

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

Economical Feasibility Study of Solar Hot Water System Combining Waste Heat from Thermoelectric Air-Conditioner

สมชาย มณีวรรณ, โจเซฟ เคดารี, เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ จงจิตร หิรัญลาก

ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ทางด้านอาคาร คณะพลังงานและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, บางมด,ทุ่งครุ, กรุงเทพฯ 10140

โทร 4708695-9 ต่อ 125, โทรสาร 4708623 E-mail: chaimane@hotmail.com

Somchai Maneewan, Joseph Khedari, Charoenporn Lertsatitthanakorn and Jongjit Hirunlabh

Building Scientific Research Center, School of Energy & Materials,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

Tel: (662) 4708695-9 Ext. 125, Fax: (662) 4708623, E-mail: chaimane@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นถังน้ำร้อนในเวลาเดียวกันมีขนาด 120 ลิตร แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 30 ชิ้น ขนาดต่อชิ้น 40 X 40 mm. ห้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกมีขนาด 2.5 m³ ทำการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 50, 100 และ 150 VDC อัตราการไหลของน้ำและความเร็วลมที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 10, 15 L/min และ 2.5, 5 m/s ตามลำดับ ระบบสามารถทำน้ำร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C ภายในเวลา 2 ชม. สมรรถนะของระบบผสมผสาน (COP_{hyb}) สูงสุด 3.12 ที่แรงดันไฟฟ้าป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 100 VDC อัตราการไหลของน้ำ 15 L/min และความเร็วมวล 2.5 m/s จากผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าหากใช้งาน 12 ชม. ต่อวัน อัตราค่าไฟฟ้า 2.5 บาท ต่อหน่วย จะมีระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PBP) 1.96 ปี ผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV) 166,988 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 3 % และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 41.8 %

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก/ ระบบผสมผสาน/ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน/ การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

Abstract

This paper present the feasibility study of economical analysis, that is a domestic hot water system which combines solar energy with waste heat from a thermoelectric (TE) air-conditioner. The collector built in storage tank capacity was 120

Liters. The volume of testing room for cooling was 2.5 m³ approximately. To this end, 30 TE modules of the following specifications: 40x40 mm, The volume of testing room for cooling was 2.5 m³. Investigations were done by varying, namely, the voltage to thermoelectric module (50, 100, 150 VDC), water mass flow rate and air velocity passing through the TE heat exchangers: 10, 15 L/min and 2.5, 5 m/s, respectively. It was found that this system can heat up the 120 liters to 50 °C within 2 hours. The corresponding highest coefficient of performance of TE air-conditioner is about 3.12. At operating conditions 100 VDC, water flow rate of 15 L/min and air velocity at 2.5 m/s. Economical analysis show that a pay back period (PBP) of system, which operated in 12 hr/day, is about 1.96 year, net present value (NPV) is 166,998 bath with the interest value of 3 %, electrical cost 2.5 Baht/unit and the internal rate of return (IRR) is 41.8 % respectively.

Keyword: Thermoelectric/ Hybrid system/ Heat exchanger/ Economical analysis

1. บทนำ

ตลอดเวลาที่ผ่านมานักวิจัยได้พยายามศึกษาวิจัยและคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ มากมาย เพื่อเอาชนะธรรมชาติและเสริมสร้างความสะดวกสบายให้กับตัวเอง เช่น ทำความร้อนเมื่ออากาศหนาว ทำความเย็นในฤดูร้อน ฯลฯ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จำเป็นต้องมีการใช้พลังงานไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือ เชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งในช่วงไตรมาสที่สามของปี 2543 ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานเทียบเท่า

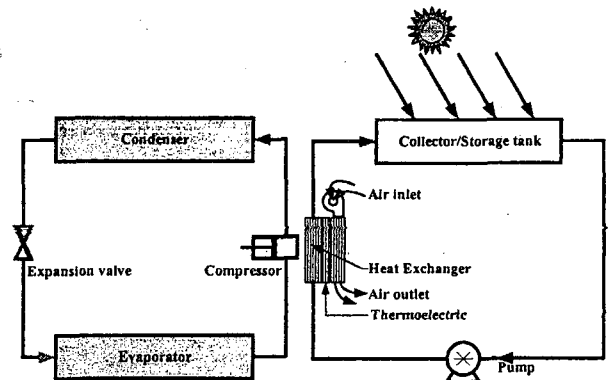
มันดิบ 1,163 พันบาร์เรลต่อวัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.4 [1] ในส่วนของอาคารพาณิชย์และที่อยู่อาศัยมีการใช้พลังงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การปรับอากาศและระบบแสงสว่าง การปรับอากาศมีการใช้พลังงานประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระบบแสงสว่างมีการใช้พลังงาน 30-50 เปอร์เซ็นต์และใช้ในการทำความร้อนบางส่วน เห็นได้ว่าในส่วนของ การปรับอากาศมีการใช้พลังงานค่อนข้างมากและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ระบบปรับอากาศมีการใช้สารทำความเย็นที่มีส่วนประกอบสาร CFC ที่มีผลกระทบต่อการทำลายชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้มีการค้นคว้าสารทำงานที่ไม่ส่งผลต่อการทำลายชั้นบรรยากาศและลดอันตรายระบบปรับอากาศที่ไม่ใช้สาร CFC เป็นสารทำงาน ในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน โทมัส ซีเบ็ค พบว่าเมื่อนำลวดโลหะต่างชนิดกัน 2 เส้นมาเชื่อมต่อกันและให้อุณหภูมิที่ปลายทั้งสองแตกต่างกันมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 โนบิล ซี.เอ. เพลเทียร์ พบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันกับ ของ โทมัส ซีเบ็ค มีผลทำให้เกิดความเย็นที่ปลายด้านหนึ่งและความร้อนที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ปรากฏการณ์ทั้งสองเรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric:TE) [2] ต่อมาได้มีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้ในการทำความเย็นและความร้อน [3-6] เช่น การนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในการทำความเย็นให้กับที่อยู่อาศัยและยังมีการพัฒนามาใช้กับรถยนต์ [7,8] รวมถึงใช้ในการผลิตไฟฟ้า [9,10] จากคุณสมบัติที่โดดเด่นและข้อดีในหลาย ๆ ด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกเช่น มีขนาดเล็ก ไม่มีเสียงดังขณะทำงานเพราะไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เป็นผลให้ค่าบำรุงรักษาต่ำ (Operate cost) และควบคุมอุณหภูมิง่ายโดยการปรับเปลี่ยนแรงดันที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริกด้วยเหตุผลนี้จึงมีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่ำ (Coefficients of performance: COP) ประมาณ 0.25-0.4 [11,12] จึงเป็นเหตุให้เกิดงานวิจัยขึ้นนี้ขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น

งานวิจัยดังกล่าวนี้ได้นำผลการทดลองของระบบผสมผสานเพื่อผลิตน้ำร้อนใช้ภายในบ้านโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนทั้งจากเทอร์โมอิเล็กทริก [13] มาทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำความร้อนทิ้ง (Waste heat recovery) ของระบบปรับอากาศที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ร่วมกับความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector) เพื่อใช้ในการทำน้ำร้อนและคาดว่าจะ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในทำน้ำร้อน และยังไม่ต้องก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2. ระบบผสมผสาน (Hybrid System)

ระบบดังกล่าวสามารถปรับอากาศและทำน้ำร้อนได้ในเวลาเดียวกันโดยนำเอาความร้อนทั้งจากระบบปรับอากาศแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งมีตัวรับรังสีอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เป็นถังน้ำร้อนในเวลาเดียวกัน (Collector/Storage tank) ทำมาจากสแตนเลสหุ้มฉนวนด้านล่างและด้านข้างส่วนด้านบนทาสีดำเพื่อใช้ในการรับแสงอาทิตย์วางทำมุม 14 ° พื้นที่รับแสงอาทิตย์หันไปทางด้านทิศใต้และมีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนวางอยู่ภายในห้องที่ต้องการทำความเย็นโดยมีปั๊มไฟฟ้า

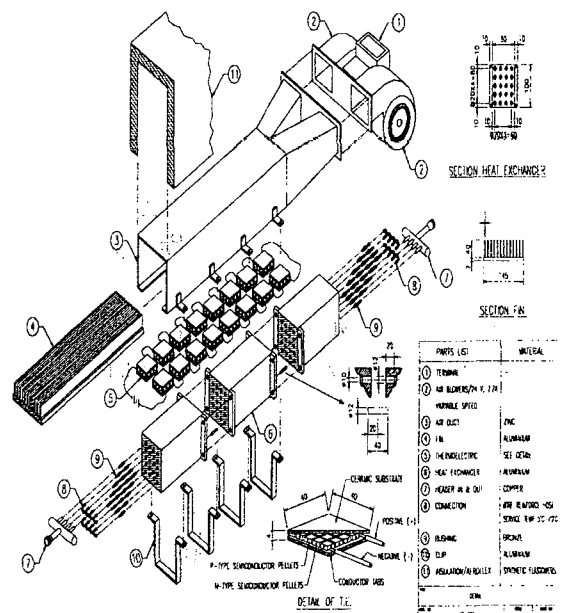
กระแสน้ำขนาด 360 GPM ใช้ในการหมุนเวียนน้ำจากถังเพื่อระบายความร้อนของระบบปรับอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 1 เปรียบเทียบระบบปรับอากาศกับระบบผสมผสาน

2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการทำน้ำร้อนและส่วนของการปรับอากาศ ในส่วนของการปรับอากาศใช้ครีระบายแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.2 ความสามารถในการทำน้ำร้อน

ความสามารถในการทำน้ำร้อนคำนวณได้จากสมการที่ 1 เมื่อ M คือ ปริมาณของน้ำในถัง T_{ik}^{+1} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยภายในถัง ณ เวลาที่ต้องการคิดและ T_{ik}^{-1} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยภายในถัง ณ เวลา ก่อนหน้าที่จะคิดในงานวิจัยชิ้นนี้คิดทุก ๆ 15 นาที

$$Q_g = MC_w(T_{ik}^{+1} - T_{ik}^{-1}) \quad (1)$$

2.3 ความสามารถในการทำความเย็น

$$Q_c = m_a C_a (T_{a,i} - T_{a,o}) \quad (2)$$

เมื่อ m_a คือ มวลของอากาศ ($m_a = V P A_a$) และ $T_{a,i}$ $T_{a,o}$ V คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศก่อนเข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและความเร็วลมตามลำดับ ส่วน A_a เป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อลมซึ่งไม่คิดพื้นที่ของครีระบายความร้อน

2.4 ประสิทธิภาพของระบบ

1. ประสิทธิภาพของการทำความเย็น

$$COP_c = \frac{Q_c}{P_{TE} + P_p + P_f} \quad (3)$$

2. ประสิทธิภาพของการทำน้ำร้อนคำนวณจากสมการที่ 5, 7 สำหรับเวลากลางวันและ 4, 6 สำหรับเวลากลางคืน

$$COP_h = \frac{Q_g}{P_{TE} + P_p + P_f} \quad (4)$$

$$COP_h = \frac{Q_g}{P_{TE} + P_p + P_f + I_{th} \times A_{ST}} \quad (5)$$

3. ประสิทธิภาพของระบบผสมผสาน

$$COP_{hyb} = \frac{Q_c + Q_g}{P_{TE} + P_p + P_f} \quad (6)$$

$$COP_{hyb} = \frac{Q_c + Q_g}{P_{TE} + P_p + P_f + I_{th} \times A_{ST}} \quad (7)$$

2.5 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ [14]

1. ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PBP)

$$PBP = \frac{A_0}{A_s} \quad (8)$$

2. ผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV)

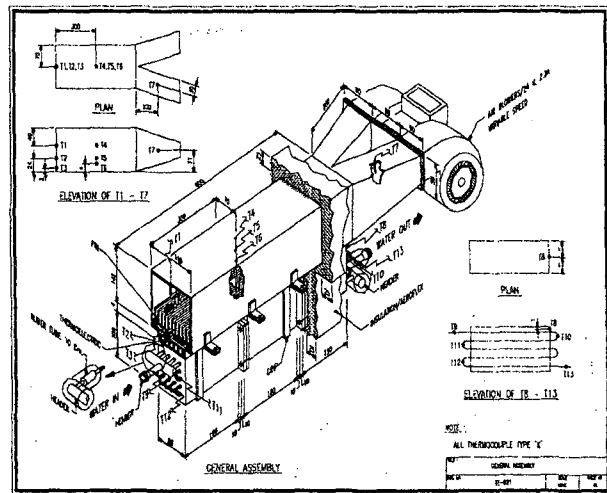
$$NPV = A_0 + A_s \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \frac{O_c}{(1+i)^n} \quad (9)$$

คิดที่อัตราดอกเบี้ย 3 % ต่อปี การบำรุงรักษาทุก ๆ 5 ปี ครั้งละ 1000 บาท และอายุการใช้งานของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก 20 ปี ส่วนอัตราผลตอบแทนภายในสามารถหาได้จากสมการที่ 9 เมื่อ หาค่าอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ NPV = 0

3. วิธีการทดลอง

ทดลองโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเทอร์โมอิเล็กทริก ความเร็วลมและอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 13 จุด และ 2 จุดที่ตัวรับรังสีอาทิตย์/ถังเก็บน้ำร้อน และนำข้อมูลมาคำนวณหาความสามารถในการทำน้ำร้อนและการทำความเย็น รวมถึงสมรรถนะของระบบ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการทำน้ำร้อนและ

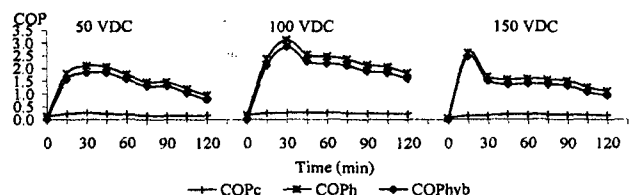
การทำความเย็นหลังจากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 3 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

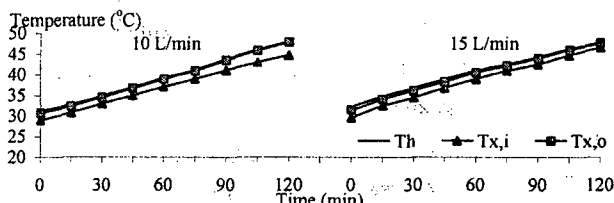
4. ผลการทดลอง

การทดลองโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 50, 100 และ 150 VDC เพื่อต้องการทราบถึงผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเทอร์โมอิเล็กทริกจึงได้ทำการทดลองในเวลากลางคืนโดยใช้ความเร็วลมและอัตราการไหลของน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2.5 m/s และ 10 L/min พบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นอุณหภูมิความร้อน (T_w) จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีความความร้อนทั้งมาจากผิวด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงขึ้น โดยระบบสามารถทำน้ำร้อนได้สูงสุดประมาณ 50°C ภายในเวลา 2 ชม. ที่แรงดันไฟฟ้า 150 VDC ซึ่งอุณหภูมิความร้อนมีความแตกต่างกับที่แรงดันไฟฟ้า 100 VDC ไม่มากนัก เพราะฉะนั้นจึงทำสมรรถนะของระบบผสมผสานที่แรงดันไฟฟ้า 100 VDC สูงกว่า 150 VDC (รูปที่ 4) หลังจากนั้นทำการทดลองที่ 100 VDC เนื่องจากเป็นจุดที่ COP ของระบบมีค่าสูงสุด โดยทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ 10 และ 15 L/min พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 15 L/min ระบบสามารถทำน้ำร้อนได้สูงกว่าที่ 10 L/min เนื่องมาจากการระบายความร้อนออกจากผิวร้อนได้ดีกว่าที่ 10 L/min จึงทำให้อุณหภูมิที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่ำกว่าเป็นผลให้อุณหภูมิผิวด้านร้อน (T_h) และผิวด้านเย็น (T_c) ที่อัตราการไหล 15 L/min ต่ำกว่าที่ 10 L/min ทำให้ความสามารถในการทำความเย็นสูงตามไปด้วย

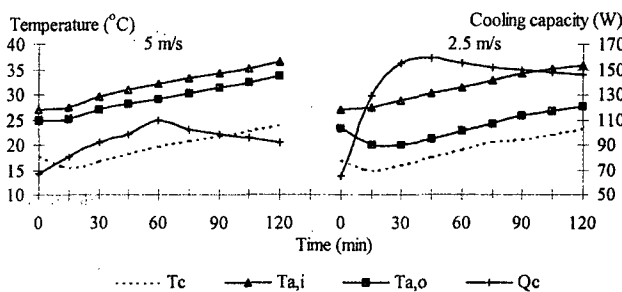


รูปที่ 4 สมรรถนะของระบบที่แต่ละแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเทอร์โมอิเล็กทริก

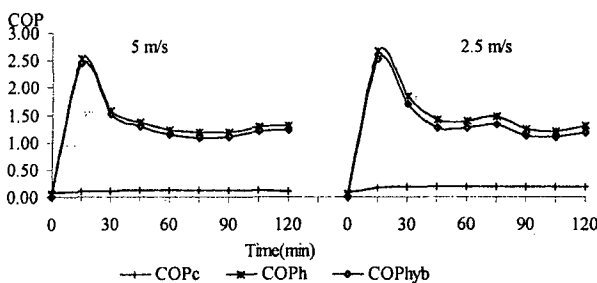
รูปที่ 6 และ 7 เปรียบเทียบความเร็วลมที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนที่ 2.5 และ 5 m/s ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยใกล้เคียงกันพบว่าความแตกต่างของ $T_h - T_c$ จะแปรผกผันกับความเร็วลม ในขณะที่อุณหภูมิผิวด้านร้อนแตกต่างกันน้อยมากจึงทำให้อุณหภูมิผิวด้านเย็นแปรผันตรงกับความเร็วม อันเป็นผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้าและออก ($T_{a,i} - T_{a,o}$) ลดลงเมื่อความเร็วลมลดลงจึงทำให้ความสามารถในการทำความเย็นที่ความเร็วลม 2.5 m/s สูงกว่าที่ 5 m/s จึงทำให้สมรรถนะของการทำความเย็นสูงขึ้น



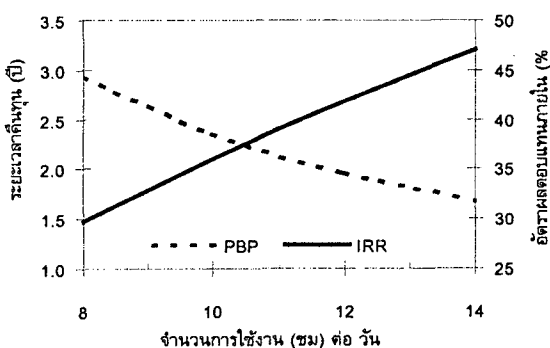
รูปที่ 5 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนที่อัตราการไหล 10 และ 15 l/min



รูปที่ 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ที่ความเร็วลมผ่าน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 2.5 และ 5 m/s



รูปที่ 7 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ความเร็วลมผ่าน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2.5 และ 5 m/s



รูปที่ 8 ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน

ในส่วนของการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้นทำการวิเคราะห์ระยะ ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน ซึ่งทำการวิเคราะห์ที่อัตรา ดอกเบี้ย 3 % อัตราค่าไฟฟ้า 2.5 บาทต่อหน่วย อายุการใช้งานของ เทอร์โมอิเล็กทริกมีอายุการใช้งานประมาณ 100,000 ชม. โดยทำการ วิเคราะห์ที่หลาย ๆ ชั่วโมงการทำงานต่อวัน ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทน ภายในกับจำนวนชั่วโมงการทำงาน

5.สรุป

จากการทดลองพบว่าระบบสามารถทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (ประมาณ 26 °C) เป็นน้ำร้อนที่ 50 °C ภายในเวลา 2 ชม. ที่แรงดันไฟฟ้าป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 150 VDC เมื่ออัตราการไหลของน้ำ และความเร็วลมที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 15 L/min และ 2.5 m/s ตามลำดับ จุดที่เหมาะสมสำหรับการทำน้ำร้อนและการปรับอากาศ คือ ที่แรงดันไฟฟ้าป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 100 VDC และที่อัตราการไหลของน้ำและความเร็วลมที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 15 L/min และ 2.5 m/s ซึ่งเป็นจุดที่ระบบผสมผสานมีประสิทธิภาพ (COPhyb) สูงสุด 3.12 สูงกว่าระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างเดียว ซึ่งมี COP ประมาณ 0.25-0.6 ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PBP) 1.95 ปี ผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV) 166,988 บาท และอัตราการตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 50.8 % ที่อัตราดอกเบี้ยและค่าไฟฟ้า 3 % และ 2.5 บาทต่อหน่วย ตามลำดับ ใช้งาน 12 ชม. ต่อวัน

6.ข้อเสนอแนะ

การนำระบบผสมผสานมาใช้ในการทำน้ำร้อนและการปรับอากาศ ควรคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้

1. อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ต้องการใช้ควรอยู่ในช่วง 35-50 °C เพราะเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้สมรรถนะความเย็นลดลง
2. ความต้องการใช้น้ำร้อนควรจะมีอัตราการใช้ที่คงที่และต่อเนื่อง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติที่ ให้เงินสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	หน่วย
A_0	เงินลงทุน บาท
A_s	อัตราไฟฟ้าที่ประหยัดได้ บาท
A_{ST}	พื้นที่ผิวตัวรับรังสีอาทิตย์ m^2
C	ความร้อนจำเพาะ kJ/kg.K
i	อัตราดอกเบี้ย %
IRR	อัตราผลตอบแทนภายใน %
I_{t0}	รังสีรวมบนพื้นเอียง W/m^2
M	ปริมาณของน้ำในถัง kg

m	อัตราการไหลของน้ำ	l/min
n	อายุการใช้งาน	ปี
NPV	ผลการตอบแทนสุทธิ	บาท
O _c	ค่าบำรุงรักษา	บาท
PBP	ระยะเวลาคืนทุน	ปี
P _F	กำลังไฟฟ้าของพัดลม	W
P _P	กำลังไฟฟ้าของปั๊ม	W
P _{TE}	กำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก	W
Q _c	ความสามารถในการทำความเย็น	W
Q _g	ความสามารถในการทำความร้อนชั่วขณะ	W
Q _u	ความสามารถในการทำความร้อน	W
T _{a,i}	อุณหภูมิอากาศเข้า	°C
T _{a,o}	อุณหภูมิอากาศออก	°C
T _{amb}	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	°C
T _c	อุณหภูมิผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	°C
T _h	อุณหภูมิผิวด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก	°C
T _{ik}	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำร้อนภายในตัวรับรังสีอาทิตย์	°C
T _{x,i}	อุณหภูมิน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	°C
T _{x,o}	อุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	°C
V	ความเร็วลม	m/s

เอกสารอ้างอิง

- [1] Goldsmid, H.J., Thermoelectric Refrigeration, New York, USA, Plenum Press, 1964, pp. 210-215.
- [2] Wu, C., and Schulden, W., "Specific Heating Load of Thermoelectric Heat Pumps," Energy Conversion Management, Vol. 35, No. 6, 1993, pp. 459-464.
- [3] Dubois, P., Rovelet, R., and Berthet, M., "Thermoelectric Heat Pumps for Space Heating," Proceedings of Energy Saving in Building, The Hague Netherlands, November 10-12, 1983, pp. 175-183.
- [4] Simons, R.E., and Chu, R.C., "Application of Thermoelectric Cooling to Electronic Equipment: A Review and Analysis," Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, Sixteenth Annual IEEE, 2000, pp. 1-8.
- [5] Semenyuk, V., Stockholm, J.G., and Gerard, F., "Thermoelectric Cooling of High Power Extremely Localized Heat Source: System Aspects," Eighteenth International Conference, 1999, pp. 40-44.
- [6] Tada, S., "A New Concept of Porous Thermoelectric Module Using a Reciprocating Flow for Cooling/Heating System," International Conference on Thermoelectric, 1996, pp. 264-268.
- [7] Chen, K., "An Analysis of The Heat Transfer Rate And Efficiency of Thermoelectric Cooling System," International Journal of Energy Research, Vol. 20, 1994, pp. 399-417.
- [8] Sofrata, H., "Solar Thermoelectric Cooling System," In Solar Buildings, Edited by James, S.W., Khoshaim, B.H., Mallory, R. and Meiners, A., Midwest Research Institute, Missouri, 1984, pp. 59-76.
- [9] Mei, V.C., and Chen, F.C., "Study of Solar-Assisted Thermoelectric Technology for Automobile Air Conditioning," Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 115, 1993, pp. 200-205.
- [10] Tsuyoshi, A., and etc., "Effective Thermoelectric Generation by Use of Heat Stored in a Thermal Accumulator," Proceeding ICT 98. XVII International Conference, 1998, pp. 437-440.
- [11] Chen, K., 1994, "An Analysis of The Heat Transfer Rate And Efficiency of Thermoelectric Cooling System," International Journal of Energy Research, Vol. 20, pp. 399-417.
- [12] Tada, S., 1996, "A New Concept of Porous Thermoelectric Module Using a Reciprocating Flow for Cooling/Heating System," International Conference on Thermoelectric, pp. 264-268.
- [13] J. Khedari, S. Maneewan, N. Pratinthong, W. Chimchavee and J. Hirunlabh "Domestic hot water system combining solar and waste heat from a thermoelectric air-conditioner", The Int.J. of Ambient Energy Vol. 22., No. 1, 2001, pp. 19-28.
- [14] DeGarmo, E.P., and Sullivan, W.G., (etal.), Engineering Economic, Tenth Edition, USA. Printice-Hall Inc., 1997, pp. 144-167.