside. With many advantages of heat pipe, researchers have applied these devices for using in heat exchange and energy saving. Nowadays, in Thailand heat pipe has been widely applied to suit various types of work. There are several types of heat pipe designed for the highest effective heat transfer such as oven application, drying process, solar water heater, and heat sinks in a computer

Keywords: Heat Pipe, Thermosyphon, Heat Exchanger

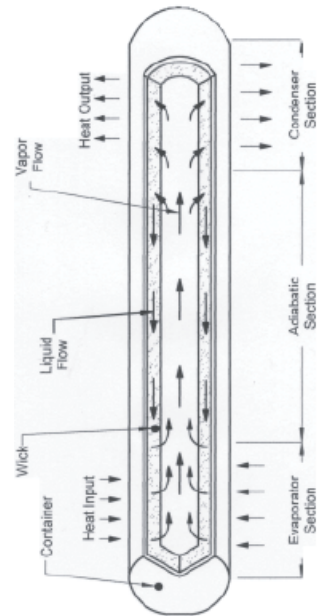
1. บทนำ

ท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งโดยมีหลักการ

* อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี Tel. 0-3721-7327, E-mail: s_wannapakhe@hotmail.com

ทำงานคล้ายกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วๆ ไป คือให้ความร้อนแก่ของไหลตัวหนึ่งในขณะเดียวกันก็ระบายความร้อนออกจากของไหลอีกตัวหนึ่ง ซึ่งโครงสร้างของท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยตัวท่อซึ่งอาจทำมาจากโลหะชนิดต่างๆ และบรรจุสารทำความเย็นตามปริมาณที่กำหนดไว้ภายในและทำการปิดหัวท้ายของท่อ โดยที่ข้อแตกต่างของเทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อนนั้นจะมีข้อแตกต่างกันที่โครงสร้างภายในตัวท่อโดยท่อความร้อนนั้นจะมีวัสดุพูน (Wick) บรรจุอยู่ในช่องตรงกลางท่อบริเวณเทอร์โมไซฟอนนั้นจะไม่มีวัสดุพูนบรรจุอยู่ดังนั้นจึงทำให้เทอร์โมไซฟอนนั้นมีข้อจำกัดในด้านการทำงานคือจะทำงานได้ดีเมื่อส่วนทำระเหย (Evaporator Section) อยู่ที่ด้านล่างแต่ข้อดีของเทอร์โมไซฟอนคือสามารถสร้างได้ง่ายกว่าท่อความร้อนที่ต้องบรรจุวัสดุพูนไว้ภายใน ข้อดีของท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ

1. ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งาน
2. อุณหภูมิที่ใช้งานมีช่วงกว้างและสามารถทำงานได้แม้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนต่างกันไม่มาก เมื่อเลือกของเหลวใช้งานให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิ
3. อัตราของการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยมีค่าสูง
4. ปัญหาในการใช้งานและการดูแลรักษามีน้อย โดยเฉพาะในประเทศไทยถือได้ว่าเป็นอีกประเทศมีการใช้พลังงานในด้านต่างๆ มาก ทั้งในครัวเรือนและในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมักเกิดความร้อนทั้งจากกระบวนการต่างๆ โดยหากสามารถนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนที่ต้องการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอื่นได้ ซึ่งหากลดการใช้พลังงานในส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานได้เช่นกัน โดยท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ด้วยข้อดีในด้านการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนนั้นจึงได้มีนักวิจัยหลายท่านนำท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนมาประยุกต์ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 1 ท่อความร้อน (Heat Pipe)

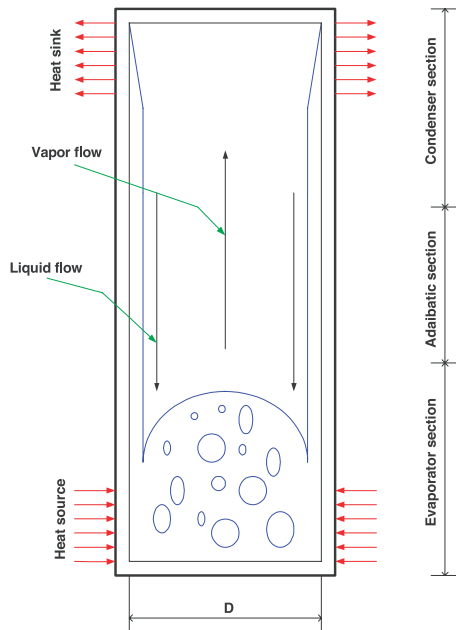
2. ประเภทของท่อความร้อน

2.1 ฮีทไพป์ (Heat Pipe)

เป็นท่อปิดผนึก ภายในบรรจุวัสดุพูน (Wick) และของเหลวใช้งาน (Working Fluid) ที่ความดันสูญญากาศ (ไม่มีก๊าซไม่ควบแน่นเหลืออยู่) เมื่อฮีทไพป์รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน ผ่านผนังท่อของช่วงการระเหย (Evaporation Section) ไปยังวัสดุพูน ของเหลวใช้งานที่อยู่ในวัสดุพูนจะระเหยกลายเป็นไอ ไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ตามท่อไปยังช่วงการควบแน่น (Condensation Section) ซึ่งมีความดันไอลดต่ำกว่า ณ ที่นี้ความร้อนแฝงที่เกิดจากการควบแน่นจะถ่ายเทผ่านผนังท่อไปสู่แหล่งรับความร้อน ส่วนของเหลวจากการควบแน่นจะไหลซึมกลับไปยังช่วงการระเหยโดยแรงคาปิลารี (Capillary Action) ของวัสดุพูน ดังรูปที่ 1

2.2 กาลักความร้อนหรือเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)

มีลักษณะรูปร่างคล้ายกับฮีทไพป์เพียงแต่ภายในของเทอร์โมไซฟอนนั้นจะไม่มีวัสดุพูน การทำงานจะอาศัยการเปลี่ยนสถานะและความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นภายในของท่อความร้อนเป็นตัวส่งถ่ายความร้อน

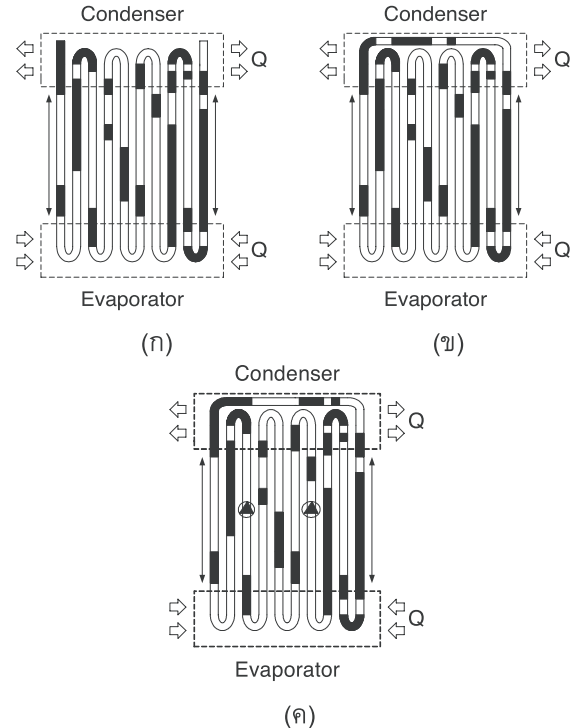


รูปที่ 2 ลักษณะทั่วไปของเทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนชนิดหนึ่งที่มีความสามารถส่งถ่ายความร้อนได้สูงมาก ประมาณ 200 เท่าเมื่อเทียบกับค่าการนำความร้อนของทองแดงที่มีมิติเท่ากัน [1] ท่อที่ใช้ทำจากท่อปลายปิดทั้งสองด้านภายในเป็นสสารทำงาน (Working Fluid) วัฏจักรหนึ่ง ซึ่งชนิดของสารทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่จะนำเทอร์โมไซฟอนไปใช้งาน แต่ข้อเสียของเทอร์โมไซฟอนคือสมรรถนะในการส่งถ่ายความร้อนจะลดลงเมื่อมุมทำงานของเทอร์โมไซฟอนเข้าใกล้แนวแกน x ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนไม่มีวัสดุพรุนบรรจุภายในท่อ ดังนั้น แรงดึงดูดของโลกจึงส่งผลต่อการทำงานของเทอร์โมไซฟอนด้วย

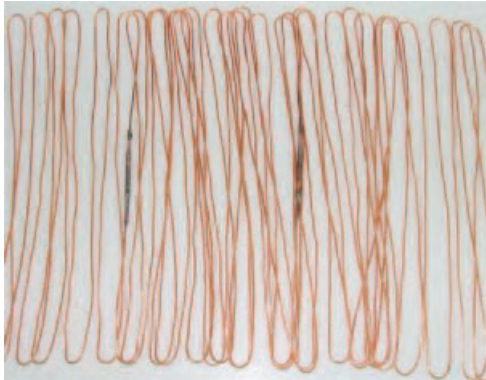
2.3 ท่อความร้อนชนิดพิเศษ (Special Heat Pipe)

เป็นท่อความร้อนที่มีรูปแบบแตกต่างจากท่อความร้อนที่ได้กล่าวมาแล้วโดยท่อความร้อนชนิดพิเศษนี้จะถูกออกแบบและสร้างมาเพื่อให้ได้ท่อความร้อนที่มีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างเช่น ท่อความร้อนชนิดสั้น



รูปที่ 3 ท่อความร้อนแบบสั้น (ก) CEOHP (ข) CLOHP (ค) CLOHP/CV

(Oscillating Heat Pipe, Pulsating Heat Pipe) โดยที่ Akachi, Polasek และ Stulec [2] ได้กล่าวไว้ว่าท่อความร้อนชนิดนี้เป็นท่อความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งที่เกิดความร้อนไปยังแหล่งรับความร้อนเช่นเดียวกับท่อความร้อนทั่วไป แต่ลักษณะและหลักการทำงานจะแตกต่างกันโดย ท่อความร้อนชนิดสั้นจะมีลักษณะเป็นท่อคาปิลารี (ท่อทองแดงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็ก ๆ) ที่นำมาดัดโค้งกลับไปกลับมา ระหว่างส่วนของการทำระเหยกับส่วนควบแน่นภายในท่อคาปิลารีจะมีสารทำงานอยู่ 2 แบบ คือส่วนที่เรียกว่าก้อนของเหลว (Liquid Slug) และส่วนที่เรียกว่าฟองไอน้ำ (Vapor Bubble) ทั้งก้อนของเหลวและฟองไอน้ำ จะจัดเรียงตัวแบบสลับกันไปมา ท่อความร้อนชนิดสั้น จะสามารถทำงานได้ทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (Closed-end Oscillating Heat Pipe, CEOHP) ท่อความร้อนแบบ



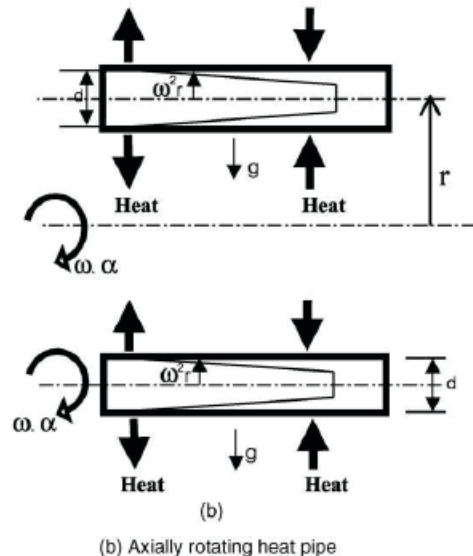
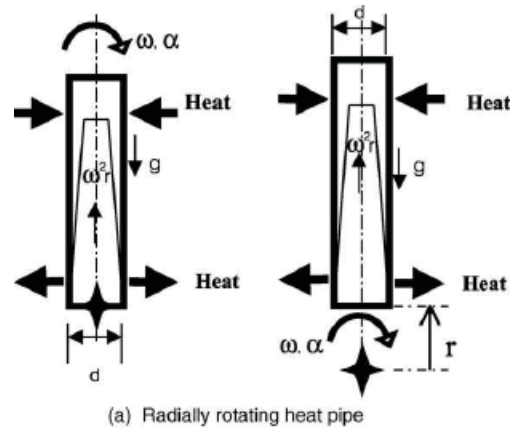
รูปที่ 4 ท่อทองแดงคาปิลารีที่ขดเป็นท่อความร้อนแบบสั่น

สั่นวงรอบ (Cloed-loop Oscillating Heat Pipe, CLOHP) และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed-loop Oscillating Heat Pipe with Check Valves, CLOHP/CV) โดยท่อทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันที่ลักษณะของการเชื่อมต่อปลายท่อและการติดตั้งวาล์วกันกลับเพิ่มเข้าไปยังท่อความร้อน ดังรูปที่ 3

นอกเหนือจากนั้นยังมีท่อความร้อนชนิดพิเศษอีกหลายประเภทที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสม เช่น L-type Heat Pipe, U-shape Heat Pipe, Flat-shaped Heat Pipe, ท่อความร้อนชนิดที่ปรับเปลี่ยนค่าการนำได้ (Variable Conductance Heat Pipes, VCHPs) ท่อความร้อนชนิดให้ความร้อนไหลผ่านทางเดียว (Thermal Diodes) ท่อความร้อนชนิดหมุน (Rotating Heat Pipes) ท่อความร้อนชนิดวงรอบ (Loop Heat Pipe) ฯลฯ

3. สารทำงานที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอน

สารทำงานที่ใช้นั้นโดยทั่วไปจะใช้สารทำความเย็น ซึ่งการเลือกใช้สารทำงานสำหรับท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนนั้นโดยทั่วไปจะคำนึงถึงลักษณะการประยุกต์ใช้งานซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถทราบช่วงของอุณหภูมิการทำงานของท่อความร้อน นอกจากการประยุกต์ใช้งานแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติอื่นอีก เช่น ชนิดของวัสดุ



รูปที่ 5 ท่อความร้อนชนิดหมุน [3]

พูน วัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อน ค่าความร้อนแฝงของสารทำงานที่มีค่าสูง ค่าการนำความร้อนของสารทำงานที่มีค่าสูง ค่าความหนืดของของเหลวและไอของสารทำงานที่มีค่าต่ำ ฯลฯ สำหรับประเทศไทยนั้นสารทำงานที่นิยมใช้สำหรับท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนที่พบเห็นได้บ่อยครั้งในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 1

4. การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอน

เนื่องจากท่อความร้อนมีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนที่สูงดังนั้นจึงมีการคิดค้นออกแบบสร้างและ

นำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งช่วยในการประหยัดพลังงานและช่วยกระจายความร้อนได้ โดยสำหรับการประยุกต์ใช้งานในประเทศไทยที่มีนักวิจัยได้คิดค้นและประยุกต์ใช้ประโยชน์จากท่อความร้อนชนิดต่างๆ ไว้หลากหลายดังตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 ตัวอย่างสารทำงานสำหรับท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนที่นิยมใช้ [4],[5]

ชนิดสารทำงาน	จุดหลอมละลาย (°C)	จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (°C)
น้ำ	0	100
เมทานอล	-98	64
เอทานอล	-112	78
แอมโมเนีย	-78	-33
R123	-107	27.6
R141b	-103.5	32
R134a	-103.3	-26.3
R11 (Freon 11)	-110.48	23.77
R12	-157.7	-29.8
R22	-175.42	-40.7

4.1 การประยุกต์ใช้งานในเตาอบ

สำหรับการประยุกต์ใช้งานท่อความร้อนในเตาอบนั้น ได้มีนักวิจัยหลายท่านทั้งภายในและต่างประเทศได้ทำการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนชนิดต่างๆ มาใช้เพื่อช่วยประหยัดพลังงานและช่วยในการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบ เช่น Paramethanuwat และคณะ [6] โดยทำการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนเพื่อประหยัดพลังงานและช่วยในเรื่องของสีของไส้กรอกปลาที่มีความสม่ำเสมอโดยติดตั้งในเตาอบรมควันไส้กรอกปลาของห้างหุ้นส่วนจำกัด กาศสินธุ์ผลิตภัณฑ์อาหาร จังหวัดกาฬสินธุ์ ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเพื่อให้สามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้เทอร์โมไซฟอนจึงทำจากท่อเหล็กไร้สนิม AISI304 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคือ 25.4 มิลลิเมตร ความยาวของเทอร์โมไซฟอนออกแบบให้เหมาะสมกับขนาดของห้องอบ คือส่วนทำระเหยคือ 300 มิลลิเมตร และส่วนควบแน่นคือ 1200 มิลลิเมตร สารทำงานที่ใช้คือ น้ำ ซิลเวอร์นาโนฟลูอิดที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) และ โกลด์นาโนฟลูอิดที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ปริมาณ

การเติมสารทำงานเพื่อใช้ในการทดสอบคือ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ซึ่งสามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแท่งได้จากสมการ (1)

$$Q_{\text{theoretical}} = \frac{\Delta T}{Z_{\text{total}}} \quad (1)$$

เมื่อ $Q_{\text{theoretical}}$ หมายถึง การถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางทฤษฎี (W)

Z_{total} หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนรวมในวงจรไฟฟ้าสมมูล (K/W)

ΔT หมายถึง ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น (K หรือ °C)

จากค่าการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการกระจายความร้อนในห้องอบและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่คำนวณได้ Paramethanuwat และคณะ [6] จึงใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งหมด 30 แท่ง ติดตั้งภายในห้องอบ ดังรูปที่ 6 จากการทดสอบพบว่าสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาที่ได้มีสีที่สม่ำเสมอกว่าเตาอบที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน และนอกจากนั้นยังช่วยให้ประหยัดเวลาในการอุ่นเตาอบรมควันส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอีกด้วย



รูปที่ 6 เตาอบไส้กรอกปลาที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน [6]



รูปที่ 7 การทดสอบเตาอบที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด [7]

นอกจากประยุกต์ใช้ในเตาอบของอุตสาหกรรมแล้วยังมีการประยุกต์ใช้กับเตาอบสำหรับครัวเรือน เช่น งานวิจัยของ ลาตะพร และสกุลดลลา [7] ศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบไฟฟ้าขนาด 1,200 วัตต์ และ 800 วัตต์ โดยได้เลือกใช้ท่อความร้อนชนิดสั้นปลายปิดติดตั้งเข้าไปภายในห้องอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อคำนวณได้จากสมการของ Maezawa และคณะ [8] ดังสมการที่ 2 และสารทำงานที่ใช้คือ น้ำ เอทานอล และ R123 ปริมาตรของสารทำงานที่เดิมคือ 50% ของปริมาตรรวมของท่อ

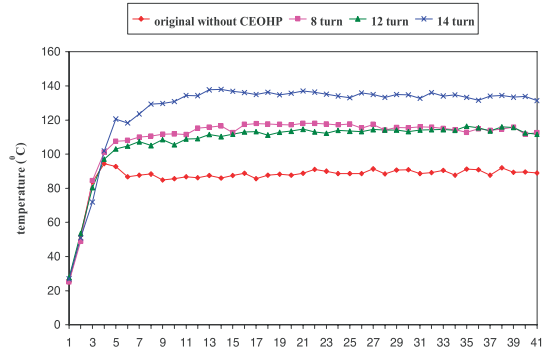
$$d_{\max} < 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \quad (2)$$

เมื่อ σ หมายถึง แรงตึงผิว

ρ หมายถึง ความหนาแน่น

g หมายถึง ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

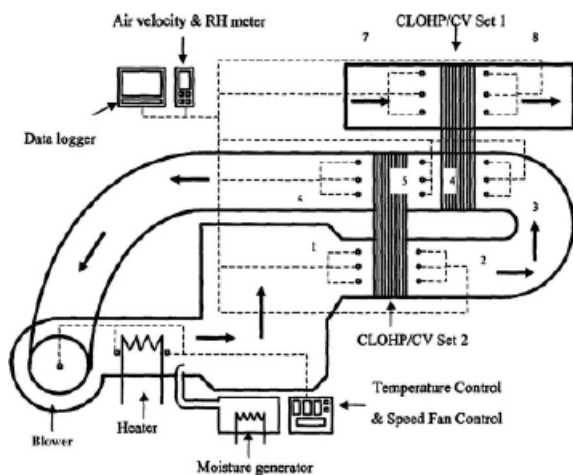
ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเตาอบไฟฟ้าต้นแบบขนาด 1,200 วัตต์ โดยควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่ 200°C ใช้เวลาในการอบ 40 นาที จากการทดสอบพบว่าเตาอบไฟฟ้าขนาด 1,200 วัตต์ ที่ติดตั้งท่อความร้อนชนิดสั้นปลายปิดสามารถช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 7 นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มระยะเวลาของการลดลงของอุณหภูมิอากาศภายในเตาอบหลังจากการทดสอบอบ 40 นาที และช่วยให้การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภายในเตาอบไฟฟ้าต้นแบบ 1,200 วัตต์ เทียบกับเตาอบไฟฟ้า 1,200 วัตต์ ที่ติดตั้งท่อความร้อนชนิดสั้นปลายปิด (CEOHP) จำนวนโค้งเลี้ยว 8 12 และ 14 โค้งเลี้ยว สารทำงานคือ น้ำ อัตราการเติมสาร 50% $L_c = 50$ มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.03 มิลลิเมตร [7]

4.2 การประยุกต์ใช้งานสำหรับกระบวนการอบแห้ง

เนื่องจากกระบวนการอบแห้งนั้นถือได้ว่าเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งช่วยรักษาผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยววิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในประเทศไทยเพื่อช่วยรักษาผลผลิตทางการเกษตรแต่กระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปยังถือว่าใช้พลังงานสูงดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนมาช่วยในการลดการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการอบแห้งโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของผลผลิตทางการเกษตรหลังผ่านกระบวนการอบแห้งทั่วไป เช่น Meena, Rittidech และ Poomsa-ad. [9] ได้ทำการออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับติดตั้งเข้าไปในเครื่องอบแห้งดังรูปที่ 9 เพื่อช่วยในการลดความชื้นในอากาศหลังจากออกจากห้องอบและนำเอาอากาศร้อนวนกลับเข้ามาใช้ใหม่และเพิ่มอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าส่วนทำความร้อนโดยฮีตเตอร์ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานได้ ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับออกแบบโดยติดตั้งวาล์วกันกลับ

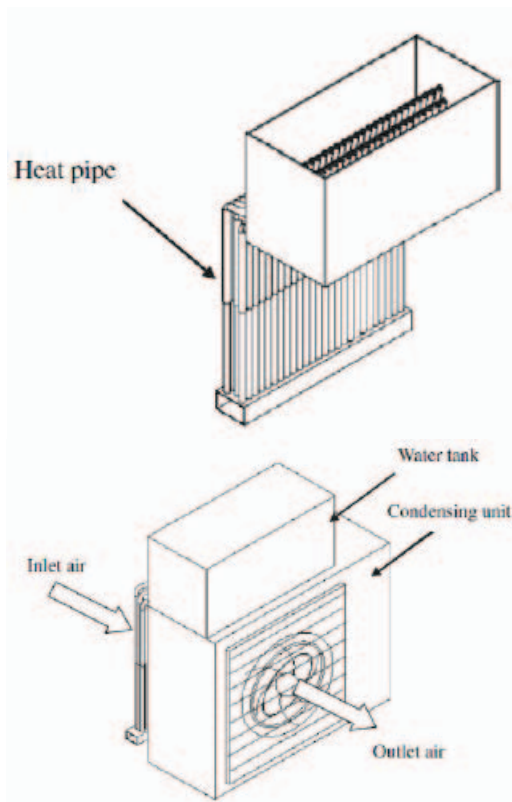


รูปที่ 9 แสดงโครงสร้างของเครื่องอบแห้งและจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ 1, T_{hi} ; 2, T_{ho} ; 3, T_{hi} ; 4, T_{ho} ; 5, T_{ci} ; 6, T_{co} ; 7, T_{ci} ; 8, T_{co} . [9]

จำนวน 1 ตัว ตามผลการวิจัยของ Rittidech, Pipatpaiboon และ Terdtoon [10] ในปี 2007 ได้ทดสอบหาอัตราส่วนของจำนวนวาล์วกักเก็บต่อจำนวนโค้งเลี้ยว ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของจำนวนวาล์วกักเก็บต่อจำนวนโค้งเลี้ยวที่สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีที่สุดคือ 0.2 สำหรับงานวิจัยนี้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนได้ติดตั้งท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกักเก็บจำนวน 2 ชุด โดยแต่ละชุดมีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อนเท่ากับ 2.03 มิลลิเมตร จากรูปที่ 9 CLOHP/CV Set 1 ประกอบไปด้วยท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกักเก็บ 1 ชุด และ CLOHP/CV Set 2 ประกอบไปด้วยท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกักเก็บ 2 ชุด สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบคือ น้ำ เอทานอล และ R123

4.3 การประยุกต์ใช้งานกับเครื่องปรับอากาศ

ปัจจุบันประเทศไทยนิยมติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในอาคารและบ้านเรือนและในการใช้งานเครื่องปรับอากาศแต่ละครั้งนั้นมักจะมีพลังงานความร้อนทิ้งออกป้อนอาคารและบ้านเรือนและมักสิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยในประเทศไทยหลายท่านได้ประยุกต์ใช้ท่อ

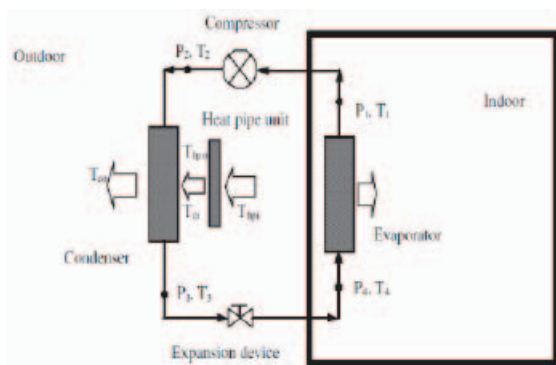


รูปที่ 10 ท่อความร้อนและรูปแบบของคอยล์ร้อนที่ติดตั้งท่อความร้อน [11]

ความร้อนและเทอร์โมไซฟอนกับเครื่องปรับอากาศ เช่น Naphon [11] ในปี 2010 ได้ติดตั้งท่อความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร สารทำงานที่ใช้คือ R134a ติดตั้งที่ส่วนระบายอากาศทั้งรูปที่ 10

เมื่อทำการทดสอบหาสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบที่ 25–26°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าเมื่อติดตั้งท่อความร้อนดังกล่าวแล้วค่า COP เพิ่มขึ้น 6.4% และ EER เพิ่มขึ้น 17.5%

และนอกจากนั้นในปี 2011 Supirattanakul, Rittidech และ Bubphachot [12] ได้ทำประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกักเก็บเพื่อช่วยในการเพิ่มสมรรถนะสำหรับระบบการปรับอากาศท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกักเก็บดังรูปที่ 12 ทำจากท่อทองแดงยาวแบบคาปิลลารีขนาด

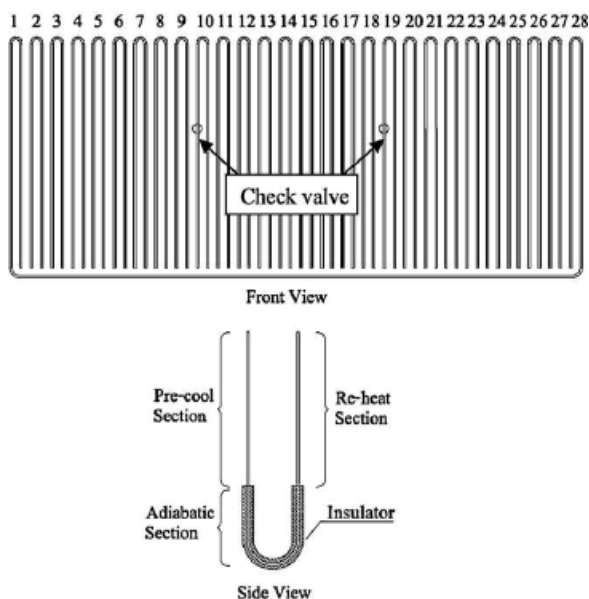


รูปที่ 11 แผนภูมิการทำงานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ [11]



รูปที่ 12 ชุดท่อความร้อน CLOHP/CV [12]

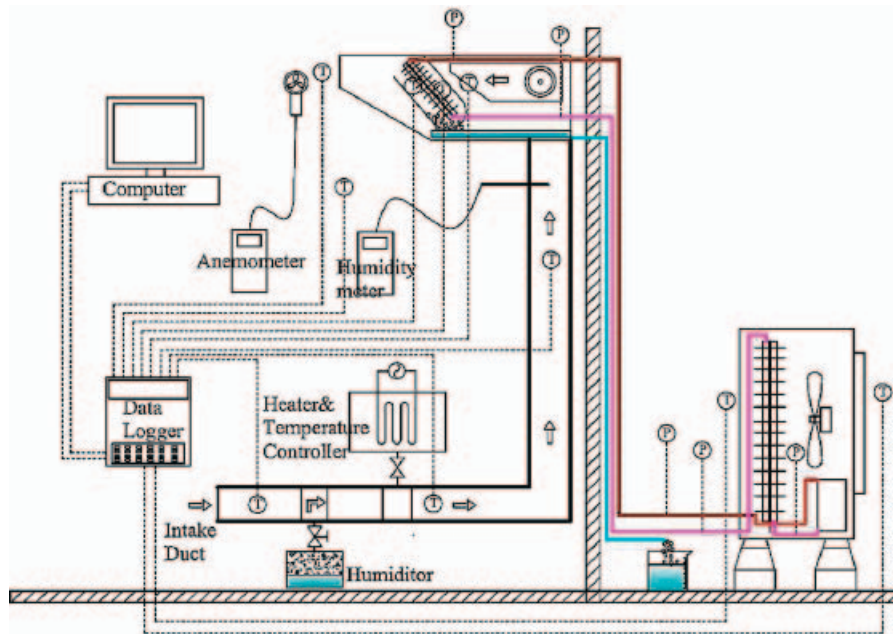
เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร 56 โค้งเลี้ยว จำนวน วาล์วก้นกลับคือ 2 ตัว ดังรูปที่ 13 ขนาดของส่วน ทำระเหยและส่วนควบแน่นคือ 220 มิลลิเมตร และ ส่วนควบแน่นคือ 190 มิลลิเมตร สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบคือ R134a, R22 และ R502 เติมเข้าไป ในท่อความร้อนปริมาณ 50% ของปริมาตรรวมของ ท่อ เมื่อติดตั้งชุดท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่ติดตั้ง วาล์วก้นกลับดังรูปที่ 14 โดยเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 16,000 BTU/h อุณหภูมิภายใน ห้องทดสอบคือ 20–27°C โดยทำการทดสอบ 8 ชั่วโมง ต่อวัน ในช่วงเวลา 8.00–24.00 น. จากการทดสอบ พบว่าค่า COP เพิ่มขึ้น 14.9% และ EER เพิ่มขึ้น 17.6%



รูปที่ 13 ตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ [12]

4.4 การประยุกต์ใช้งานกับเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์

ประเทศไทยนั้นถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีพลังงาน ทางด้านความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ที่ดี เนื่องจาก ลักษณะภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่เหมาะสม ดังนั้น จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำพลังงานความร้อน ที่ได้จากแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานกันเป็นจำนวนมาก และสำหรับเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปในรูปแบบเชิงพาณิชย์แล้ว อันเนื่องมาจากคนไทยนิยมใช้น้ำอุ่นในการอุปโภค ตัวอย่าง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องทำ น้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ เช่นในปี 2009 Rittidech, Donmaung และ Kumsombut [13] ได้ออกแบบ สร้างและ ทดสอบชุดแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อน ชนิดสั่น วรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับโดยท่อความร้อนจะ ถูกติดตั้งอยู่ภายในท่อแก้วทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางภายใน 58 มิลลิเมตร ยาว 1,500 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนควบแน่นของท่อความร้อนจะอยู่ในถังเก็บน้ำ โดย ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับสำหรับ



รูปที่ 14 ไดอะแกรมการทดสอบ [12]

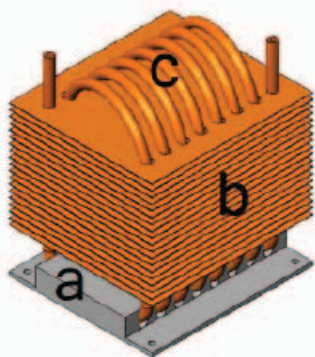
งานวิจัยนี้ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร และติดตั้งวาล์วก้นกลับจำนวน 2 ตัว ท่อความร้อนที่สร้างมี 6 โค้งเลี้ยว ความยาวรวมของท่อคือ 26.40 เมตร สารทำงานที่ใช้คือฟรอน 134a อัตราการเติมสารทำงานคือ 50% ของปริมาตรรวมของท่อ ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนมีทั้งหมด 10 ชุด แผ่นรับรังสีทำจากอะลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้นแบบ ดังรูปที่ 15 โดยพบว่าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพสูงถึง 76% เมื่อเทียบกับสัดส่วนของอุณหภูมิแตกต่างระหว่างแผงรับรังสีกับอุณหภูมิของน้ำต่อค่าการแผ่รังสีอาทิตย์

4.5 การประยุกต์ใช้งานสำหรับคอมพิวเตอร์

สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำท่อความร้อนไปช่วยในการระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ โดยการที่จะประยุกต์ใช้ท่อความร้อนสำหรับใช้ระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ได้นั้นท่อความร้อนที่ประยุกต์ใช้ต้องสามารถทำงานได้แม้อยู่ในแนวระดับ ดังนั้นตัวอย่างเช่น Rittidech, Boonyaem



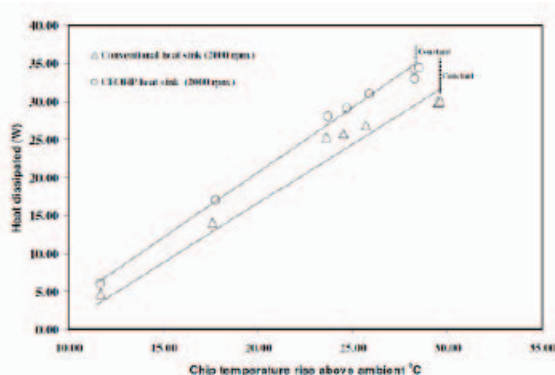
รูปที่ 15 ชุดแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนชนิดส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ โดยท่อความร้อน โดย (a)CLOHP/CV Circular Tube Solar Collector; (b) Adiabatic Gap; (c) Condenser Water Tank; (d) Water Storage Tank; (e) Water Pump [13]



รูปที่ 16 Prototype : (a) Aluminum Base Plate (b) Copper Fin (c) CEOHP [14]

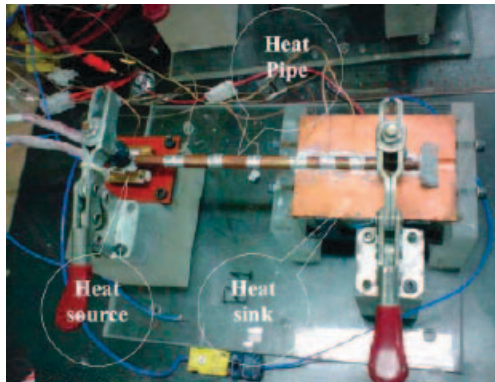
และ Tipnet [14] ได้ศึกษาวิจัยและประยุกต์ใช้ท่อความร้อนชนิดพิเศษแบบสั่นปลายปิดหรือท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end Oscillating Heat Pipe, CEOHP) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร โดยให้ท่อความร้อนยึดติดอยู่กับฐานของชุด CPU ของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ ซึ่งขนาดของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับงานวิจัยนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของชิป CPU (SL 6 PB, 2.26 GHZ, ขนาด 58 วัตต์ อุณหภูมิ 70°C) โดยส่วนของส่วนทำระเหย (Evaporator) ฝังอยู่ในตัวเรือนอะลูมิเนียมและส่วนควบแน่น (Condenser) ยึดติดกับครีบบระบายความร้อน จากผลการทดลองโดยใช้พัดลมระบายอากาศที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm และ 4,000 rpm พบว่าท่อความร้อน CEOHP สามารถช่วยระบายความร้อนจาก CPU ได้ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยครีบบระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 16

นอกจากท่อความร้อนชนิดสั่นแล้วยังมีนักวิจัยที่ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบมีวัสดุพูนสำหรับระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ เช่น ในปี 2553 โสภณ [15] ได้ศึกษาถึงลักษณะเฉพาะทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้วัสดุพูนซินเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อนคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยท่อความร้อนทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.32 มิลลิเมตร กำหนดให้ส่วนทำระเหยเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ส่วนกัน



รูปที่ 17 Thermal performance of conventional heat sink and CEOHP heat sink [14]

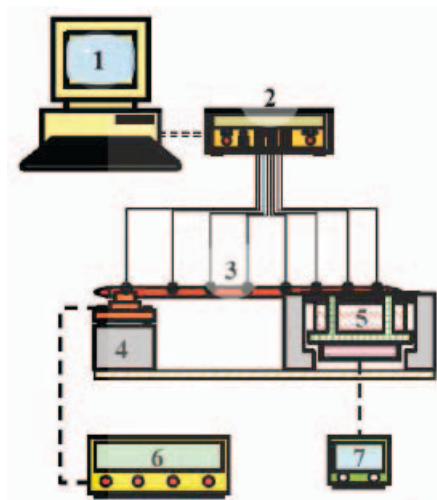
ความร้อนเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และส่วนควบแน่นเท่ากับ 70 มิลลิเมตร (ความยาวส่วนทำระเหย ความยาวส่วนกันความร้อน และความยาวส่วนควบแน่น คิดเป็นสัดส่วนต่อความยาวทั้งหมดเท่ากับ 7.5%, 50% และ 35% ตามลำดับ) โครงสร้างของวัสดุพูนทำมาจากผงทองแดงทรงกลมที่มีช่วงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 150–212 และ 250–297 ไมโครเมตร โดยใช้สัดส่วนการผสมระหว่างทองแดงทั้ง 2 ช่วงมีค่าเท่ากับ 1 : 0, 3 : 1, 1 : 1, 1 : 3 และ 0 : 1 กำหนดให้วัสดุพูนมีความหนา 0.46 มิลลิเมตร โดยทำการซินเตอร์ผงทองแดงที่อุณหภูมิ 0–1,200°C สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบคือ น้ำ และทำการทดสอบที่มุมเอียง 0° จากแนวระดับ ซึ่งขอบเขตที่โสมณ สิ้นสร้าง ได้กำหนดนั้น กำหนดโดยให้มีความใกล้เคียงกับการนำไปใช้งานจริง และสามารถที่จะติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบที่บริษัท ฟุจิอุระ (ประเทศไทย) จำกัด ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 18 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับชุดทดลอง และรูปที่ 19 แสดงแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง จากผลการทดสอบพบว่าหากใช้สัดส่วนการผสมระหว่างทองแดงสองขนาดมีการกระจายอุณหภูมิตลอดความยาวท่อความร้อนโดยมีผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 1-3°C ไม่ว่าจะทดสอบที่ภาระความร้อนใดก็ตาม แต่อย่างไรก็ตาม หากมองถึงความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนนั้นพบว่าที่สัดส่วนผสมของขนาดผงทองแดง 2 ขนาดนั้น



รูปที่ 18 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับชุดทดลอง [15]



รูปที่ 20 ลักษณะของหอกลิ้น [15]



รูปที่ 19 แสดงแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง โดยที่หมายเลข (1) คือ คอมพิวเตอร์ (2) คือ Data logger (3) คือ ท่อความร้อน (4) คือ ฮีทเตอร์ (5) คือ Heat sink (6) และ (7) คือ DC power supply [15]

พบว่าที่สัดส่วนผสมที่สามารถส่งถ่ายความร้อนได้สูงสุด คือ 1 : 3 ซึ่งโสภณ สินสร้าง จึงเลือกใช้ท่อความร้อนที่ใช้วัสดุพูนซินเตอร์ที่สัดส่วนผงทองแดงขนาด 150–212 ต่อ 250–297 ไมโครเมตร คือ 1 : 3 สำหรับการระบายความร้อนในคอมพิวเตอร์แบบพกพา

4.6 การประยุกต์ใช้ท่อความร้อนสำหรับงานอื่น ๆ

นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วยังมีการประยุกต์ใช้งานเพื่อช่วยระบายความร้อนนอกเหนือจากที่ได้กล่าวอีกหลากหลายด้าน เช่น ในปี 2546 พรประสิทธิ์ [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกลั่นเอทานอลด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อน โดยอันดับแรกได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายผลของการกลั่นเอทานอลด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนโดยใช้สำหรับทำนายระบบกลั่นแบบเดิมสารครั้งเดียวและระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบเดิมสารอย่างต่อเนื่อง และเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พรประสิทธิ์ คงบุญ จึงสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีหม้อต้มเข้าขนาดความจุไม่เกิน 50 ลิตร และแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนขนาด 3.6 ตารางเมตร โดยการทดสอบนั้นได้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาณสารละลายตั้งต้น อัตราการป้อนสาร ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นโดยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นตั้งต้น 10% ที่ได้จากการผสมระหว่างเอทานอล 99.8% กับน้ำกลั่น และการใช้หอกลิ้น โดยระบบกลั่นที่สร้างขึ้นเป็นระบบกลั่นสเตจเดียวแบบใช้หอกลิ้นที่มีความสูง 20, 40 และ 60 เซนติเมตรและแบบไม่ใช้หอกลิ้น โดยที่ภายในหอกลิ้นแยกส่วนนั้นจะบรรจุวัสดุพูนหรือตัวบรรจุ (Packing Materials) คือหลอดแก้วขนาด 1.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 20 ซึ่งสามารถหาได้ง่าย

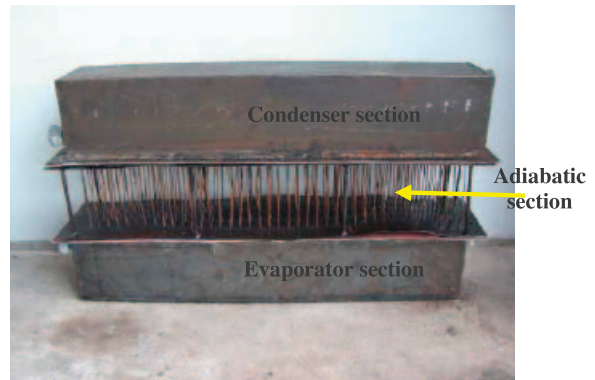


รูปที่ 21 แสดงภาพโดยรวมของชุดทดสอบการกลั่นเอทานอลแบบสแตนด์เอโลนที่มีการใช้หอกลิ้น [16]

มีน้ำหนักเบาและราคาไม่แพงเหมาะสมกับหอกลิ้นที่จะทำการทดสอบ ท่อความร้อนที่ใช้เป็นแบบท่อสุญญากาศแบบท่อความร้อน (เทอร์โมไซฟอน) เท่านั้น และมุมเอียงที่ใช้ในการตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์คือ 18° จากแนวระดับ โดยหันหน้าไปทางทิศใต้ ทำการทดสอบตั้งแต่วันที่ 08.00–16.00 น. โดยทำการทดสอบที่จังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 21 แสดงภาพโดยรวมของชุดทดสอบการกลั่นเอทานอลแบบสแตนด์เอโลนที่ใช้หอกลิ้น

จากการทดสอบพบว่าแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสามารถใช้กลั่นเอทานอลได้จริง และระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบเดิมสามารถต่อเนื่องสามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณมากกว่าการกลั่นแบบเดิมสารครั้งเดียวโดยสูงกว่าร้อยละ 12.69 อีกทั้งเมื่อใช้หอกลิ้นสามารถสกัดเอทานอลได้บริสุทธิ์มากกว่าการกลั่นแบบไม่ใช้หอกลิ้น

นอกจากท่อความร้อนจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการกลั่นเอทานอลแล้วยังมีนักวิจัยที่นำไปประยุกต์ใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็กเช่นกันโดยนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เช่น Sridabut, Rittidech และ Pattanasethanon [17] ได้นำท่อความร้อนแบบสแตนด์เอโลนที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยประหยัดพลังงานและเวลาในโรงงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในส่วนของการลดอุณหภูมิของน้ำมันไบโอดีเซลหลังกระบวนการผลิตน้ำมันและถ่ายเท



รูปที่ 22 อีโคโนไมเซอร์แบบ CLOHP/CV [17]

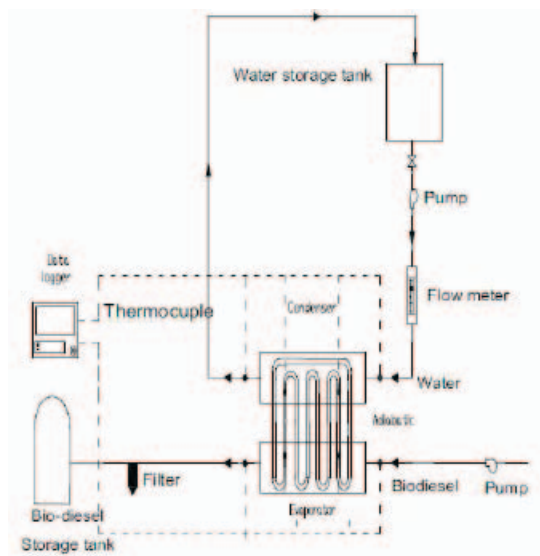
ความร้อนให้กับน้ำทำให้ได้น้ำอุ่นที่ใช้ในกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนชนิดสแตนด์เอโลนที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ (CLOHP/CV) ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3 มิลลิเมตร โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2 โดยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนที่ระเหย ส่วนกักความร้อน และส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 22 ขนาดที่ออกแบบโดยใช้สมการสหสัมพันธ์ [10]) ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 30% ดังสมการ 3 เพื่อคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนตามที่ต้องการแลกเปลี่ยนความร้อน

$$KU_{90} = 0.00041 \times$$

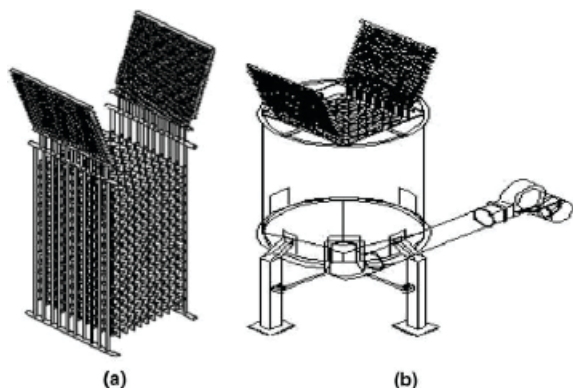
$$\left[Bo^{2.2} Fr^{1.42} Ja^{1.2} Pr^{1.02} \left[\frac{pv}{\rho l} \right]^{0.98} Rcv^{1.4} We^{0.8} \left[\frac{L_c}{D_i} \right]^{0.5} \right]^{0.107} \quad (3)$$

ติดตั้งชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนชนิดสแตนด์เอโลนที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ (CLOHP/CV) ดังรูปที่ 23

สำหรับภาคการเกษตรกรรมยังมีการนำท่อความร้อนและเทอร์โมไซฟอนไปประยุกต์ใช้เช่นกัน เช่น มีนักวิจัยทำการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในการช่วยเก็บ



รูปที่ 23 แสดงลักษณะการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์แบบ CLOHP/CV [17]



รูปที่ 24 ภาพแสดงส่วนประกอบของฉาง (a) เทอร์โมไชฟอน (b) ฉางเก็บข้าวที่ติดตั้งเทอร์โมไชฟอน [18]

รักษาข้าวเปลือกในไซโล โดย Dussadee, Punsansri และ Kiatsiriroat [18] ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าของความชื้นและอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่เก็บในไซโลโดยใช้พัดลมร่วมกับเทอร์โมไชฟอน โดยไซโลที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 5,000 กิโลกรัม เทอร์โมไชฟอนที่ใช้ในการทดสอบมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของท่อและครีบรวมกันคือ 16 m² พื้นที่ในสวนควบแน่นของท่อคือ 12.2 m² ใช้ R22

เป็นสารทำงาน ท่อความร้อนส่วนทำระเหยจมอยู่ในข้าวเปลือก ขณะที่สวนควบแน่นระบายความร้อนสู่อากาศและมีพัดลมช่วยในการระบายอากาศจากด้านล่างของไซโลสู่ด้านบนด้วยอัตราเร็วลม 0.11 m³/min พบว่าเมื่อติดตั้งเทอร์โมไชฟอนเข้าไปในไซโลสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิและช่วยลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในฉางได้ดีกว่าใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว เป็นต้น

5. สรุป

ด้วยข้อดีของท่อความร้อนและเทอร์โมไชฟอนที่มีหลากหลายประการคือ ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งาน อุณหภูมิที่ใช้งานมีช่วงกว้างและสามารถทำงานได้แม้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนต่างกันไม่มาก อัตราของการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยมีค่าสูง และปัญหาในการใช้งานและการดูแลรักษามีน้อย ทำให้มีการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในงานที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนซึ่งท่อความร้อนและเทอร์โมไชฟอนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงและยังช่วยประหยัดพลังงานความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยในการประยุกต์ใช้นั้นจะเลือกใช้ท่อความร้อนแบบใด สารทำงานชนิดไหน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่จะนำไปใช้ และจากข้อมูลที่ได้กล่าวในบทความจะเห็นได้ว่าท่อความร้อนและเทอร์โมไชฟอนนั้นสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน โดยเฉพาะงานที่ต้องมีการแลกเปลี่ยนความร้อน การระบายความร้อน หรืองานที่มีความร้อนสูญเสียนักวิจัยสามารถนำท่อความร้อนและเทอร์โมไชฟอนไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการเพิ่มสมรรถนะหรือนำพลังงานความร้อนสูญเสียไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.D. Dunn and D.A. Reay, *Heat Pipes*.3rd Ed., U.K.: Pergamon Press, 1982.
- [2] H. Akachi, F. Polasek, and P. Stulc, "Pulsating heat pipe," *Proceeding of the 5th International*

- Heat Pipe Symposium*, Australia: s.n., 1996, pp. 208-217.
- [3] N. Waowaew, P. Terdtoon, S. Maezawa, P. Kamonpet, and W. Klongpanich, "Correlation to predict heat transfer characteristics of a radially rotating heat pipe at vertical position," *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 1019-1032, 2003.
- [4] P. Terdtoon, et al., *Heat Pipe*, Department of Mechanical Engineering's the book project, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 1993 (in Thai).
- [5] S. Rittidech, et al., *Heat Pipe Technology*, Mahasarakham University, 1st edition, 2010 (in Thai).
- [6] T. Paramethanuwat, S. Thonglat, P. Tadtang, K. Booddachan, and S. Rittidech, "Thermosyphon installation for energy thrift in a smoked fish sausage oven(TISO)," *Energy*, vol. 35, pp. 2836-2842, 2010.
- [7] L. Suwannatip and S. Wannapakhe, "Application of Closed-End Oscillating Heat Pipe for Domestic Cooking Oven," Thesis B.Eng. Mahasarakham: Mahasarakham University, 2005 (in Thai).
- [8] S. Maezawa and others, "Thermal performance of capillary tube thermosyphon," *Proceedings of the 4th International Heat Pipe Conference*, USA: s.n., 1996, pp. 791-795.
- [9] P. Meena, S. Rittidech, and N. Poomsa-ad, "Closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV) air-preheated for reducing relative humidity in drying systems," *Applied Energy*, vol. 84, pp. 363-373, 2007.
- [10] S. Rittidech, N. Pipatpaiboon, and P. Terdtoon, "Heat-transfer characteristics of a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves," *Applied Energy*, vol. 84, pp. 565-577, 2007.
- [11] P. Naphon, "On the performance of air conditioner with heat pipe for cooling air in the condenser," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 2362-2366, 2010.
- [12] P. Supirattanakul, S. Rittidech, and B. Bubphachot, "Application of a closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV) on performance enhancement in air conditioning system," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 1531-1535, 2011.
- [13] S. Rittidech, A. Donmaung and K. Kumsombut, "Experimental study of the performance of a circular tube solar collector with closed-loop oscillating heat-pipe with check valve (CLOHP/CV)," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 2234-2238, 2009.
- [14] S. Rittidech, A. Boonyaem, and P. Tipnet, "CPU cooling of desktop PC by closed-end oscillating heat pipe (CEOHP)," *American Journal Applied Science*, vol. 2, no. 12, pp. 1574-1577, 2005.
- [15] S. Sinsang, et al., "Thermal Characteristics of Heat Pipe with Optimized Sintered Porous Media for Portable Computer Cooling," Thesis M.Eng. Chiang Mai University, 2010 (in Thai).
- [16] P. Kongboon, et al., "Ethanol Distillation with Heat Pipe Solar Collector," Thesis M.Eng. Chiang Mai University, 2003 (in Thai).
- [17] S. Sridabut, S. Rittidech, and S. Pattanasethanon, "Closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV) economizer for reduce the temperature and preheating water in washing process of bio-diesel oil," in *Proceedings of 9th International Heat Pipe Symposium*, Monash University, Malaysia, 2008, November 185-189.
- [18] N. Dussadee, T. Punsasri, and T. Kiatsirirot, "Temperature control of paddy bulk storage with aeration-thermosyphon heat pipe," *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 138-145, 2007.