การประเมินสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนโดยใช้ฮีตปั๊มสำหรับหอพักใหม่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Performance assessment of a heat pump water heating system for a new dormitory of Suranaree University of Technology

ธนิต หินไลเลิศ*, ฑีรพรรษฎ์ ศรีอ่อน และ อาทิตย์ คูณศรีสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา **30000**
E-mail:blebaboow@hotmail.com*, โทร: 0-4422-4410 ,โทรสาร: 0-4422-4411

บทคัดย่อ

ระบบ heat pump สำหรับทำน้ำร้อนเป็นระบบที่ทำงานโดยใช้ไฟฟ้าขับเคลื่อนวัฏจักรน้ำยาแอร์ในระบบให้ไปดึงความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปจ่ายที่ถังน้ำร้อน ในงานชิ้นนี้เราจะทำการออกแบบ จำลองระบบและคำนวณค่าใช้จ่ายของระบบ heat pump (HPWH) สำหรับทำน้ำร้อนสำหรับอาบในหอพักนักศึกษาขนาด 60 ห้อง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย โดยระบบนี้จะออกแบบโดยอิงฐานข้อมูลความต้องการน้ำและฐานข้อมูลอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดไทย โดยจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม TRNSYS เพื่อหาค่าไฟฟ้ารายปี อีกทั้งยังทำการจำลองระบบการทำน้ำร้อนแบบใช้ heater ไฟฟ้าทั้งแบบรวมศูนย์ (CWHS) และ (IWHS) ซึ่งเป็นที่นิยมขึ้นมาเปรียบเทียบด้วย จากผลการจำลอง พบว่า ใช้ไฟฟ้ารายปีของระบบ HPWH ต่ำกว่า CWHS และ IWHS อยู่ 77% และ 77.8% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าหากเลือกลงทุนกับ HPWH แทนที่ CWHS และ IWHS จะมีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 1 ปี 2 เดือน และ 3 ปี 3 เดือนตามลำดับ

คำหลัก: ระบบ heat pump สำหรับทำน้ำร้อน, TRNSYS, การใช้ไฟฟ้า, การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.

Abstract

The heat pump water heating system (HPWH) operates by using electricity to circulate the refrigerant to transfer heat from the surrounding air to the hot water tank. This study presents a design, modeling and assessment of a HPWP for a 60-room dormitory of Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. The system is designed based on the typical water requirement of dormitory bathrooms and the available data of commercial HPWP units sold in Thailand. Then the system is simulated using TRNSYS program. For the sake of comparison, the simulations of the hot water generation using a central water heating system (CWHS) and an individual water heating system (IWHS) are also carried out. The annual energy consumption of each system is evaluated and compared. It was found that the electrical power consumption of the HPWP is 77% and 77.8% of the CWHS and IWHS, respectively. The economic analysis reveals that the payback period of the replacement of IWHS with HPWH is about 3 years 3 months and it is about 1 year 2 months for the replacement of CWHS with HPWH.

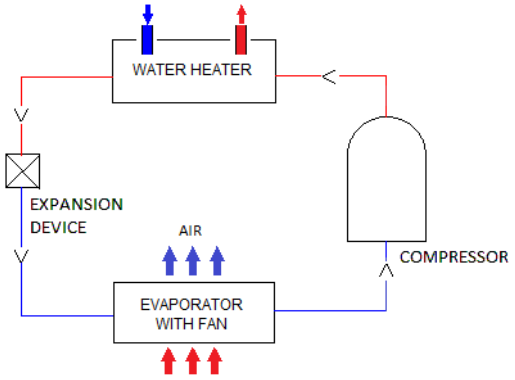
Keywords: heat pump water heating system, TRNSYS, electrical power consumption, economic analysis.

1.บทนำ

ในอาคารพักอาศัยทั่วไป สัดส่วนพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะแบ่งไปอยู่ใน 3 ระบบหลักๆ ได้แก่ระบบปรับอากาศ การให้แสงสว่างและระบบทำน้ำร้อน ซึ่งจัดเป็นส่วนที่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอาคารจำพวกร้านอาหาร รีสอร์ท โรงแรม หรือร้านซักรีดต่าง ๆ จะมีความต้องการใช้น้ำร้อนมากเป็นพิเศษ Kokkinides et al. [1]

Techato [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นมาเกี่ยวกับธุรกิจทำน้ำร้อนในไทย พบว่าระบบทำน้ำร้อนในประเทศไทยไม่ได้ถูกให้ความสำคัญมากนัก แม้ว่ามูลค่ารวมของธุรกิจนี้มีมูลค่าถึง 3,000 ล้านบาท ต่อปี ซึ่ง M et al. [3] ได้ทำการสำรวจจากผู้บริโภคพบว่าเทคโนโลยีการทำน้ำร้อนนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ ทางเลือกหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือการทำน้ำร้อนจาก heater ไฟฟ้า (Electric resistance heating, ERH) เพราะมีราคาอุปกรณ์ที่ถูกและหาซื้อง่าย แต่มีอีกทางเลือกที่น่าสนใจเพราะสมรรถนะการทำความร้อนดีกว่า คือ ระบบปั๊มความร้อน (heat pump)

heat pump คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำจากแหล่งหนึ่ง (heat source) มาทำให้ร้อนขึ้นแล้วส่งไปยังแหล่งที่ต้องการซึ่งมีความร้อนอุณหภูมิสูง (heat sink) โดยใช้อุปกรณ์เช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศ แต่สามารถใช้ความร้อนที่ออกจากเครื่องเพื่อไปทำน้ำร้อนหรือลมร้อน ส่วนความเย็นที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นผลพลอยได้ เพื่อทำลมเย็นใช้ร่วมในการปรับอากาศ หรือนำไปผสมกับ อากาศใหม่ เพื่อเข้าเครื่องทำความเย็นต่อไป ส่วนประกอบของระบบของปั๊มความร้อนสำหรับทำน้ำร้อน (heat pump water heater, HPWH) จะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรการทำงานของ HPWH

อาจกล่าวได้ว่า Heat Pump ทำงานโดยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศหรือน้ำรอบข้าง ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วส่งไปถ่ายเทความร้อนให้อากาศหรือน้ำ ณ ที่ต้องการ อุณหภูมิของความร้อนที่ได้ไม่สูงมาก (<65°C) ขึ้นอยู่กับชนิดของ Refrigerant ที่ใช้ (R22, R134a, R407c) นอกจากทำน้ำร้อนแล้ว heat pump ยังใช้ทำอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง หรือทำให้อากาศอุ่นในอาคารได้

ในอดีตในประเทศไทยมีการนำระบบ heat pump มาใช้อยู่บ้าง แต่ยังไม่ค่อยเป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่เป็นที่รู้จักในวงกว้างและเป็นเทคโนโลยีที่มีงบลงทุนสูง ผู้ที่เข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้ มักเป็นเฉพาะกลุ่มคนที่มีฐานะดี หรือผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้านการใช้พลังงาน จากข้อมูลของ Techato [4] ระบบ heat pump ในประเทศไทยเริ่มมีการพัฒนาอย่างชัดเจนในช่วง พ.ศ. 2545 เพราะนโยบายด้านพลังงานของรัฐบาลโดยการให้เงินสนับสนุน เพราะการทำน้ำร้อนด้วย heat pump เป็นทางเลือกที่คุ้มค่าในการลงทุนในระยะยาว เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำ เมื่อเทียบกับระบบ ERH

ตัวแปรที่มีบทบาทต่อการพัฒนาของเทคโนโลยีนี้ คือ ราคา สมรรถนะ และความนิยมของผู้บริโภคในท้องตลาดเมืองไทย heat pump ที่ขายได้จึงไม่ใช่ตัวที่มีสมรรถนะที่สูง แต่จะเป็นตัวที่มีราคาถูกที่สุดตามจริตของคนไทย อย่างไรก็ตาม ด้วยนโยบายสนับสนุนด้านพลังงานของรัฐบาล ปัจจุบันระบบ heat pump เป็นที่นิยมมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โรงแรมและรีสอร์ทใหม่ๆต่างหันมาใช้ระบบ heat pump กันอย่างแพร่หลาย ตัวเลขการนำเข้า heat pump สูงขึ้นกว่า 20,000 เครื่อง ต่อปี ข้อมูลโดย SEC project [5] และจากข้อมูลจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรมรม [6] พบว่าโรงงานสร้างใหม่ในปี พ.ศ. 2553 มีจำนวนกว่า 250 โรง กว่า 60% ในนั้นมีการใช้น้ำร้อนในกระบวนการ ซึ่ง heat pump ได้เข้าไปมีบทบาทและมีตัวเลขการเติบโตในธุรกิจ heat pump ในวงการนี้เป็นมูลค่าราว 750 ล้านบาท ต่อปี

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ heat pump ทำน้ำร้อน HPWH ซึ่ง Morrison et al. [7] พบว่าตัวแปรสำคัญที่ คือ สภาพอากาศ ซึ่งในแต่ละฤดูการณ์จะมี อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเช่นอากาศ ก็จะ

แตกต่างกัน ทำให้ HPWH มีสมรรถนะที่เปลี่ยนแปลงไปตามกัน จากการศึกษาของ Zhen-hao et al.[8] ในกรณีที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมลดต่ำลง สมรรถนะของ HPWH ในการดึงความร้อนจากอากาศมาใส่ให้น้ำร้อนจะลดลงเช่นกัน Tassou et al. [9] ได้ทำการทดลองเพื่อหาสมรรถนะของ HPWH ในสภาวะอากาศในช่วงอากาศหนาวที่กรุงปักกิ่ง ประเทศจีน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) เฉลี่ยอยู่ที่ 3.2 และระบบดังกล่าวต้องมีการติด ERHS back up heater เพื่อช่วยทำความร้อนในช่วงที่อากาศหนาวจัดได้เพียงพอ

น้ำยาแอร์ (refrigerant) เป็นตัวหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะสำหรับ heat pump ซึ่งแต่ละตัวจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน สำหรับระบบ ASHPWH ซึ่งทำอุณหภูมิน้ำร้อนในช่วง 60-70°C นิยมใช้ R22 และ R134a แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาน้ำยาแอร์ตัวใหม่โดย Kruse [10] ชื่อ R410A และ R407C โดย Mei [11] รวมไปถึง CO_2 โดย Stene [12] เข้ามาแทนที่น้ำยาแอร์ตัวเดิมซึ่งสารใหม่พวกนี้มีข้อดีคือ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า และมีสมรรถนะการทำงานที่สูงกว่าของเดิม

ขนาดของอุปกรณ์ในระบบ HPWH เป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน โดยจะประกอบด้วย 4 อุปกรณ์พื้นฐานดังรูปที่ 1 ซึ่งอาจมีอุปกรณ์ใหม่เพิ่มเติมเข้าไปเช่น back up heater, ถังเก็บน้ำร้อน และอื่น ๆ ตามสถานการณ์ โดยแต่ละอุปกรณ์ต้องมีขนาดที่เหมาะสมจึงจะสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์

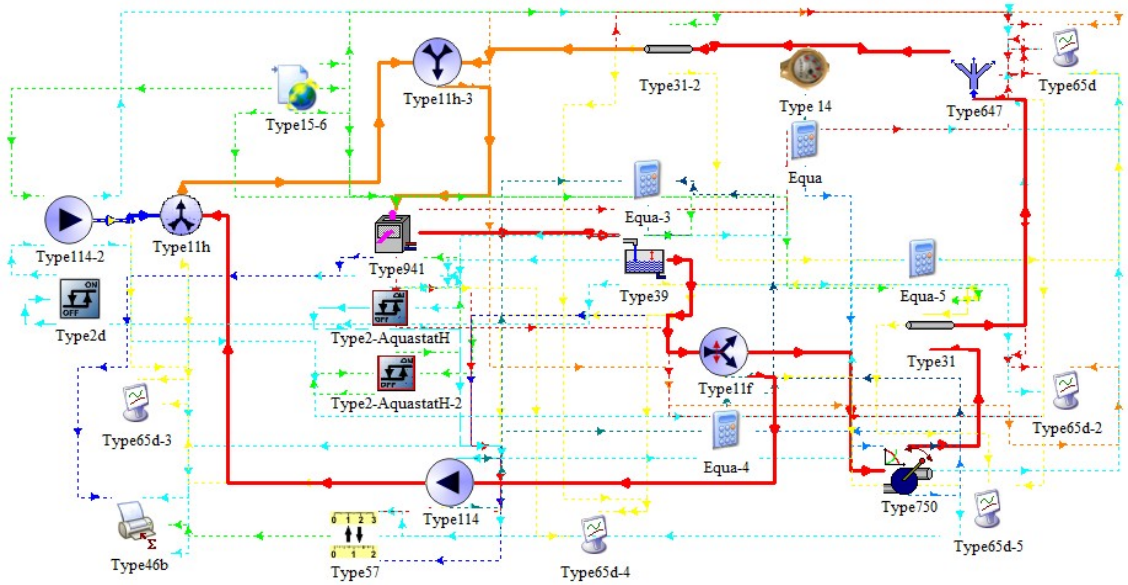
โดยในงานวิจัยของ Umezu et al. [13] ทำการสร้างชุดทดลอง HPWH เพื่อทำการเปลี่ยนขนาดของ compressor ขนาด 8 kW ซึ่งผลการทดลองได้ว่า การลดขนาด compressor ทำให้มีการจังหวะการ เปิด-ปิด ถี่ขึ้นและทำให้ ERHS back up heater ทำงานบ่อยขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าระบบใหม่ที่มีขนาด compressor เล็กลงช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้น 15%

โปรแกรม TRNSYS เป็นทางซอฟต์แวร์ที่เป็นที่นิยมในการใช้จำลองระบบด้านความร้อน โดย Cabrol et al. [14] ได้ใช้ TRNSYS ในการทำการทำนายการใช้พลังงานของบ้านในประเทศอังกฤษ ที่มี ASHP สำหรับเก็บความร้อนไว้สำหรับสร้างความอบอุ่นในอาคาร และ Safa et al. [15] ได้ใช้ TRNSYS ทำการจำลองการใช้พลังงานของบ้านประหยัดพลังงานในประเทศแคนาดา ที่มีการติดตั้ง ASHP โดยพบว่า COP ของการทำความร้อนอยู่ที่ 1.79-5.00 ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอก

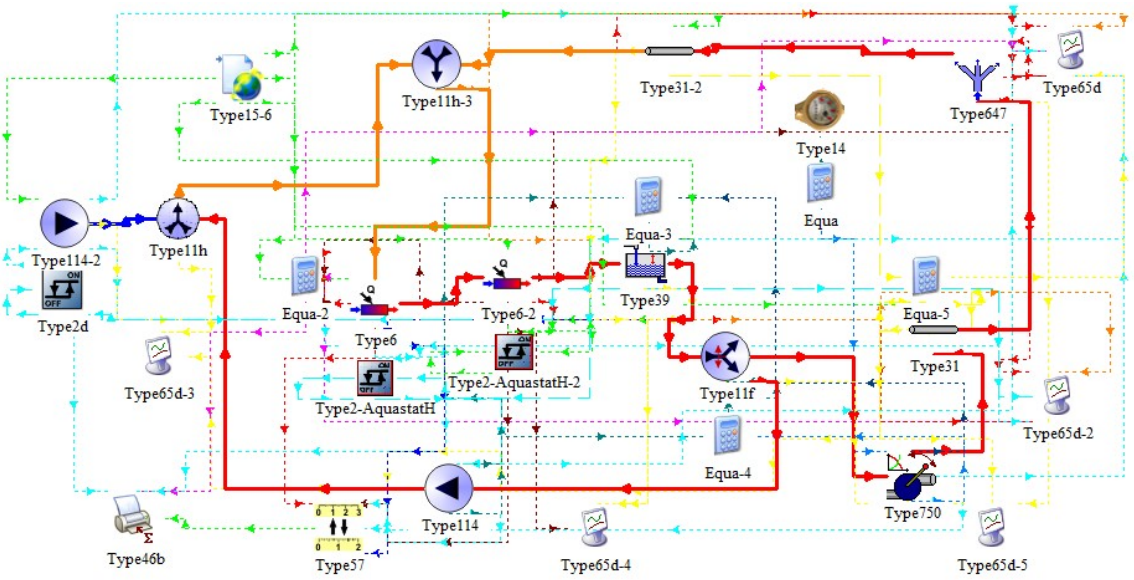
บทความนี้ ต้องการศึกษาระบบทำน้ำร้อนสำหรับอาคารหอพัก ขนาด 4 ชั้น 60 ห้อง ที่ตั้งอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โดยจะศึกษาสมรรถนะการทำน้ำร้อนของระบบ HPWH และเปรียบเทียบสมรรถนะกับระบบทำน้ำร้อนอีก 2 ระบบ ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนด้วย heater ไฟฟ้า แบบรวมศูนย์ (Central Water heating system, CWHS) และระบบทำน้ำร้อนด้วย heater ไฟฟ้าแบบแยกตามห้อง (Individual water heating system, IWHS) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะและพลังงานไฟฟ้าที่ระบบทำน้ำร้อนแต่ละตัวใช้และคำนวณค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ด้วยโปรแกรม TRNSYS เพื่อจำลองการทำงานภายใต้สภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมา

2. โปรแกรมและการจำลองระบบ

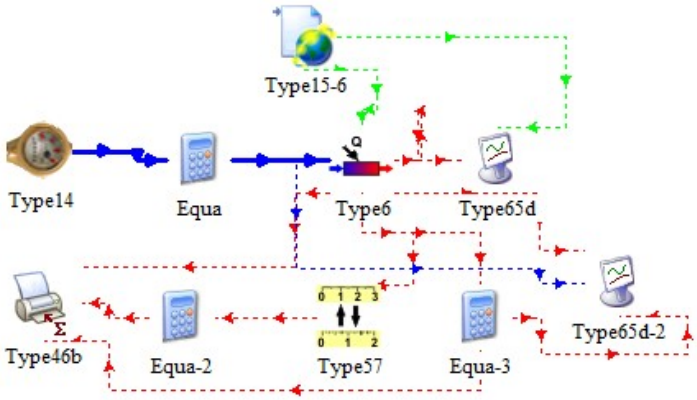
TRNSYS เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถจำลองระบบความร้อนด้านต่างๆแบบ unsteady ได้ ตัวโปรแกรมจะมีการเชื่อมต่อ module ต่างๆ เข้าด้วยกัน ทางผู้วิจัยได้จำลองระบบทำน้ำร้อนขึ้นมาด้วยกัน 3 ระบบหลักๆ ได้แก่ HPWH CWHS และ IWHS ซึ่งลักษณะแผนภาพและตารางข้อมูล module ของแต่ละระบบจะปรากฏดังรูปที่ 1-3 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพโปรแกรม TRNSYS สำหรับระบบทำน้ำร้อนจากอุปกรณ์ HPWH



รูปที่ 2 แผนภาพโปรแกรม TRNSYS สำหรับระบบทำน้ำร้อนจากอุปกรณ์ CWHS

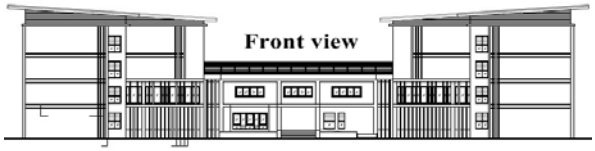


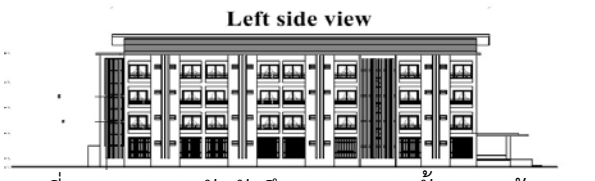
รูปที่ 3 แผนภาพโปรแกรม TRNSYS สำหรับระบบทำน้ำร้อนจากอุปกรณ์ IWHS

ตารางที่ 1 หน้าที่และ Type ของโปรแกรม TRNSYS ของแต่ละ Module ในระบบ 1-3

Module	type	หน้าที่
1.HPWH	941	อุปกรณ์ทำน้ำร้อนชนิด air to water heat pump
2.ERH	6	อุปกรณ์ทำน้ำร้อนโดยใช้ Heater ไฟฟ้า
3.ถังเก็บน้ำร้อน	39	เก็บน้ำร้อนที่ได้จากอุปกรณ์ทำน้ำร้อน
4.ปั๊มจ่ายน้ำสู่อาคาร	750	จ่ายน้ำร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนสู่อาคาร
5.ปั๊ม return	114	จ่ายน้ำจากถังเก็บไปทำความร้อนใหม่ที่อุปกรณ์ทำน้ำร้อน
6.ตัวคุมอุณหภูมิ	2, 2-2	เปิด-ปิดอุปกรณ์ทำน้ำร้อนและตัวอุปกรณ์ทำน้ำร้อนช่วยโดยคุมอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนให้ได้ตามที่กำหนด
7.ตัวคุมระดับน้ำ	2d	คุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำร้อนโดยเปิด-ปิดการจ่ายน้ำประปาเข้าระบบ
8.ปั๊มน้ำประปา	114-2	สร้างน้ำประปาเข้าสู่ระบบ
9.ตัวคุมการจ่ายน้ำ	14	แจ้งปริมาณน้ำที่จ่ายสู่อาคารตามความต้องการในช่วงเวลาต่างๆ
10.ท่อน้ำร้อน	31, 31-2	คำนวณความร้อนสูญเสียจากท่อน้ำร้อนระหว่างเดินทางเข้าและออกจากอาคารตามลำดับ

เป้าหมายของงานวิจัยคือการทำน้ำร้อนสำหรับใช้อาบน้ำ ในอาคารหอพักแบบห้องน้ำในตัว มีผู้อาศัยอยู่ห้องละ 2 คน หอพักมีลักษณะดังรูปที่ 4 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการได้จะอยู่ที่ 45 °C ซึ่งระบบจะทำการสร้างน้ำร้อน 60 °C ไว้เพื่อรอผสมกับน้ำประปาตามห้องน้ำในอาคารอีกครึ่งหนึ่ง ซึ่งผู้ใช้จะทำการปรับสัดส่วนน้ำร้อน-น้ำเย็นเองได้ตามความพอใจ การศึกษานี้เป็นการจำลองสภาพการทางานจริงของระบบทำน้ำร้อนในจังหวัดนครราชสีมา ต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ปี





รูปที่ 4 อาคารหอพักนักศึกษาขนาด 4 ชั้น 120 ห้อง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

HPWH ที่ใช้จะมีคุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องดังตารางที่ 2 ซึ่งหลักการของระบบนี้จะอาศัยการดึงความร้อนจากอากาศมาทำน้ำร้อนที่ heat pump แล้วจ่ายน้ำร้อนดังกล่าวสู่อาคารหอพักเพื่อบริโภค น้ำจะออกจากระบบไปที่อุปกรณ์ Type647 และ bypass อัตราการไหลน้ำร้อน 10% กลับมายังส่วนทำความร้อน น้ำที่เรานำมาทำความร้อนจะใช้น้ำประปาซึ่งอุณหภูมิของน้ำจะจำลองให้เท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม หลังจากที่ผ่านอุปกรณ์ทำน้ำร้อนแล้ว จะถูกนำไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อน ในถังจะมีการควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนให้ได้ค่า 60±2°C โดยหากน้ำร้อนอุณหภูมิไม่ได้ตามที่กำหนด ตัวควบคุมอุณหภูมิจะสั่งเปิดปั๊ม return ส่งน้ำกลับมาเข้าอุปกรณ์ทำน้ำร้อนซ้ำ ในกรณีที่อุณหภูมิในถังเก็บลดลงเกิน 3 °C ตัวควบคุมอุณหภูมิจะสั่งการให้อุปกรณ์ทำน้ำร้อนช่วยเปิดทำงานร่วมกัน จากนั้นน้ำร้อนที่ได้จะถูกปั๊มผ่าน ปั๊มจ่ายน้ำสู่อาคาร ซึ่งเป็นปั๊มชนิดปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งความเร็วรอบจะควบคุมโดย ตัวคุมการจ่ายน้ำ ที่ระบุความต้องการใช้น้ำไว้ในเวลาต่างๆ อุปกรณ์นี้จะป้อนความเร็วรอบที่ต้องการสู่ปั๊มดังกล่าว

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ HPWH GR TECH [16]

Model	HEAT PLUS 2
Heating Capacity (kW.)	25.9
Hot Water Flow Rate (Lph)	774
Water In Temperature (°C)	30
Water Out Temperature (°C)	60
Max Hot Water Outlet Temp.(°C)	70
Compressor type	Scroll

Refrigerant	R-134a
Air Flow Rate (m3/hr)	4250
Power at Recovery Rate Included all electrical parts (kW)	5.95

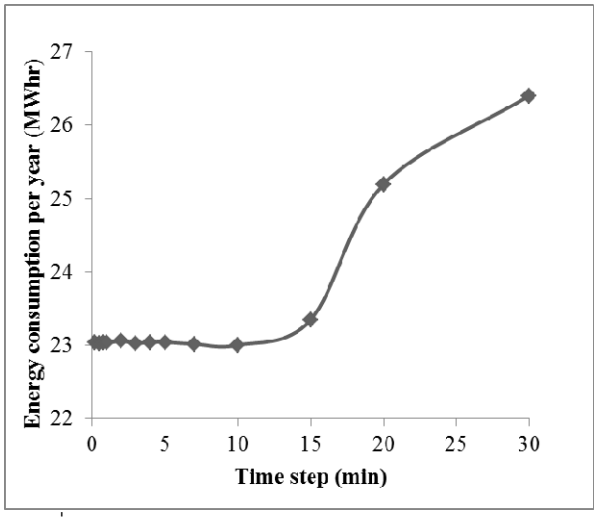
หลักการทำงานของ CWHS จะเหมือน HPWH ทุกประการ ยกเว้นอุปกรณ์ทำน้ำร้อนหลัก ระบบนี้จะใช้ ERHS เข้ามาแทนที่ HPWH โดยกำหนดให้มีความสามารถในการทำความร้อนที่มีกำลังเท่ากัน

หลักการทำงานของระบบ IWHS จะจำลองเหมือนการติดเครื่องทำน้ำอุ่นตามห้องขนาด 3 kW ทั้ง 60 ห้อง แยกกันซึ่งผู้ใช้ก็เปิดน้ำอาบได้โดยตรง ระบบนี้จะต่างจาก 2 ระบบแรกโดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 45 °C และใช้อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ต้องการเป็น 2 เท่าของทั้ง 2 ระบบแรก เนื่องจากเป็นการทำน้ำอุ่นอาบโดยตรงไม่ได้มีการผสมกับน้ำประปาอีกครึ่งหนึ่งเหมือน 2 ระบบก่อนหน้า

หลังจากที่ทำการจำลองทั้ง 3 ระบบโดยใช้ TRNSYS เราจะทำการหาค่าพลังงานที่ใช้รวมรายเดือน-ปี COP อุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้ เพื่อใช้ประเมินระบบคัดเลือกระบบที่ดีที่สุด

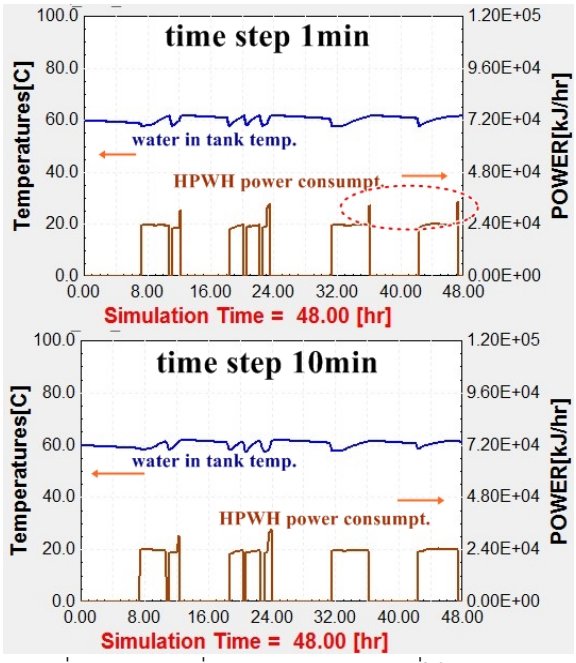
3. การหา time step ที่เหมาะสม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการคำนวณโดยใช้ time step ของโปรแกรม TRNSYS จากระบบ HPWH ระหว่าง 20 s ถึง 30 min แล้วเปรียบเทียบคำตอบจากแต่ละ time step ได้ผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Time step กับ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ต่อปี

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าค่า energy consumption ในช่วงเวลา time-step น้อยกว่า 10 min เป็นต้นไปมีค่าแตกต่างน้อยกว่า 1% แต่เมื่อ time-step ใหญ่กว่า 10 min ค่า energy consumption มีค่าแตกต่างจากค่า energy consumption ในช่วง 1–10 min มากกว่า 5% จึงเห็นว่า time-step ที่น่าสนใจคือ 10 min เนื่องจากจะให้ผลที่น่าพอใจโดยใช้เวลาคำนวณสั้น อย่างไรก็ตาม เมื่อไปพิจารณาลักษณะกราฟการใช้ไฟฟ้าของระบบดังรูปที่ 6 พบว่าในช่วง 10-2 min ลงมา ลักษณะกราฟการใช้ไฟฟ้ายังมีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการลด time step ไปอีกจาก 1 min ถึง 20 s พบว่า profile สามารถจับปรากฏการณ์ที่ละเอียดมากกว่าช่วง 2-10 min ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 6 และพบว่าตั้งแต่ time-step น้อยกว่า 1 min ลงไฟยังมี กราฟการใช้ไฟฟ้าที่ไม่เปลี่ยนแปลง การศึกษานี้จึงเลือกใช้ time step เท่ากับ 1 min และเรียกคำตอบที่ได้ว่า time-step-independent solution



รูปที่ 6 อุณหภูมิที่ tank และพลังงานที่ใช้ของ HPWH

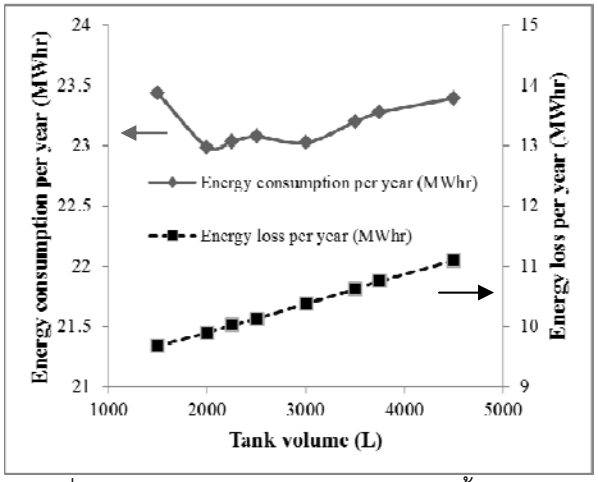
4. ผลและการอภิปราย

การศึกษานี้ได้ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าได้แก่ขนาดถังเก็บน้ำร้อนเพื่อกำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่ทำให้ระบบใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดปีต่ำที่สุด จากนั้นจะได้เปรียบเทียบกับระบบ

CWHS และ IWHS ทั้งในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่า COP โดยมีผลการจำลองดังนี้

4.1 อิทธิพลของขนาดถังเก็บน้ำร้อน

การศึกษาอิทธิพลของขนาดถังเก็บนาร้อน จะจำลองโดยเริ่มต้นใช้ถังน้ำร้อนขนาด 3,000 L ซึ่งเป็นขนาดที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำมาให้ โดยผู้วิจัยจะทำการเปลี่ยนขนาดถังน้ำร้อนตั้งแต่ 1,500–4,500 L ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดถังเก็บน้ำร้อน กับพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ต่อปีและปริมาณความร้อนที่ถังสูญเสียต่อปี

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าเมื่อลดขนาดถังน้ำร้อน Energy loss ก็จะลดลงตามเนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนที่ผนังถัง แต่พลังงานที่ใช้ไม่ได้ลดลงตามในขนาดถัง 2,500 L มีสาเหตุเนื่องจากการลดขนาดถึงทำให้ profile การจ่ายน้ำประปาเข้าถังน้ำร้อนถี่ขึ้น เพราะระดับน้ำในถังลดเร็วขึ้น โดยตั้งค่าไว้คือเมื่อระดับน้ำลดในถังลดต่ำกว่า 70% จะเปิดให้น้ำประปาจ่ายเข้ามาสู่ระบบด้วยอัตราการไหลคงที่ที่น้ำประปาทำได้ซึ่งการศึกษานี้ใช้ค่า 0.2 L/s โดยจังหวะที่น้ำถูกจ่ายเข้าระบบมานี้อุปกรณ์ทำน้ำร้อนจะต้องเปิดทำงานด้วยเช่นกัน เพื่อทำความร้อนน้ำประปานั้นก่อนส่งไปเก็บในถังน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำร้อนที่อุปกรณ์ทำน้ำร้อนทำได้นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลที่ผ่านอุปกรณ์ทำน้ำร้อนด้วย อัตราการไหลของน้ำเข้าอุปกรณ์ทำน้ำร้อนจะมาจาก 3 ส่วนด้วยกัน คือ น้ำประปาที่จ่ายเข้ามาใหม่, น้ำ bypass จากอาคารและน้ำที่ return จากถังมาทำความร้อนใหม่ หากอัตราการไหลมากจนไม่สามารถทำอุณหภูมิน้ำร้อนได้ทัน ระบบจะสั่งให้เปิด ERHS back up heater ช่วย ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการทำน้ำร้อนมากขึ้น เป็นสาเหตุที่เมื่อลดขนาดถังจาก 3,000 L เป็น 2,500 L และ 2,250 L ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรายปีจึงเพิ่ม ทั้งที่ loss น้อยลง ต่อมาที่ 2,000 L พบว่ามีค่าพลังงานต่ำที่สุดและถูกกว่า 3,000 L เนื่องจาก loss ที่ผนังถังเก็บน้ำร้อนน้อยลงจนมาชดเชยค่าทำน้ำร้อนที่ต้องจ่ายมากขึ้นได้ โดย 2,000 L ประหยัดกว่า 37.31 kWhr ซึ่งคิดเป็น 0.16% แต่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านราคาถังน้ำร้อนได้ถึง 1 ใน 3 ที่ถัง 1,500 L พบว่ามีการเปิด-ปิดอุปกรณ์ทำน้ำร้อนถี่ขึ้น อีกทั้ง ERHS back up heater ทำงานบ่อยขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงที่สุดในกลุ่ม โดยใช้พลังงานมากกว่ากรณี 2,000 L อยู่ถึง 445 kWhr ผู้วิจัยจึงเลือกขนาดถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 2,000 L เพื่อใช้งานต่อไปในระบบ HPWH และเนื่องจากประหยัดค่าพลังงานมากสุดในกลุ่มและเป็นขนาดถังที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

ในส่วนของระบบ IWHS เป็นระบบที่ติดเครื่องทำน้ำอุ่นชนิดที่ทำน้ำร้อนด้วย heater ไฟฟ้าในแต่ละห้อง เป็นการจ่ายน้ำประปาผ่านอุปกรณ์ heater ไฟฟ้าสู่ผู้ใช้โดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องมีถังเก็บน้ำร้อนใด ๆ

4.2 การเปรียบเทียบระบบ CWHS IWHS และ HPWH

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่า COP และค่าพลังงานที่ใช้ระหว่างระบบทั้ง3โดยค่า COP ของทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 COP ของระบบ HPWH, CWHS และ IWHS

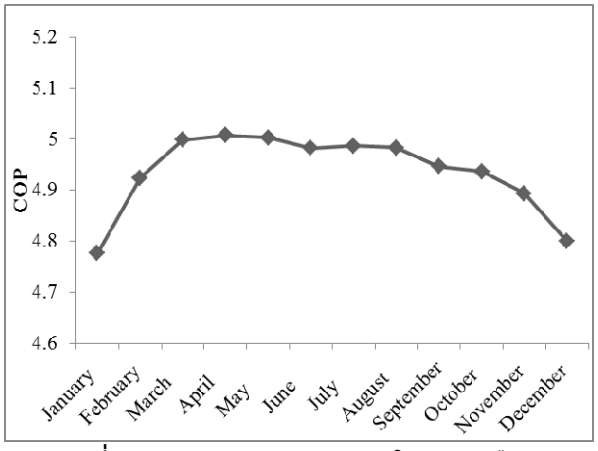
ชนิดระบบทำน้ำร้อน	COP_{cal}	COP_{manu}
HPWH	4.94	4.36
CWHS	1	1
IWHS	1	1

จากตารางที่ 3 ค่า COP_{cal} ของทุกระบบเฉลี่ยตลอดทั้งปีซึ่งจะนิยามโดยนำความร้อนที่น้ำร้อนได้รับ หารด้วยกำลังไฟฟ้าที่เราจ่ายให้ทำอุปกรณ์ทำน้ำร้อนดังนี้

$$COP = \frac{\dot{Q}_{fluid}}{\dot{W}_{consumpt}} \qquad (1)$$

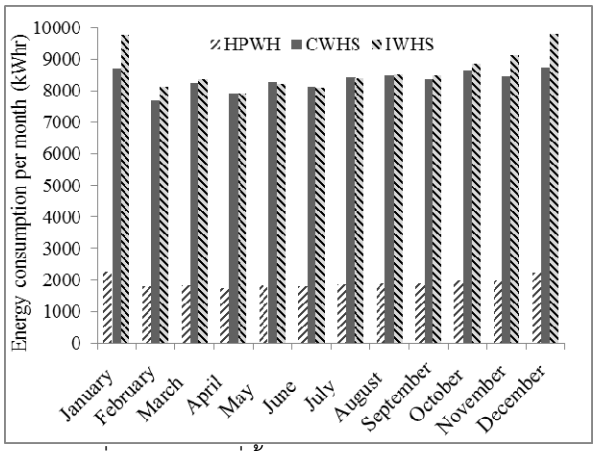
และ COP_{manu} คือค่าสมรรถนะที่ผู้ผลิตแจ้งมาซึ่งคำนวณในลักษณะเดียวกันกับสมการที่ (1) จะเห็นว่า

CWHS และ IWHS มี COP_{cal} เท่ากับ COP_{manu} ตามที่ผู้ผลิตแจ้งไว้ทุกประการเนื่องจากเป็นการทำความร้อนด้วย heater ไฟฟ้าทั่วไปซึ่ง COP มีค่าเป็น 1 เสมอ คือ heater ชนิดนี้จะสร้างความร้อนได้ตามพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป



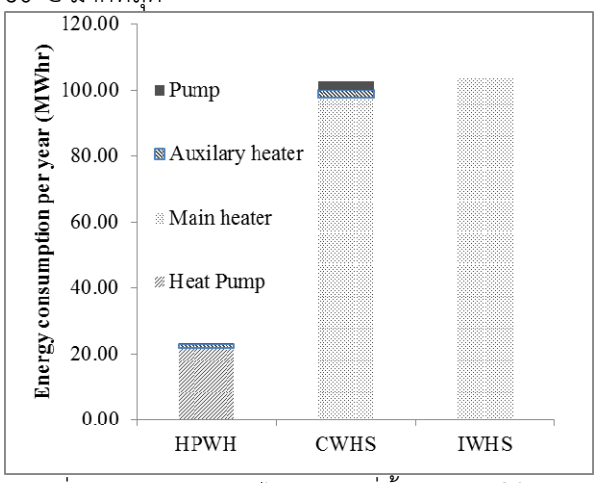
รูปที่ 7 COP ของระบบ HPWH ในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าค่า COP ของ HPWH จะมีค่าน้อยในช่วงฤดูหนาวช่วงเดือน พฤศจิกายน- กุมภาพันธ์ ซึ่งอากาศเย็นทำให้ดึงความร้อนจากอากาศได้ยากและช่วงที่อากาศร้อนที่สุดของปีในเดือน เมษายน-พฤษภาคม พบว่า COP มีค่าสูงสุดเพราะอากาศร้อน สามารถดึงพลังงานมาได้ง่ายนั่นเอง และยังพบว่า COP เฉลี่ยตลอดทั้งปีพบว่ามีค่าสูงกว่าที่ผู้ผลิตแจ้ง 13.3% สาเหตุเนื่องมาจากประการแรก ผู้วิจัยได้ใช้ performance จากไฟล์พื้นฐานที่อยู่กับตัว module type 941 ไม่ได้นำ performance file จากผู้ผลิตมาใช้จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไป อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้รายปีที่ผู้ผลิตแจ้งมาเท่ากับ 86,127 บาท กับที่คำนวณได้ 89,649 บาท พบว่ามีค่าแตกต่างกัน 4% อีกสาเหตุที่ทำให้ COP ของ HPWH คลาดเคลื่อนได้ คือ สภาพแวดล้อมที่จำลองงานวิจัยนี้ใช้สภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมา ทำให้ค่า COP ที่ต่างไปจากสภาวะที่ผู้ผลิตทดสอบ เพราะอุณหภูมิของอากาศและน้ำประปาที่เข้าระบบต่างกันส่งผลต่อ COP โดยตรง



รูปที่ 8 พลังงานที่ทั้ง 3 ระบบใช้ในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 8 เมื่อเราคำนวณหน่วยค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้รวมทุกอุปกรณ์ของทั้ง 3 ระบบเป็นรายเดือน จะเห็นว่าระบบที่ประหยัดพลังงานที่สุดจะเป็น HPWH เพราะ COP ที่สูงกว่าระบบอื่นๆ รองลงมาจะเป็น CWHS และ IWHS ตามลำดับ จะเห็นว่าเดือนที่สิ้นเปลืองพลังงานในการทำน้ำร้อนมากสุดจะอยู่ในช่วงที่อากาศหนาวที่สุดคือ เดือน ธันวาคม-มกราคม สาเหตุเพราะน้ำประปาที่นำมาทำความร้อนจะมีอุณหภูมิที่เย็นตามสภาพอากาศ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการทำอุณหภูมิน้ำประปาให้เป็น 60°C มากที่สุด



รูปที่ 9 จำนวนพลังงานไฟฟ้ารวมที่ทั้ง 3 ระบบใช้ต่อปี

จากรูป 9 จำนวนพลังงานที่ระบบ HPWH ประหยัดกว่า IWHS 77.8% ในขณะที่ระบบ CWHS ประหยัดกว่า IWHS เพียง 3.5% จะเห็นว่าจากตัวเลขข้างต้น ระบบ HPWH มีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง แต่ในส่วนของงบลงทุน ระบบ HPWH จะมีราคาที่สูงมากกว่าระบบ CWHS และ IWHS

5.การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

หัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการระหว่าง 3 ระบบที่กล่าวไว้ได้แก่ HPWH CWHS และ IWHS ราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละระบบได้จากการสำรวจผ่านผู้ผลิตและทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ระบบในกรณีที่ดีที่สุดจาก TRNSYS (ราคาพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 3.9 บาท/หน่วย กฟภ. [17]) แล้วรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปค่าใช้จ่ายต่างๆของทั้ง 3 ระบบ

ระบบ	งบลงทุนเริ่มต้น (บาท)			ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)
	อุปกรณ์ทำความร้อน	ถังน้ำร้อน	เดินท่อน้ำร้อน	
HPWH	497,452	96,800	660,931	89649.11
CWHS	151,452	96,800	660,931	390035.5
IWHSx60	240,000	0	0	404195.9

จากตารางที่ 4 สามารถนำค่าใช้จ่ายที่มีมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PBP) ได้ ซึ่งคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Initial investment}}{\text{Cash in flow per period}} \quad (2)$$

ซึ่งงบลงทุนเริ่มต้น (Initial investment) ในสมการจะคำนวณโดยนำงบลงของระบบใหม่เป็นตัวตั้ง ลบด้วยงบลงทุนของระบบเดิม (โดยทั่วไประบบใหม่จะมีงบลงทุนที่สูงกว่าระบบเดิม แต่ทดแทนด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า ระบบใหม่สามารถคืนทุนให้ระบบเดิมได้นั่นเอง) และเงินได้ในแต่ละงวด (Cash in flow per period) คำนวณโดยนำค่าไฟฟ้ารายปีของระบบที่เดิม ลบด้วยงบลงทุนของระบบใหม่ ซึ่งคือค่าพลังไฟฟ้าที่เราประหยัดได้ในแต่ละปีนั่นเอง เมื่อทำการจับคู่ระบบที่ต้องการเปรียบเทียบกัน ได้ PBP ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระยะเวลาในการคืนทุนของแต่ละคู่ระบบ

คู่เปรียบเทียบ (ใหม่ vs เดิม)	PBP (ปี)
HPWH vs IWHS	3.23
HPWH vs CWHS	1.15
CWHS vs IWHS	47.26

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบ HPWH แทนที่ระบบ IWHS จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 3 ปี 3 เดือนและ CWHS ใน 1 ปี 2 เดือนตามลำดับ เนื่องมาจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายปีนั้นถูกกว่าดังรูปที่ 9 เมื่อนำไปคำนวณ ในสมการที่ (2) Cash in flow per period จึงสูง ทำให้สามารถคืนทุนได้ไว ถ้ามองในระยะยาว HPWH จะเป็นระบบที่ประหยัดเงินมากที่สุดนั่นเอง ในส่วนของระบบ CWHS เมื่อเปรียบเทียบกับ IWHS พบว่ายังไม่เป็นที่น่าลงทุน เนื่องจากใช้ระยะเวลาคืนทุนถึง 47 ปี 3เดือน ถ้าให้เลือก 2 ระบบนี้ควรเลือก IWHS จะดีกว่าเพราะงบลงทุนเริ่มต้นต่ำสุดจากจากตารางที่ 4

5.สรุป

ในการศึกษาสมรรถนะของระบบ HPWH, CWHS และ IWHS ในการทำน้ำร้อนสำหรับอาบ ป้อนอาคารหอพักขนาด 4 ชั้น 60 ห้อง ในเขตจังหวัดนครราชสีมา พบว่าต้องใช้อุปกรณ์ทำน้ำร้อนขนาด 25.9 kW ขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สุด คือ 2,000 L ค่า COP ของระบบ HPWH เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 4.94 ในแต่ละเดือนค่า COP ของ HPWH จะผันผวนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ช่วงอากาศร้อน COP จะสูงถึง 5.00 และจะต่ำลงไปจน 4.77 ในช่วงอากาศเย็น สำหรับ COP ของ CWHS และ IWHS จะอยู่ที่ 1 เสมอและพบอีกว่าระบบ HPWH ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้ากว่าระบบ CWHS และ IWHS อยู่ 77% และ 77.8% ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเทียบระบบ HPWH กับ CWHS และ IWHS มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3ปี 3เดือน และ 1 ปี 2 เดือนตามลำดับ

ความหมายของตัวแปรและสัญลักษณ์

TRNSYS: โปรแกรมจำลองระบบความร้อน
HPWH: ระบบทำน้ำร้อนแบบรวมศูนย์จาก heat pump
ERHS: อุปกรณ์ทำความร้อนโดยตัวต้านทานไฟฟ้า
CWHS: ระบบทำน้ำร้อนโดย ERHSแบบรวมศูนย์
IWHS: ระบบทำน้ำร้อนโดย ERHS แยกตามห้อง
COP: สัมประสิทธิ์สมรรถนะ
PBP: ระยะเวลาคืนทุน
Loss:การสูญเสียความร้อน

subscript

cal: ข้อมูลจากการคำนวณ
manu: ข้อมูลจากผู้ผลิต

6.อ้างอิง

[1] Kokkinides L, Sachs HM. Toward market transformation: commercial heat pump water heaters for the ‘‘New York energy $marts Region’’. Final Report. Prepared for The New York State energy research and development authority and prepared by American council for an energy—efficient economy, NYSERDA, October 2002, URL: http://aceee.org/buildings/coml_equp/hpw/hpwhnyes.pdf www.aceee.org/buildings/coml_equp/hpwh/cdhrpt.pdf, access on 15/1/2008.

[2] Kuaanan Techato (2011). Heat Pump Market in Thailand, paper presented in 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE2011), Bangkok , Thailand.

[3] Kim M, Kim MS, Chung JD. Transient thermal behavior of a water heater system driven by a heat pump. International Journal of Refrigeration 2004;27:415–21.

[4] Kuaanan Techato. Report on Heat Pump Promotion in Hotel, URL: http://www.eeit.or.th/project/heatpump/Heatpump%20Abstract.pdf, access on 13/09/2010.

[5] SEC project. 2004. the Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Bangkok.

[6] Statistical Information by Department of Industrial Work. 2010. Department of Industrial Work (Thailand). Bangkok. http://www.diw.go.th/diw/spss53.asp, access on 10/04/2016.

[7] G. Morrison, T. Anderson, M. Behnia, Seasonal performance rating of heat pump water heaters, Solar Energy 76 (2004) 147–152.

[8] C. Zhen-hao, W. Jing-yi, L. Ping, X. Zhen-qin, W. Cai-li, Optimization of air-source heat pump water heater system based on seasonal performance experiment, Energy Technolo. 26 (2005) 117–119.

[9] S. Tassou, C. Marquand, D. Wilson, Part-load performance analysis of air-to-water heat pump systems, J. Inst. Energy (1984) 364–367.

[10] H. Kruse, The advantages non-azeotropic refrigerant mixtures for heat pump application, Int. J. Refrig. 4 (1981) 119–125.

[11] V.C. Mei, R.E. Domitrovic, W.H. Brewer, F.C. Chen, T.R. Doctor, Experimental study of an R-407C heat pump water heater, ASHRAE Trans. 107 (2001) 224.

[12] J. Stene, Residential CO2 heat pump system for combined space heating and hot water heating, Int. J. Refrig. 28 (2005) 1259–1265.

[13] K. Umezu, S. Suma, Heat pump room air-conditioner using variable capacity compressor, ASHRAE Trans. 90 (1984) 335–349.

[14] L. Cabrol, P. Rowley, Towards low carbon homes—a simulation analysis ofbuilding-integrated air source heat pump systems, Energy and Buildings 48(2012) 127–213.

[15] Amir A. Safa, Alan S. Fung, Rakesh Kumar, Performance of two-stage variable capacity air source heat pump : Field performance results and TRNSYS simulation, Energy and Buildings 94 (2015) 80–90.

[16] บริษัท GR TECH (THAILAND), Air source heat pump product Model: heat plus 2, URL: http://www.heatthailand.com/products/th#, access on 10/04/2016.

[17] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, อัตราค่าไฟฟ้า 2555, URL: https://www.pea.co.th/peawiki/Documents/Rate2012.pdf, access on 10/04/2016.