

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของถึงน้ำร้อนในระบบผลิตน้ำร้อน ที่ใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ

ปิยะพงษ์ ยารวง นพรัตน์ เกตุขาว* และ ทรงพล ผัดวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เลขที่ 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

รับบทความ 10 ตุลาคม 2561 แก้ไขบทความ 1 เมษายน 2562 ตอรับบทความ 9 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในถึงน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอกและมีท่อน้ำร้อนพันอยู่โดยรอบถึง เพื่อหาตำแหน่งและรูปแบบการกระจายตัวของท่อน้ำร้อนที่พันอยู่รอบถึงที่ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสูงสุด การศึกษาจะใช้ถึงน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบทรงกระบอกที่บรรจุน้ำที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จำนวน 45 ลิตร โดยการทดลองจะแยกตามตำแหน่งการพันท่อน้ำร้อนถึง 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งล่าง ตำแหน่งตรงกลาง และตำแหน่งด้านบนของถึง โดยนำน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไหลผ่านท่อน้ำร้อนที่พันรอบถึง ในระยะเวลา 120 นาที จากผลการทดลองพบว่าตำแหน่งการพันท่อน้ำร้อนที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือตำแหน่งที่พันท่อน้ำร้อนตรงกลางของถึง โดยที่การพันท่อน้ำร้อนในตำแหน่งล่างของถึงจะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งบนถึงร้อยละ 30 จากนั้นทำการทดลองด้วยการเว้นระยะห่างของท่อน้ำร้อน 3 แบบ คือ แบบที่มีระยะห่างเท่ากับหนึ่งเท่า สองเท่า และสามเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำร้อน จากทดลองพบว่า การเว้นระยะห่างของท่อน้ำร้อนออกไปจะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น โดยที่การเว้นระยะห่างของท่อน้ำร้อนสามเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำร้อน จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบที่ไม่เว้นระยะห่างเท่ากับร้อยละ 5.8 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของการไหลแบบปั่นป่วนต่อการถ่ายเทความร้อน ด้วยการติดตั้งมอเตอร์ใบกวนเพื่อกวนน้ำในถึงแลกละเปลี่ยนความร้อน จากผลทดลองพบว่าการกวนน้ำในถึงแลกละเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นของการทดลองนี้นั้น ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนเพราะพลังงานที่ใช้สำหรับใบกวนมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น

คำสำคัญ : ถึงน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศ; ท่อน้ำร้อน; การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร +668 1694 4739, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nopparat_ka@hotmail.com

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Heat Transfer Enhancement of a Recovery Hot Water Tank from Waste Heat of Condensing Unit

Piyapong Yaruang Nopparat Katkhaw* and Songpol Pudwong

School of Engineering, University of Phayao
Maeka Sub-district, Muang District, Phayao 56000

Received 10 October 2018; Revised 1 April 2019; Accepted 9 April 2019

Abstract

This research is to study in heat transfer of hot water tank from an air conditioner which is a cylinder type and has a hot water pipe around the tank. It is used for finding a position and a pattern of distribution of the hot water pipe around the tank in the highest heat transfer condition. The study uses the cylinder of hot water tank filled 45 liters of 25°C water. An experiment separates in 3 positions of pipe wrapping which are the bottom, the center and the top of the tank. Then, 80 °C of hot water run thought the hot water pipe which is wrapped around the tank for 120 minutes. The result of the experiment shows that tubing position that causes the highest heat transfer is at the bottom of tank. Pipe wrapping at the bottom of the tank has the heat transfer higher than the top of the tank at 30%. Furthermore, this experiment studies in spacing of hot water pipe. There are 3 types for testing which are spacing hot water pipe as one time, two times and three times of diameter of pipe. The result illustrates that spacing the hot water pipe can significantly increase the heat transfer. The heat transfer of spacing the hot water pipe in three times of diameter of pipe is higher 5.8 % than spacing in one times. In addition, this research is to study in the effect of turbulent flow on the heat transfer by installing agitator in order to stir water in the tank. The result is that water stirring in the tank for increasing the heat transfer is not effective for investment because the energy using for stirring is higher than the enhanced heat transfer.

Keywords : Hot Water Tank from Air Conditioner; Hot Water Pipe; Heat Transfer Enhancement

* Corresponding Author. Tel.: +668 1694 4739, E-mail Address: nopparat_ka@hotmail.com

1. บทนำ

การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั่วไปนั้นจะมีการระบายความร้อนของน้ำยาทิ้งไปในอากาศผ่านคอนเดนเซอร์ มีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาระบบทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ เช่น R. A. Clark et al. [1] ได้ออกแบบและทดสอบระบบทำน้ำร้อนให้กับเครื่องปรับอากาศ (Integrated Heat Recovery) เพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำความร้อนของเครื่องทำความเย็น-ของบ้านอยู่อาศัย โดยนำน้ำร้อนที่ได้ไปใช้กับเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำได้ถึง 35 องศาเซลเซียส หลังจากเดินระบบไปได้ 100 ชั่วโมง และช่วยลดการใช้พลังงานของระบบทำน้ำร้อนเดิมลงได้ร้อยละ 18-20 ส่วนริฟพจน์ เวศพันธุ์ และคณะ [2] ได้สร้างระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ จากการทดลองพบว่าสมรรถนะการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศสูงขึ้นร้อยละ 17-47 สามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่ 35-43 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี นอกจากนี้หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ [3] ได้ออกแบบระบบทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 บีทียูต่อชั่วโมง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น จากการทดลองพบว่าสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 6 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้เวลาในการทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 28-35 องศาเซลเซียส ไปถึง 70-75 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่ามีการนำความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศมาใช้ได้จริง ทำให้ปัจจุบันนิยมทำการผลิตระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศขายในเชิงพาณิชย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่า ถังน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์ดังกล่าวนั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก 2 อย่าง คือ ถังน้ำร้อนและท่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำในถัง ซึ่งถังน้ำร้อนดังกล่าวสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทคือ ถังน้ำร้อนแบบ Direct Contact และถังน้ำร้อนแบบ Wrap Tank ถังน้ำร้อนแบบ Direct Contact จะมี

ท่อของสารทำความเย็นจุ่มแช่อยู่ในถัง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหา การปนเปื้อนข้าม (Cross Contamination) ที่เป็นการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายได้ เนื่องจากการสัมผัสกันโดยตรงของท่อสารทำความเย็นกับน้ำในถัง ทำให้เกิดการรั่วซึมผสมปนกันระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศเสียหายได้ ส่วนถังน้ำร้อนแบบ Wrap Tank จะใช้ท่อพันอยู่รอบถังน้ำร้อนทำให้ไม่เกิดปัญหา Cross Contamination แต่ก็ทำให้ความสามารถในการดึงความร้อนของถังน้ำร้อนลดลง ทำให้ระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งอุปกรณ์นานขึ้นไปอีก

ถังน้ำร้อนแบบ Wrap Tank จะใช้ท่อพันอยู่ในบริเวณด้านล่างของขอบถังน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นจะหุ้มปิดด้วยฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนของถังน้ำร้อนดังกล่าว จะมีลักษณะคล้ายเป็นการถ่ายเทความร้อนในช่องปิดแบบทรงกระบอกหรือมีลักษณะคล้ายกับช่องปิดรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 1 ถังน้ำร้อนแบบ Wrap Tank [4]

ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในช่องปิดที่มีรูปแบบของแหล่งความร้อนแตกต่างกันออกไป เช่น N. Katkhaw and S. Putivutisak [5] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติในช่องปิดรูปสี่เหลี่ยมที่มีแหล่งความร้อนในตำแหน่งด้านบน ด้านข้างและด้านล่างของช่องปิด

การศึกษาพบว่าแหล่งความร้อนที่อยู่ด้านข้างและด้านล่างของช่องปิดจะมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด ส่วน A. Muftuoglu and E. Belgin [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมที่มีแหล่งความร้อนเป็นแบบกระจายตัวไปตามผนัง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการจัดวางแหล่งความร้อนที่มีผลต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อน ผลที่ได้คือตำแหน่งของแหล่งความร้อนที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด คือ บริเวณที่ใกล้กับผนังด้านล่างของช่องสี่เหลี่ยม และใกล้กับจุดเริ่มต้นของการไหล ส่วน Q. H. Deng [7] ได้ศึกษาการพาความร้อนแบบธรรมชาติในช่องปิดรูปสี่เหลี่ยมที่มีแหล่งความร้อนเป็นแบบกระจายตัวตามผนังช่องปิด สำหรับค่า Rayleigh Number (Ra) ในช่วง 10^2 ถึง 10^6 ที่เป็นลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) พบว่าการถ่ายเทความร้อนภายในช่องปิดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อแหล่งความร้อนมีขนาดเล็ก และจัดวางแบบเว้นระยะห่างไม่ให้ชิดกัน โดยแบ่งแหล่งความร้อนให้มีขนาดเล็ก ส่งผลทำให้กระแสการไหลวนความร้อนในช่องปิด (The Number of Eddies in the Enclosure) มีจำนวนมากขึ้น มีการถ่ายเทความร้อนที่เป็นรูปแบบอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าท่อสารทำความเย็นที่เป็นแหล่งความร้อนมีการจัดวางในบริเวณที่ใกล้กับด้านล่างของถังแบบชิดกัน แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าถ้าจัดรูปแบบการจัดวางให้เหมาะสมจะทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของถังน้ำร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งความร้อน โดยได้เลือกทดสอบกับถังน้ำร้อนขนาด 45 ลิตร ซึ่งเป็นขนาดที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด ในการทดสอบจะใช้ถ่อน้ำร้อนมาพันรอบถังเพื่อเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งงานวิจัยนี้อาจจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของถังน้ำร้อนแบบ Wrap Tank ได้ และสร้างประโยชน์ในการนำความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องปรับอากาศมาผลิตน้ำร้อนได้มากขึ้น ทำให้

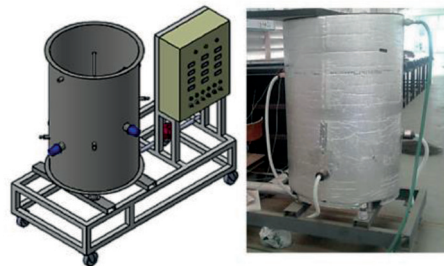
ลดพลังงานไฟฟ้าสำหรับการผลิตน้ำร้อน และเป็น การช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำหรับการอนุรักษ์พลังงานจากการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

2. อุปกรณ์และการทดลอง

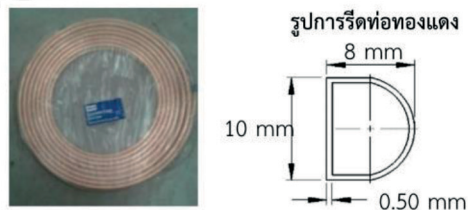
2.1 อุปกรณ์การทดสอบ

อุปกรณ์การทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

- 1) ถังผลิตน้ำร้อนขนาด 550 ลิตร ทำหน้าที่ในการทำน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 80 องศาเซลเซียส และรักษาระดับน้ำในถังให้คงที่ตลอดเวลาของการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2
- 2) บิมน้ำ ทำหน้าที่ดูดน้ำในถังไปยังชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
- 3) ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นท่อทองแดงชนิดบาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 15 เมตร ที่ผ่านการรีดให้แบนหนึ่งด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) โดยท่อที่ผ่านการรีดแล้วจะนำมาพันเข้ากับถังแลกเปลี่ยนความร้อน



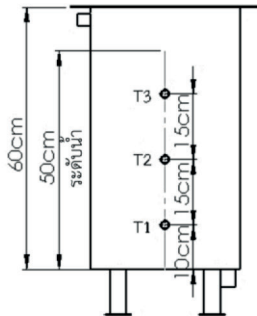
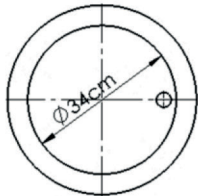
รูปที่ 2 รูปถังผลิตน้ำร้อน



ก) รูปท่อทองแดง ข) รูปการรีดท่อทองแดง

รูปที่ 3 รูปท่อทองแดง

4) ถังแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นถังทรงกระบอก ขนาด 45 ลิตร หุ้มด้วยฉนวนยางดำหนา 2 นิ้ว ดังรูปที่ 4 โดยท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกนำมาพับเข้ากับถังน้ำร้อนโดยให้เหลือปลายท่อไว้ทั้งสองด้านยาวด้านละ 30 เซนติเมตร จากนั้นใช้แรงดึงท่อทั้งสองด้านเท่ากับ 50 นิวตัน เพื่อให้ท่อแนบติดถึงมากที่สุด โดยที่ทางเข้าและออกของน้ำร้อนจะติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล Type K และที่ถังแลกเปลี่ยนความร้อนจะติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4



ก) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ



ข) ถังน้ำร้อนก่อนและหลังหุ้มฉนวน

รูปที่ 4 รูปถังน้ำร้อนหรือถังแลกเปลี่ยนความร้อน

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลอง มีขั้นตอนดังนี้

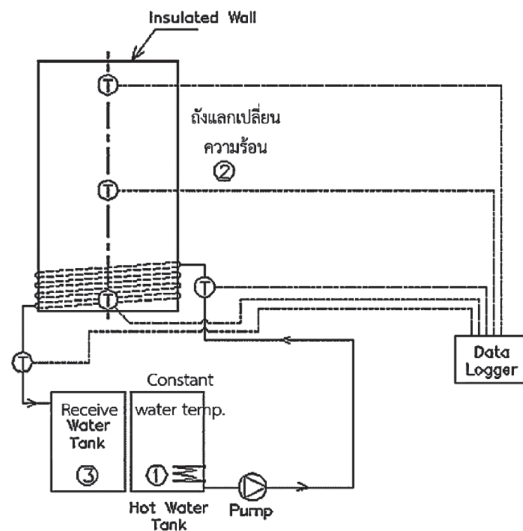
1) เติมน้ำในถังต้มน้ำร้อนให้ได้ระดับที่กำหนดไว้ แล้วต้มน้ำในถังให้ได้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

2) เติมน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณ 45 ลิตร ลงในถังแลกเปลี่ยนความร้อน

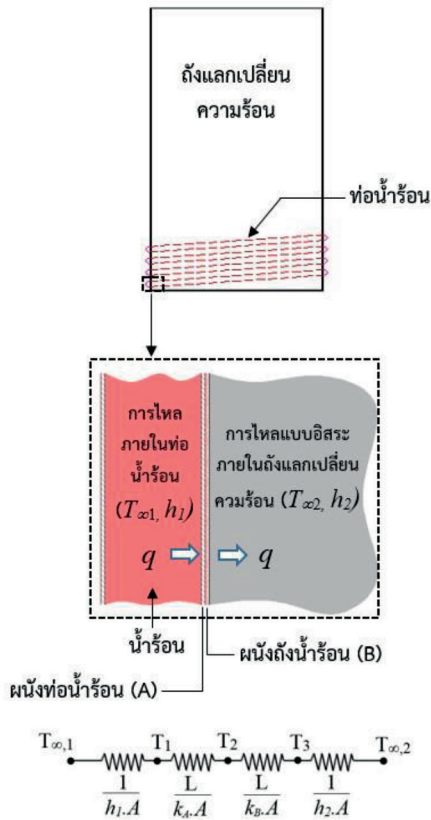
3) เปิดเครื่องสูบน้ำร้อนสูบน้ำไปยังขดท่อทองแดง ที่เป็นท่อความร้อนรอบถังแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งน้ำที่แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะไหลเข้าไปยังถังเก็บน้ำอีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 5 การทดสอบนี้ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที โดยการวัดอัตราการไหลจะใช้วิธีการชั่งปริมาณน้ำที่ถังเก็บน้ำเพื่อให้ได้อัตราการไหลที่แน่นอน

4) บันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของน้ำร้อน และอุณหภูมิของน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อน 3 จุด คือ ด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบนดังรูปที่ 4 ก ทุก 1 นาที เป็นเวลา 120 นาที

5) การทดลองจะมีอยู่ 3 แบบ คือ การทดลองเพื่อหาตำแหน่งของการพันท่อรอบถัง การทดลองรูปแบบการเว้นระยะห่างของท่อ และการทดลองการกวนน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 5 แผนผังการทดลอง



รูปที่ 6 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อน้ำร้อนไปยังน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อน

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการหาปริมาณการถ่ายเทความร้อน

ในงานวิจัยนี้ เป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนท่อไปยังน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อน โดยในท่อน้ำร้อนจะเป็นการถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ จากนั้นความร้อนจะถูกนำผ่านผิวท่อและผนังถังแลกเปลี่ยนความร้อนไปยังน้ำในถัง และการถ่ายเทความร้อนในถังจะเป็นการพาความร้อนแบบอิสระแบบการไหลไม่คงตัว ดังแสดงรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าผนังสองชั้นซึ่งเป็นวัสดุแตกต่างกัน โดยค่าการถ่ายเทความร้อนจะเป็นไปตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R_t} \tag{1}$$

โดยที่

q = ค่าการถ่ายเทความร้อน

$\sum R_t$ = ค่าความต้านทานทางความร้อนรวมของผนัง

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของทั้งระบบ

ดังนั้นสามารถแสดงสมการการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหลายชั้นในรูปของความต้านทานทางความร้อนได้สมการต่อไปนี้

$$q = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\left[\frac{1}{h_1 \cdot A} + \left(\frac{L_A}{k_A \cdot A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B \cdot A} \right) + \left(\frac{1}{h_2 \cdot A} \right) \right]} \tag{2}$$

โดยการคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$Q_c = m_c (Cp_c) (T_{c,fi} - T_{c,int}) \tag{3}$$

โดยที่

Q_c = ปริมาณความร้อนที่ถังแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับ (กิโลจูล)

m_c = มวลน้ำในถัง (กิโลกรัม)

Cp_c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ: Specific Heats (กิโลจูล/กิโลกรัมเคลวิน)

$T_{c,int}$ = อุณหภูมิเริ่มต้น (เคลวิน)

$T_{c,fi}$ = อุณหภูมิสุดท้าย (เคลวิน)

ดัชนีที่ใช้บ่งบอกสมรรถนะ คือ ค่าประสิทธิภาพ (Effectiveness) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{Q_{max}} \tag{4}$$

หรือ

$$\varepsilon = \frac{m_c(Cp_c)(T_{c,fi} - T_{c,int})}{m_c(Cp_c)(T_{h,in,av} - T_{c,int})} \quad (5)$$

โดยที่

ε = ประสิทธิภาพ

Q_{max} = ปริมาณการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด (กิโลจูล)

$m_c(Cp_c)$ = ผลคูณของมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลในถังแลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{h,in,av}$ = ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ทางเข้าท่อน้ำร้อนของด้าน $T_{h,in}$

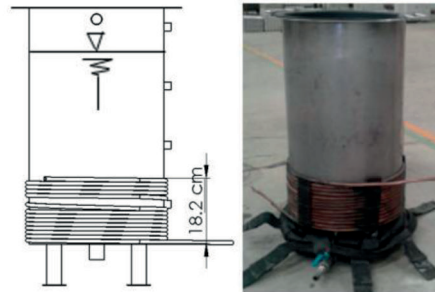
2.4 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สำหรับการวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักนั้น ตาชั่งที่ใช้มีความเที่ยงตรงเท่ากับ ± 0.1 กรัม และการจับเวลามีความคลาดเคลื่อน ± 1 วินาที ทำให้ค่าความไม่แน่นอนของการคำนวณค่าอัตราการไหลมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.73 ส่วนการคำนวณหาค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนนั้น ค่าความเที่ยงตรงของการวัดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ ± 0.1 องศาเซลเซียส ทำให้การคำนวณค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่ถึงแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับมีค่าความไม่แน่นอนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 1.42

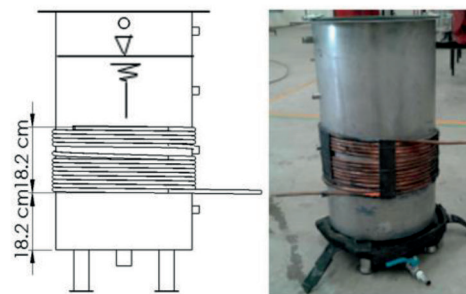
3. ผลการทดสอบ

3.1 การศึกษาตำแหน่งของท่อความร้อน

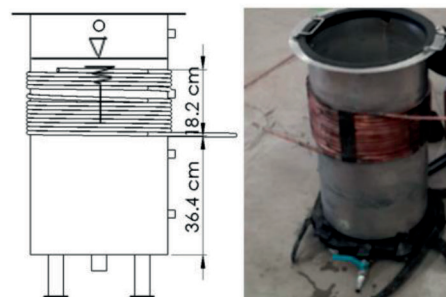
การทดลองการถ่ายเทความร้อนได้กำหนดตำแหน่งของท่อความร้อนที่ถึงแลกเปลี่ยนความร้อนไว้ 3 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ตำแหน่งชิดผนังด้านล่าง ตำแหน่งกึ่งกลางผนัง และตำแหน่งชิดผนังด้านบนของถังแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 7



ก) ตำแหน่งชิดผนังด้านล่าง



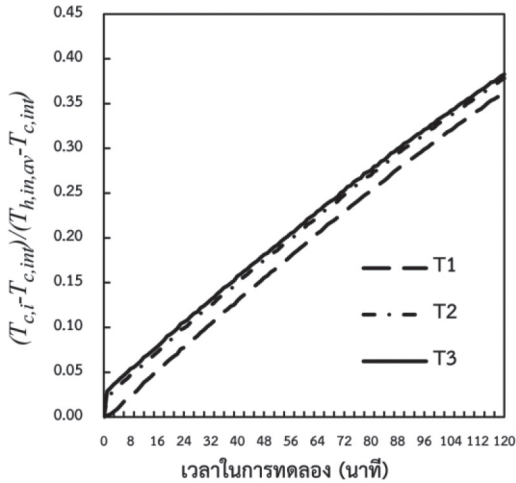
ข) ตำแหน่งกึ่งกลางผนัง



ค) ตำแหน่งชิดผนังด้านบน

รูปที่ 7 ตำแหน่งการพันท่อความร้อน

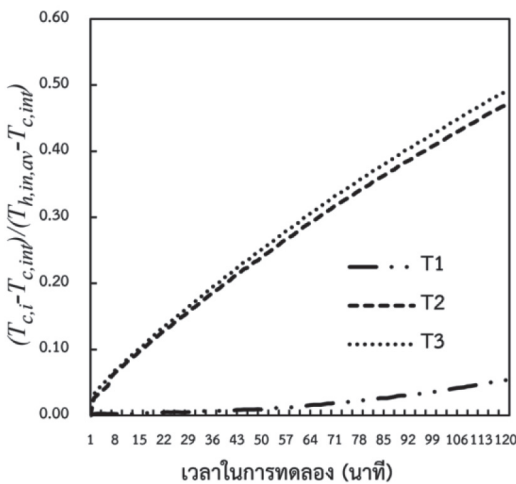
เมื่อทดสอบและเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆจนครบเวลาแล้วสามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาสรุปเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 8-10 โดยรูปที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อพันท่อน้ำร้อนที่ตำแหน่งชิดผนังด้านล่าง ซึ่งจากรูปที่ 8 จะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกันทั้งสามจุด



$T_{c,i}$ = อุณหภูมิของน้ำ ณ จุดวัด ที่นาที่ที่ i (เคลวิน)

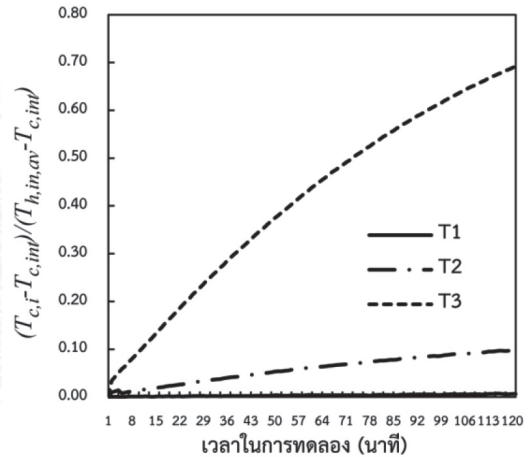
รูปที่ 8 อุณหภูมิของน้ำเมื่อพันท่อน้ำร้อนที่ตำแหน่ง
ซิดผนังด้านล่าง

รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิของน้ำเมื่อพันท่อน้ำร้อนที่ตำแหน่งกึ่งกลางผนัง จากรูปจะเห็นว่าเมื่อสิ้นสุดเวลาการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่จุดวัด T1 จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่วนจุดวัด T2 และ T3 อุณหภูมิต่ำ ๆ เพิ่มขึ้นต่างจากจุดวัด T1 อย่างชัดเจน



รูปที่ 9 อุณหภูมิของน้ำเมื่อพันท่อน้ำร้อนที่ตำแหน่ง
กึ่งกลางผนัง

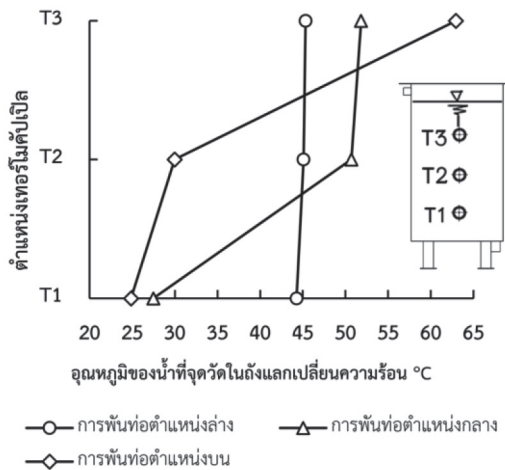
รูปที่ 10 แสดงอุณหภูมิของน้ำเมื่อพันท่อน้ำร้อนที่ตำแหน่งซิดผนังด้านบน จากรูปจะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำที่จุดวัด T1 จะไม่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนจุดวัด T2 จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและจุดวัด T3 อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นต่างจากจุดวัด T1 และ T2 อย่างชัดเจน



รูปที่ 10 อุณหภูมิของน้ำเมื่อพันท่อน้ำร้อนที่ตำแหน่ง
ซิดผนังด้านบน

สำหรับการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่จุดวัด 3 จุดในถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่เวลา 120 นาที แสดงได้ดังรูปที่ 11 จากรูปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำที่จุดวัดในถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตำแหน่งการวัดที่ T1 จะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในทุกตำแหน่งการพันท่อน ส่วนที่ตำแหน่งที่ T3 จะมีอุณหภูมิของน้ำที่จุดวัดสูงที่สุดเนื่องจากน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวอยู่ด้านบน

เมื่อพิจารณาแต่ละถังแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าถังที่มีการพันท่อนในตำแหน่งซิดผนังด้านล่างจะมีการกระจายอุณหภูมิก่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนถังที่พันท่อนในตำแหน่งซิดผนังด้านบนของถังจะทำให้อุณหภูมิของน้ำแต่ละตำแหน่งแตกต่างกันมาก แต่จะให้น้ำมีอุณหภูมิสูงที่สุด สำหรับการวัดในตำแหน่งที่ 3 เหมาะสำหรับผู้ใช้น้ำที่ต้องการน้ำที่มีอุณหภูมิสูงในปริมาณน้อย ๆ ในบางช่วงเวลา อาจเลือกวิธีการพันท่อนในตำแหน่งนี้ได้



รูปที่ 11 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่จุดวัดในตำแหน่งต่าง ๆ ณ เวลา 120 นาที

หลังจากสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 120 นาที ผู้วิจัยได้กวนน้ำในถังให้น้ำภายในถังมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันทุกจุด (ซึ่งอุณหภูมิทั้ง 3 จุด จะมีค่าต่างกันไม่เกิน ± 0.1 องศาเซลเซียส) จากนั้นจึงนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ได้มาคำนวณค่าประสิทธิผลด้วยสมการที่ (5) ซึ่งจะได้ค่าดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิผลของแต่ละตำแหน่งการพันท่อ

ค่า	ตำแหน่งการพันท่อความร้อน		
	ชิดผนังด้านล่าง	กึ่งกลางผนัง	ชิดผนังด้านบน
ค่าประสิทธิผล (ϵ)	0.369	0.334	0.259
การเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลแต่ละตำแหน่งกับตำแหน่งชิดผนังด้านล่าง	100%	90.6%	70.4%

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าประสิทธิผลที่ได้จากการพันท่อความร้อนในตำแหน่งล่างจะมีค่าสูงที่สุด ส่วนตำแหน่งกึ่งกลางผนังและตำแหน่งชิดผนังด้านบนของถังจะให้ค่าลดลงเป็นร้อยละ 90.6 และ 70.4

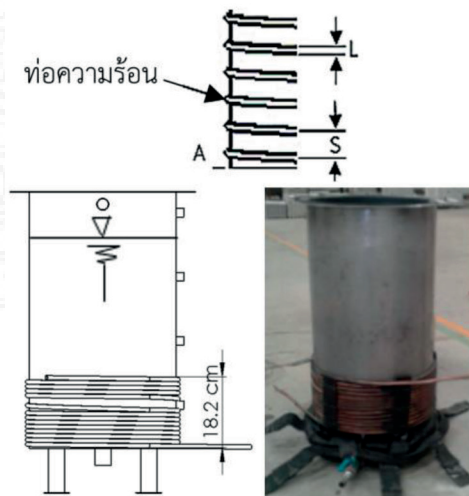
ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตำแหน่งชิดผนังด้านล่าง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการพันท่อของถังที่ตำแหน่งชิดผนังด้านล่างของถังแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นสูงที่สุดและได้ค่าประสิทธิผลที่สูงที่สุด

3.2 การศึกษาการกระจายตัวของท่อน้ำร้อน

ผลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งการพันท่อที่มีการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดในการศึกษาตำแหน่งของท่อความร้อนแล้ว การวิจัยทำการทดลองเรื่องการกระจายตัวของท่อความร้อนตามสมมติฐานของ Q. H. Deng [7] ที่ระบุว่า การถ่ายเทความร้อนในช่องปิดรูปสี่เหลี่ยมจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการแบ่งแหล่งความร้อนออกเป็นหน่วยย่อย ๆ โดยการทดลองจะเว้นระยะห่างระหว่างท่อความร้อนเท่ากับ 1, 2, 3 และมากที่สุด ที่เว้นไว้คือ 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยกำหนดให้

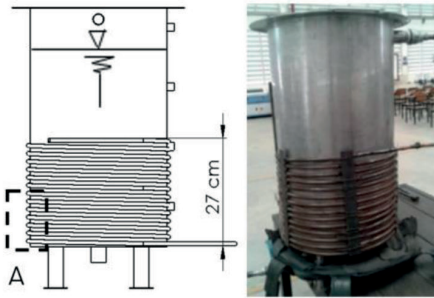
L คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่วน

S คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางท่อ

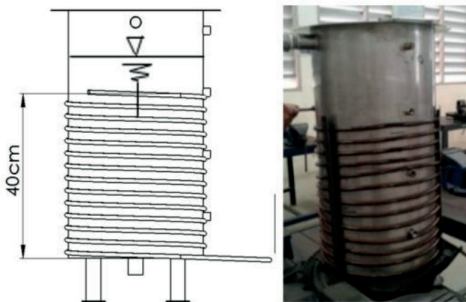


ก) $S/L = 1$

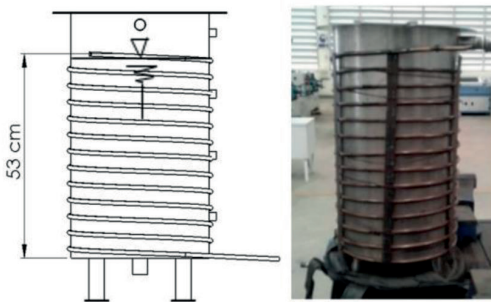
รูปที่ 12 การพันท่อความร้อนแบบเว้นระยะห่าง



ข) S/L = 2



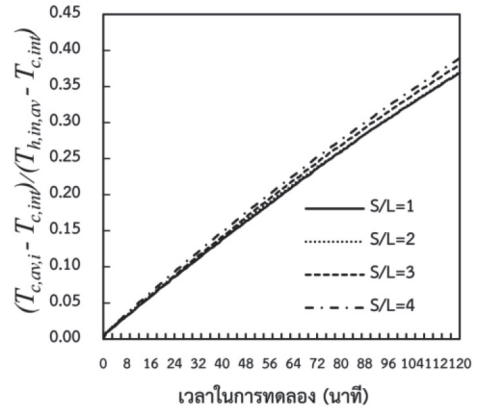
ค) S/L = 3



ง) S/L = 4

รูปที่ 12 การพันท่อความร้อนแบบเว้นระยะห่าง

จากการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบมีการกระจายตัวของท่อพบว่า ช่วงแรกของการเก็บข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อนของแต่ละระยะห่างจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 13 เมื่อเก็บข้อมูลการทดลองครบ 120 นาที พบว่า น้ำในถังที่มีการพันท่อความร้อนแบบเว้นระยะห่าง S/L เท่ากับ 4 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสูงที่สุด



$T_{c,av,i}$ = อุณหภูมิเฉลี่ย ณ จุดวัดของน้ำในถังที่นาที่ i ในถังแลกเปลี่ยนความร้อน (เคลวิน)

รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำในแต่ละระยะห่างของท่อความร้อน

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการทดลอง มาคำนวณค่าประสิทธิภาพทั้งสามแบบด้วยสมการที่ (5) ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพของการเว้นระยะห่างท่อ

ค่า	ระยะห่างของท่อความร้อน			
	S/L=1	S/L=2	S/L=3	S/L=4
ค่าประสิทธิภาพ	0.369	0.371	0.382	0.390

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการเว้นระยะห่างท่อกับการพันท่อตำแหน่งชิดผนังด้านล่าง	100%	100.8%	103.6%	105.8%
--	------	--------	--------	--------

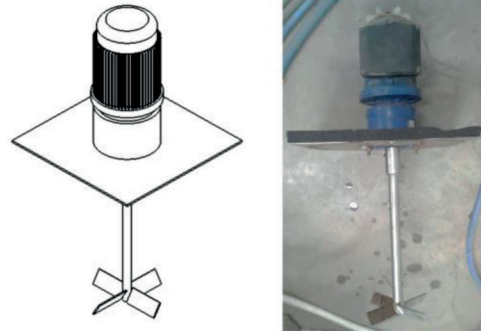
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเว้นระยะห่างของท่อมากขึ้น จะทำให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้สูงขึ้นตาม โดยจากการพันท่อความร้อนที่เว้นระยะห่างระหว่างท่อ S/L เท่ากับ 4 จะมีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 5.8 เมื่อเทียบกับการพันท่อแบบชิดกัน ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Q. H. Deng [7] ที่ระบุว่า การถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นเมื่อจัดเรียงแหล่งความร้อนแบบเว้นระยะห่างที่ไม่ให้ชิดกัน แต่การทดลองนี้เป็นการศึกษาการไหลที่มีลักษณะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งการไหลจะมีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ P. Yaruang et al. [8] ที่จำลองการถ่ายเทความร้อนของถังน้ำร้อนทรงกระบอกที่มีแหล่งความร้อนรอบถังด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการจำลองพบว่า ลักษณะการไหลในถังน้ำร้อนเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งการเว้นระยะห่างของการพันท่อมากขึ้น จะทำให้แหล่งความร้อนกระจายตัวไปยังแหล่งรับความร้อนได้อย่างทั่วถึง ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากท่อน้ำร้อนไปยังน้ำในถังเร็วขึ้น

3.3 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยการกวนน้ำที่ถังแลกเปลี่ยนความร้อน

ผลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งการพันท่อที่มีการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดในการศึกษาตำแหน่งของท่อความร้อนและรูปแบบของการจัดวางท่อความร้อนที่ดีที่สุดจากการศึกษาการกระจายตัวของท่อน้ำร้อน นำมาทดลองเพิ่มเติม ด้วยการกวนน้ำในถังจากการติดตั้งมอเตอร์ใบกวน ที่ใช้มอเตอร์ขนาดกำลังไฟฟ้า 370 วัตต์ ความเร็ว 1,400 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 14 เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการถ่ายเทความร้อนเทียบกับแบบไม่มีการกวนน้ำ

จากการทดลองการถ่ายเทความร้อนโดยการกวนน้ำ ที่กำหนดให้มีการกวนน้ำทั้งแบบที่มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังแบบที่มีการกวนน้ำทั้ง 2 แบบ มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสูงขึ้นเท่ากัน และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสูงขึ้นจาก

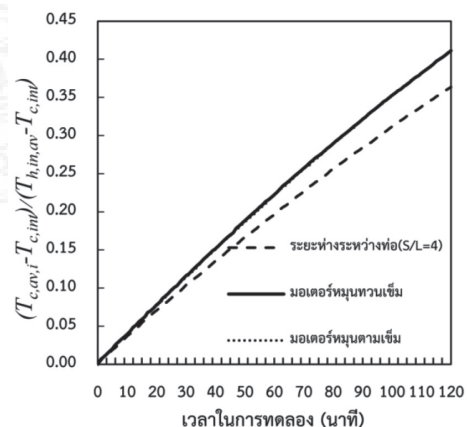
เดิมของถังแบบที่ไม่มีมีการกวนน้ำดังแสดงในรูปที่ 15



ก) มอเตอร์ตีตใบกวน



ข) การติดตั้งมอเตอร์ใบกวนกับถังน้ำร้อนรูปที่ 14 มอเตอร์ตีตใบกวนบนถังน้ำร้อน



รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำเมื่อติดตั้งมอเตอร์ใบกวน

เมื่อนำข้อมูลการทดลองการถ่ายเทความร้อน โดยการกวนน้ำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน ในสมการที่ (5) จะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนแบบมีการกวนน้ำเทียบกับแบบไม่กวนน้ำ

ค่า	ระยะ	กวนน้ำ	กวนน้ำ
	ห่างท่อ S/L=4	ทวนเข็ม นาฬิกา	ตามเข็ม นาฬิกา
ค่าประสิทธิภาพ (ϵ)	0.390	0.412	0.412
การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพระหว่างการกวนน้ำกับการเว้นระยะห่างท่อ S/L=4	100%	105.6%	105.6%

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ค่าประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนแบบที่มีการกวนน้ำมีค่าสูงขึ้นร้อยละ 5.6 และเมื่อคำนวณพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการกวนน้ำเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้พบว่า ค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานจากการติดมอเตอร์ใบกวน

ค่า	มอเตอร์แบบ	มอเตอร์
	ทวนเข็ม นาฬิกา	แบบตาม เข็มนาฬิกา
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ (กิโลจูล)	1,353.60	1,461.60
พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น (กิโลจูล)	249.81	265.62

ผลการเปรียบเทียบด้านพลังงานของตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า พลังงานที่ทำให้น้ำมีการไหลแบบ

ปั่นป่วนมากขึ้น เพื่อที่จะทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนในถังสูงขึ้นนั้น มีค่ามากกว่าพลังงานความร้อนที่ได้รับ จึงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่ทั้งนี้ในการทดลองนี้มิได้พิจารณาเรื่องความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมในการกวน ซึ่งความเร็วรอบที่เหมาะสมอาจจะลดการใช้พลังงานในการกวนลงและทำให้เกิดความคุ้มค่าได้ ซึ่งอาจจะนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต

4. สรุป

จากการทดลองการถ่ายเทความร้อนในถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนผ่านท่อทองแดงที่พันรอบถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณต่าง ๆ ในระยะเวลา 120 นาที สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1) การถ่ายเทความร้อนของถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแหล่งความร้อนอยู่ชิดผนังด้านล่างจะมีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางผนังถึงและชิดผนังด้านบน
- 2) เมื่อมีการกระจายแหล่งความร้อนโดยการเว้นระยะห่างระหว่างท่อน้ำร้อนออกไปจะทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นตามระยะห่างที่สูงขึ้น
- 3) การกวนน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นของงานวิจัยนี้นั้น ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนเพราะพลังงานที่ใช้สำหรับใบกวนมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยภายใต้โครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2560 จากมหาวิทยาลัยพะเยา รวมทั้งสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. A. Clark, R.N. Smith and M.K. Jensen, "An Experimental study of Waste Heat Recovery from a Residential Refrigerator," in *Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC96)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington, USA, 1996, pp. 1887-1892.
- [2] T. Watesapan, N. Somsuk, T. Borirak and S. Teekasap, "Maximizing the Utilization of Air Conditioning Unit's Energy," *EAU Heritage Journal*, vol.6, no.1, pp. 49-55, Jan. 2012.
- [3] H. Wongsuwan, "A Hot Water from Condensing Unit of a Split Type Air Conditioning and Controlled with Microcontroller," in *Proceeding of the 22nd Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Thammasat University, Pathum Thani, Thailand, 2008, pp. 155-159.
- [4] PAC Co., Ltd. (2017, Oct 20). Wrap tank. [Online]. Available: <http://www.pac.co.th/product-overview/pac-frenergy/>
- [5] N. Katkhaw and S. Putivisutisak, "Mathematical Modeling for Radiation in Radiant Cooling Room," in *Proceeding of the 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Royal Thai Air Force Academy, Chonburi, Thailand, 2007, pp. 172-178.
- [6] A. Muftuoglu and E. Belgin, "Natural convection in an open square cavity with discrete heaters at their optimized positions," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 47, no. 4, pp. 369-377, Apr. 2008.
- [7] Q. H. Deng, "Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics of Natural Convection in Square Cavities due to Discrete Source-Sink Pairs," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 51, no. 25, pp. 5949-5957, Dec. 2008.
- [8] P. Yaruang, N. Pongpanich and N. Katkhaw, "Simulation of Heat Transfer in Hot Water Tank with Outside Heat Source," in *Proceeding of the 14th Conference on Energy Network of Thailand*, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rayong, Thailand, 2018, pp. 41-46.