

การจำลองประสิทธิภาพและศักยภาพเชิงพลังงานของระบบสูบน้ำพลังความร้อน แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

A simulation model on efficiency and energy potential of a solar thermal pumping system in Thailand

เพชฌัญ จันทรสา^{1*}, บัณฑิต ลิมมีโชคชัย², ศุภชาติ จงโพนุลย์พัฒน์³ และจันทน์ สรพิพัฒน์⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์: 0-2579-1111 ต่อ 1202, 1261 โทรสาร: 0-2579-1111 ต่อ 2147 *อีเมล pachern.ja@spu.ac.th

^{2,3}สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ปทุมธานี

⁴บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

Pachern Jansa^{1*}, Bundit Limmeechokchai², Supachart Chungpaibulpatana³ and Jumnong Sorapipatana⁴

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand,

Tel: 0-2579-1111 ext. 1202, 1261. Fax: 0-2579-1111 ext. 2147, *E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

^{2,3}Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University (Rangsit Campus), Patumthani, Thailand

⁴The Joint Graduate School of Energy and Environment, KMUTT, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

พลังงานรวมแสงอาทิตย์เฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าประมาณ 18.2 MJ/m²-day โดยมีค่ามากในทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีค่าน้อยในพื้นที่ทางภาคใต้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปพลังงานความร้อนนั้นมีความเหมาะสมที่สูงมาก เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์กับระบบสูบน้ำนั้นเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจยิ่งโดยเฉพาะในปัจจุบันที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูง การศึกษาวิจัยระบบสูบน้ำพลังความร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก เท่าที่ค้นพบได้มีการศึกษาและวิจัยเชิงทดลองของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) เมื่อปี พ.ศ. 2522 และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) เมื่อปี พ.ศ. 2548 โดยงานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียพบว่าระบบสูบน้ำที่มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 1.4 m² และมีความดันของสารทำงานในแผงรับแสงอาทิตย์ 240 kN/m² สามารถสูบน้ำได้ 4.3 ลิตร/นาที่ ที่ระดับความสูง 3 m และ 2.8 ลิตร/นาที่ ที่ระดับความสูง 6 m โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.39% ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 593.14 W/m² และงานวิจัยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตพบว่าระบบสูบน้ำที่มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 4 m² สามารถสูบน้ำขึ้นที่สูงได้ 6 เมตร อัตราการไหลเฉลี่ย 5.41 ลิตร/นาที่ (2300 ลิตร/วัน) โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 0.21 – 0.25% ที่ค่าพลังงาน

แสงอาทิตย์เฉลี่ย 800 W/m²

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองการคำนวณประสิทธิภาพและสมรรถนะเชิงพลังงานรายปีของระบบสูบน้ำพลังความร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยอ้างอิงกับระบบสูบน้ำพลังความร้อนแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 4 m² ถึงพักน้ำยา เครื่องควบแน่น และปั๊มไดอะแฟรม จากการประเมินศักยภาพทั้งปีโดยการจำลองสภาพการทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทยพบว่า ระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบที่ใช้แผงแผ่นเรียบและใช้ไอโซเพนเทนเป็นของไหลทำงาน สามารถสูบน้ำได้เฉลี่ย 2,351 ลิตร/วัน โดยมีความดันตกคร่อมไดอะแฟรมปั๊มสูงสุด 1.34 bar (gauge) ในเวลา 12.00 น. ที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 28°C สำหรับประสิทธิภาพของการสูบน้ำโดยเฉลี่ยของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์นี้ในประเทศไทยจากการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 0.203% และค่าพลังงานที่ได้จากการสูบน้ำทั้งปีเท่ากับ 50.5 MJ เมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งปีมีค่าประมาณ 25,008.4 MJ ค่าพลังงานในการสูบน้ำที่ได้ทั้งปี เมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้า (ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 90%) คิดเป็นค่าพลังงานที่ผลิตได้ทดแทนการใช้ไฟฟ้า (ค่าความร้อนเท่ากับ 3.6 MJ/หน่วย) ได้เท่ากับ 14.03 หน่วย/ปี หรือ 0.83 บาท/MJ (ที่ราคาไฟฟ้าขายปลีก 3 บาท/หน่วย) และคิดเป็นค่าพลังงานที่ผลิตทดแทน

น้ำมันเตา (ค่าความร้อนเท่ากับ 39.77 MJ/ลิตร) ได้เท่ากับ 1.41 ลิตร/ปี หรือ 0.55 บาท/MJ (ที่ราคาน้ำมันดิบ 70 US\$/bbl และราคาน้ำมันเตา 22 บาท/ลิตร) ทั้งนี้ถ้าต้องการใช้ระบบสูบน้ำพลังงานความร้อน แสงอาทิตย์ในห้องถิ่นชนบทนั้น จะต้องต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิง เศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบกับระบบสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซลหรือ เบนซินและระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานกันอย่าง แพร่หลาย

Abstract

The average total solar radiation in Thailand is found to be 18.2 MJ/m²-day. It implies high potential for solar heating applications. The application on solar thermal pumping technology has become very interesting as a result of the present very high fuel cost. However, the research on the solar thermal pumping systems in Thailand has not been widespread. Only two experimental investigations were found from literature reviews; one was carried out by the Asian Institute of Technology (AIT) in 1979 and the other by the Electricity Generation Authority of Thailand (EGAT) in 2005. The AIT system with 1.4 m² of collector area could increase the working fluid pressure in the collector to be 240 kN/m² and provide a water flow of 4.3 liters per minute (lpm) at a height of 3 m and of 2.8 lpm at a height of 6 m. Its thermal efficiency was found to be only 0.39% at an average solar intensity of 593 W/m². The EGAT system with 4 m² could pump water at a height of 6 m with an average water flow rate of 5.41 lpm (2300 liters/day). Its thermal efficiency was in the range of 0.21 – 0.25% for an average solar intensity of 800 W/m².

This paper presents a simulation model for calculating the year-round thermal performance and efficiency of a solar thermal pumping system operated under a given set of annual weather data of Thailand. The simulation has been done on a system similar to that of EGAT which consists of a 4 m² collector area, a storage tank of fluid, a condenser and a diaphragm pump. The simulation shows that the solar thermal pumping system with a flat plate collector using the isopentane as a working fluid can deliver water at an average flow rate of 2,351 lpm. The maximum pressure drop across the diaphragm pump of about 1.34 bar (gauge) appears mostly 12.00 pm with an average ambient temperature of 28 °C. The year-round efficiency of the system is found to be only 0.203%. The system can produce an amount of energy equivalent to 50.5 MJ/year when the available solar insolation is 25,008.4 MJ/year. The results also shows that solar thermal pumping system can produce the energy at an equal amount of electrical energy provided by an electrical pumping system (assuming that the motor efficiency of 90% and a conversion of 3.6 MJ/unit is used) of 14.03 kWh/year or 0.83

Bath/MJ (basing on an electrical energy retail price is 3 Bath/kWh) and of crude oil (heating value of 39.77 MJ/liter) of 1.41 liters/year or 0.55 Bath/year (at crude oil price of 70 US\$/bbl and bunker oil price of 22 Bath/liter). If the solar thermal pumping system is planned to be used in rural areas, further investigations on the cost comparisons should be done against the pumping system using diesel or gasoline engines and the photovoltaic pumping systems, which have presently been widely adopted.

1. บทนำ

ประเทศไทยมีรังสีแสงอาทิตย์สูงเกือบตลอดทั้งปี จึงมีศักยภาพที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี โดยพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ต่อวันมีค่าประมาณ 18.2 MJ/m²-day การใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ได้ในรูปของความร้อน และไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีพลังงานความร้อน ที่อุณหภูมิต่ำสำหรับการใช้งานด้านอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม เกษตร และครัวเรือน เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะการสูบน้ำในพื้นที่การเกษตรหรือชุมชนที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้

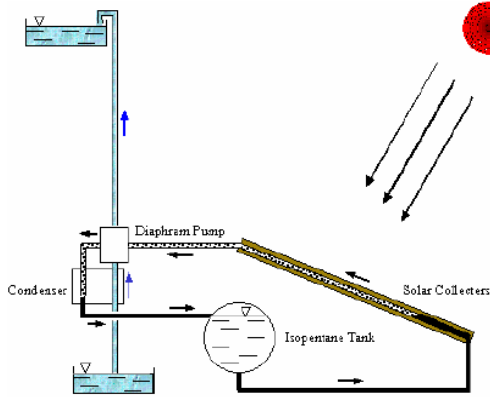
การศึกษาวิจัยระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก เท่าที่ค้นพบได้มีการศึกษาและวิจัยเชิงการทดลองของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) เมื่อปี พ.ศ. 2522 และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2548 โดยงานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียพบว่าระบบสูบน้ำที่มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 1.4 m² และมีความดันของสารทำงานในแผงรับแสงอาทิตย์ 240 kN/m² สามารถสูบน้ำได้ 4.3 ลิตร/นาที ที่ระดับความสูง 3 m และ 2.8 ลิตร/นาที ที่ระดับความสูง 6 m โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.39% ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 593.14 W/m² และงานวิจัยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตพบว่าระบบสูบน้ำที่มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 4 m² สามารถสูบน้ำขึ้นที่สูงได้ 6 เมตร อัตราการไหลเฉลี่ย 5.41 ลิตร/นาที (2300 ลิตร/วัน) โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 0.21 – 0.25% ที่ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 800 W/m²

ในการที่จะส่งเสริมให้มีการใช้งานเทคโนโลยีเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์นั้น สิ่งสำคัญที่ต้องการทราบคือสมรรถนะของระบบในระยะยาว แต่การที่จะหาสมรรถนะของระบบในระยะยาวโดยการทดลองนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ลำบาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ขึ้น โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศในประเทศไทยและอ้างอิงกับผลการทดลองของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ที่สร้างโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของการศึกษาศักยภาพการสูบน้ำของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์นั้น งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ใช้ปั๊มไดอะแฟรม โดยใช้ข้อมูลการทดลอง

ของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้สารไอโซเพนเทน เป็นสารทำงาน[1] ซึ่งมีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเริ่มจากสารไอโซเพนเทนเหลว ที่บรรจุอยู่ในถังเก็บขนาดประมาณ 100 ลิตร ซึ่งส่วนหนึ่งของสารไอโซเพนเทนเหลวจะไหลเข้าไปอยู่ในแผงรับแสงอาทิตย์ ขนาดพื้นที่ประมาณ 4 m² เมื่อแผงรับแสงอาทิตย์ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ก็จะทำให้สารไอโซเพนเทนเหลวเกิดการเดือด กลายเป็นไอที่ความดันสูง จากนั้นไอสารไอโซเพนเทนความดันสูงก็จะไหลผ่านท่อเข้าไปขับปั๊มไดอะแฟรม ทำให้เกิดการสูบน้ำจากแหล่งน้ำ ขึ้นไปเก็บไว้ในถังเก็บที่อยู่สูง 6 เมตร ได้ ไอสารไอโซเพนเทนที่ผ่านไดอะแฟรมปั๊มออกมาจะเป็นไอที่ความดันต่ำ ซึ่งจะถูกทำให้ควบแน่น กลายเป็นของเหลวอีกครั้งโดยการไหลผ่านเครื่องระบายความร้อนแบบการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ถูกสูบขึ้นมาจากแหล่งน้ำ จากนั้นสารไอโซเพนเทนเหลวที่ได้จากเครื่องควบแน่นก็จะถูกส่งมาเก็บยังถังเก็บสารเพื่อรอการทำงานในรอบต่อไป ระบบการสูบน้ำดังกล่าวจะมีการทำงานโดยอัตโนมัติตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์ จนกระทั่งความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ระบบสูบน้ำก็จะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 1 ไดอะแฟรมการทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบที่ใช้ไดอะแฟรมปั๊ม

2.1 สมการการถ่ายเทความร้อน

2.1.1 การสมดุลพลังงานที่แผงรับแสงอาทิตย์

สำหรับการสมดุลพลังงานความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ สามารถอธิบายได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{fluid} = \dot{Q}_a - \dot{Q}_{c-a} - \dot{Q}_{flow}$$

หรือ

$$M_f (C_{p,ave} \frac{dT_f}{dt} + \frac{dh_{fg}}{dt}) = (\tau\alpha)_e A_c I_T - U_L A_c (T_f - T_a) - \dot{m}(h_o - h_i) \quad (1)$$

โดยที่ $\dot{Q}_{fluid}$ = พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับสารทำงาน (W), $\dot{Q}_a$ = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์ (W), $\dot{Q}_{c-a}$ = พลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ (W), $\dot{Q}_{flow}$ = พลังงานความร้อนที่ถูกพาไปกับสารทำงาน (W), M_f = มวลของสารทำงานในแผงรับแสงอาทิตย์ (kg), $C_{p,ave}$ = ความจุความร้อนเฉลี่ยของสารทำงาน (J/kg·°C), T_f = อุณหภูมิของสารทำงาน (°C),

$(\tau\alpha)_e$ = ผลคูณประสิทธิภาพของการส่งผ่าน-ดูดซับแสงอาทิตย์ ของแผงรับแสงอาทิตย์, A_c = พื้นที่รับแสงของแผงรับแสงอาทิตย์ (m²), I_T = ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²), U_L = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์ (W/m²·K), T_a = อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C), $\dot{m}$ = อัตรามวลไหลของสารทำงาน (kg/s), h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของสารทำงาน (J/kg), h_i = เอนทาลปีของสารทำงานเหลวที่ทางเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ (J/kg), h_o = เอนทาลปีของไอสารทำงานที่ทางออกแผงรับแสงอาทิตย์ (J/kg)

เนื่องจาก $dh_{fg} = f(T_f)$ ด้วย และถ้ากำหนดให้ $dh_{fg} = BdT_f$ โดยที่ B เป็นค่าคงที่ ดังนั้นสมการของอุณหภูมิสุดท้ายของสารทำงานในแผงรับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา Δt จะได้ว่า

$$T_f^{t+\Delta t} = T_f^t + \frac{\Delta t}{M_f (C_{p,ave} + B)} \{ (\tau\alpha)_e A_c I_T^t - U_L A_c (T_f^t - T_a^t) - \dot{m}^t (h_o^t - h_i^t) \} \quad (2)$$

โดยที่ $T_f^{t+\Delta t}$ = อุณหภูมิของสารทำงาน ณ เวลา $t + \Delta t$ (°C), T_f^t = อุณหภูมิของสารทำงาน ณ เวลา t (°C), $C_{p,ave}$ = ความจุความร้อนเฉลี่ยของสารทำงาน ณ เวลา t (J/kg·°C), I_T^t = ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ เวลา t (W/m²), U_L^t = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์ ณ เวลา t (W/m²·K), T_a^t = อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ณ เวลา t (°C), $\dot{m}^t$ = อัตรามวลไหลของสารทำงาน ณ เวลา t (kg/s), h_i^t = เอนทาลปีของสารทำงานเหลวที่ทางเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ณ เวลา t (J/kg), h_o^t = เอนทาลปีของไอสารทำงานที่ทางออกแผงรับแสงอาทิตย์ ณ เวลา t (J/kg)

จากอุณหภูมิที่ได้ก็สามารถหาค่าความดันของไอสารทำงานที่ทางออกแผงรับแสงอาทิตย์ได้

2.1.2 การสมดุลพลังงานที่ไดอะแฟรมปั๊ม

สำหรับการสมดุลพลังงานของไดอะแฟรมปั๊มสามารถอธิบายได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\dot{P}_{pump} = \dot{Q}_{flow}$$

หรือ

$$\dot{m}_w g H_T = \dot{m}(h_o - h_i) \quad (3)$$

โดยที่ $\dot{P}_{pump}$ = กำลังงานของการสูบน้ำ (W), $\dot{m}_w$ = อัตรามวลไหลของน้ำ (kg/s), g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s²), H_T = ความดันหัวน้ำรวม (total head) ของการสูบน้ำ (m)

2.1.3 การสมดุลพลังงานที่เครื่องควบแน่น

การสมดุลพลังงานที่เครื่องควบแน่นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{reject} = \dot{Q}_{recieve}$$

หรือ

$$\dot{m}(C_{p,ave} + B)(T_{fo} - T_{fi}) = \dot{m}_w C_{pw}(T_{wo} - T_{wi}) \quad (4)$$

โดยที่ C_{pw} = ค่าความจุความร้อนของน้ำที่ความดันคงที่ ($J/kg \cdot ^\circ C$), T_{fi} = อุณหภูมิของไอสารทำงานเข้าเครื่องควบแน่น ($^\circ C$), T_{fo} = อุณหภูมิของสารทำงานเหลวออกจากเครื่องควบแน่น ($^\circ C$), T_{wi} = อุณหภูมิของน้ำเข้าเครื่องควบแน่น ($^\circ C$), T_{wo} = อุณหภูมิของน้ำออกจากเครื่องควบแน่น ($^\circ C$)

2.1.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์สามารถหาได้จาก

$$U_L = U_t + U_b \quad (5)$$

เมื่อ U_t คือการสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์สู่ทางด้านบน ซึ่งสามารถหาได้จาก (Duffie and Beckman, 1980 [5], 1991[6])

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_c^*} \left(\frac{T_c^* - T_a^*}{N + f} \right) e + \frac{1}{h_v}} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_c^* + T_a^*)(T_c^{*2} + T_a^{*2})}{(\varepsilon_c + 0.00591Nh_v)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_c}{\varepsilon_g} - N} \quad (6)$$

โดยที่ N = จำนวนแผ่นกระจกครอบ, T_c^* = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแผ่นดูดซับรังสี (K), T_a^* = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของบรรยากาศ (K), ε_g = สัมประสิทธิ์การปล่อยรังสีของกระจก, ε_c = ค่าการปล่อยรังสีความร้อนของแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์, σ = ค่าคงที่สเตฟานโบลต์มานน์ (Stefan-Boltzman's constant = $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$), $e = 0.43(1 - 100/T_p^*)$, $f = (1 + 0.089h_{wind} - 0.1166h_{wind}\varepsilon_p)(1 + 0.07866N)$, $C = 520(1 - 0.000051\theta^2)$ สำหรับ $0^\circ < \theta < 70^\circ$, โดยที่ θ คือมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์, h_{wind} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับอากาศภายนอกเนื่องจากลมซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (McAdams, 1954)

$$h_{wind} = 5.7 + 3.8v_{wind} \quad (7)$$

และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์หาได้จาก

$$U_b = \frac{k_b}{L_b} \quad (8)$$

โดยที่ k_b = ค่าการนำความร้อนของฉนวน ($W/m \cdot K$), L_b = ความหนาของแผ่นฉนวน (m)

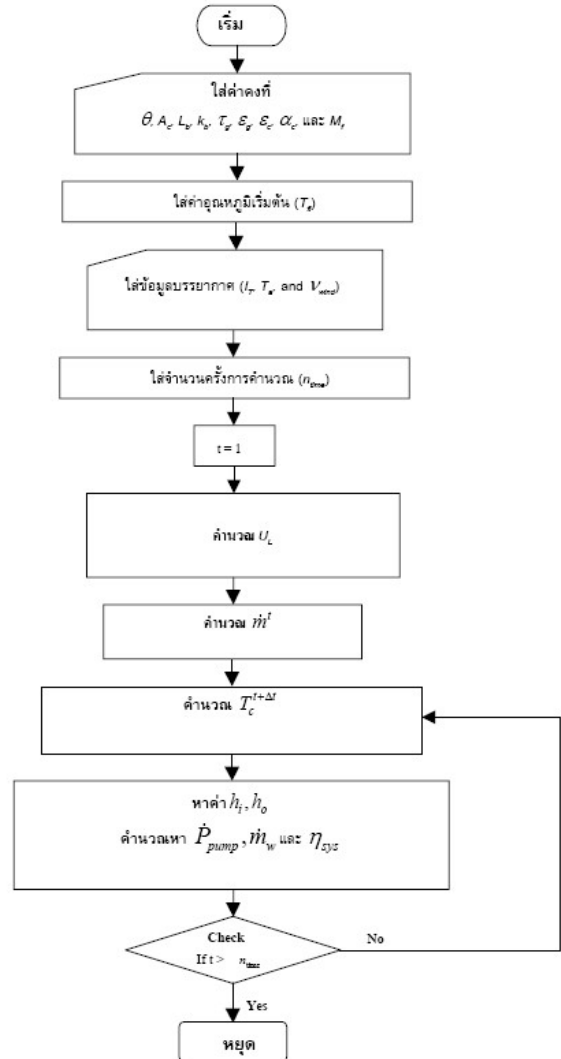
2.1.5 ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบใช้ปั๊มไดอะแฟรมสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\eta_{sys} = \frac{\dot{m}_w g H_T}{A_c I_T} \quad (9)$$

3. การคำนวณหาสมรรถนะของระบบ

การประเมินสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในระยะยาวนั้น สามารถประเมินได้โดยใช้ผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สัมพันธ์กับระบบจริงมาวิเคราะห์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านการทดสอบ แล้วได้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดลองนั้น สามารถที่จะนำไปประเมินศักยภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในเชิงสมรรถนะทางความร้อนในระยะยาวได้ จากสมการสมดุลพลังงานในส่วนต่างๆของระบบที่เขียนขึ้น ก็สามารถนำไปคำนวณหาสมรรถนะต่างๆของระบบได้ ซึ่งค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และขั้นตอนการคำนวณก็สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนของโปรแกรมคำนวณ

ตารางที่ 1 ตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวแปรควบคุม	ค่า
มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์, θ	15° *
พื้นที่รับแสงอาทิตย์, A_c (m^2)	4 *
ความหนาแน่นของแผ่นด้านหลัง, L_b (m)	0.03 *
ค่าการนำความร้อนของแผ่นด้านหลัง, k_b (W/mK)	0.07 **
ระยะห่างระหว่างแผ่นดูดซับรังสีกับแผ่นกระจก, l (m)	0.03 *
ค่าการส่งผ่านแสงของกระจก, T_g	0.88 **
ค่าการปล่อยแสงของกระจก, ϵ_g	0.88 **
ค่าการปล่อยแสงของแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์, ϵ_c	0.95 **
ค่าการดูดซับแสงของแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์, α_c	0.8 **
มวลของสารทำงานในแผงรับแสงอาทิตย์, M_c (kg)	2 *
อัตราการไหลของไอสารทำงานที่เข้าไต่อะแฟรมปั๊ม (m^3/hr)	0.85**

* ได้จากการวัดหรือประเมินจริง

** ได้จากบริษัทผู้ผลิต

4. ผลการคำนวณ

จากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมซึ่งใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งได้แก่กรุงเทพมหานคร จะได้ค่าสมรรถนะต่างๆ เป็นรายชั่วโมง ในการสูบน้ำของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ได้แก่ อุณหภูมิสารทำงานที่รับความร้อนจากแผงแสงอาทิตย์ T_f , กำลังงานของปั๊ม $\dot{P}_{pump}$ อัตราการสูบน้ำ $\dot{m}_w$ และประสิทธิภาพของระบบ η_{sys} ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสมรรถนะรายชั่วโมงของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์

เวลา	I_T (W/m^2)	T_a ($^\circ C$)	T_f ($^\circ C$)	$\dot{P}_{pump}$ (W)	$\dot{m}_w$ (kg/s)	η_{sys} %
6:00-7:00 น.	41.4	21.6	54.1	2.26	0.038335	1.36
7:00-8:00 น.	174.4	23.7	55.3	2.39	0.040536	0.34
8:00-9:00 น.	371.5	26.0	60.0	2.88	0.048882	0.19
9:00-10:00 น.	556.3	28.0	67.6	3.67	0.062396	0.17
10:00-11:00 น.	684.1	29.5	74.8	4.43	0.075192	0.16
11:00-12:00 น.	733.5	30.6	78.0	4.76	0.080853	0.16
12:00-13:00 น.	714.5	31.3	76.7	4.63	0.078588	0.16
13:00-14:00 น.	618.2	31.7	70.9	4.01	0.068153	0.16
14:00-15:00 น.	476.5	31.8	63.7	3.26	0.055416	0.17
15:00-16:00 น.	330.9	31.4	58.6	2.72	0.046283	0.21
16:00-17:00 น.	157.6	29.9	55.1	2.36	0.040128	0.37
17:00-18:00 น.	33.7	27.7	54.1	2.25	0.038298	1.67

และจากผลการคำนวณที่ได้ในแต่ละเวลานี้ ก็จะสามารถนำไปหาค่าสมรรถนะของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์เป็นรายวัน รายเดือน และรายปีได้ต่อไป ดังเช่นค่าสมรรถนะการสูบน้ำของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์เป็นรายเดือนของปี ซึ่งใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในปีพ.ศ. 2541 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมรรถนะทั้งปีของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์

เดือน	Average I_T (MJ/m^2 -day)	Average $\dot{P}_{pump}$ (MJ/day)	$\dot{m}_w$ (kg/day)	Average η_{sys} (%)
มกราคม	17.6	0.143	2423.4	0.202
กุมภาพันธ์	17.2	0.140	2374.5	0.203
มีนาคม	18.4	0.145	2488.0	0.200
เมษายน	19.0	0.146	2472.6	0.198
พฤษภาคม	18.1	0.140	2383.6	0.194
มิถุนายน	18.7	0.144	2445.0	0.193
กรกฎาคม	14.1	0.122	2075.1	0.216
สิงหาคม	15.0	0.127	2151.0	0.211
กันยายน	15.7	0.132	2239.0	0.209
ตุลาคม	17.2	0.140	2382.6	0.203
พฤศจิกายน	16.5	0.137	2325.0	0.207
ธันวาคม	18.1	0.145	2471.2	0.200

5. สรุป

ประเทศไทยมีศักยภาพในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับประมาณ $18.2 MJ/m^2$ ในการนำมาเป็นแหล่งพลังงานของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ จากการประเมินศักยภาพทั้งปีโดยการจำลองสภาพการทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทย พบว่า ระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบใช้แผงแผ่นเรียบและใช้ไอโซเพนเทนเป็นของไหลทำงาน สามารถสูบน้ำได้เฉลี่ย 2,351 ลิตรต่อวันตลอดทั้งปี โดยมีความดันตกคร่อมไต่อะแฟรมปั๊มสูงสุด 1.34 bar (gauge) ในเวลา 12.00 น. ที่อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก 28 องศาเซลเซียส สำหรับประสิทธิภาพการสูบน้ำ โดยเฉลี่ยของระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทยเท่ากับ 0.202% จากการจำลองสภาพการทำงานด้วยข้อมูลแสงอาทิตย์ในเขตภาคกลางทั้งปีพบว่า ค่าพลังงานที่ได้จากการสูบน้ำสูงสุดทั้งปีเท่ากับ 50.5 MJ โดยที่ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งปีเท่ากับ 10,316 MJ เมื่อพื้นที่รับแสงอาทิตย์เท่ากับ $4 m^2$ ค่าพลังงานในการสูบน้ำที่ได้ทั้งปี เมื่อเทียบกับการสูบน้ำไฟฟ้า (ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 90%) ได้เท่ากับ 14.03 kWh/ปี หรือ 0.83 บาท/MJ (ที่ราคาค่าไฟฟ้าขายปลีก 3 บาท/หน่วย) และคิดเป็นค่าพลังงานที่ผลิตทดแทนน้ำมันเตา (ค่าความร้อนเท่ากับ 39.77 MJ/ลิตร) ได้ เท่ากับ 1.41 ลิตร/ปี หรือ 0.55 บาท/MJ (ที่ราคาน้ำมันดิบ 70 US\$/bbl และราคาน้ำมันเตา 22 บาท/ลิตร) ทั้งนี้ถ้าต้องการใช้ระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในท้องถิ่นชนบทนั้น จะต้องต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบกับระบบสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซินและระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากการสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ อีกทั้งทางผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุม ในการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการนำเสนอบทความในครั้งนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์ สำนักงานวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2548). การวิจัยและพัฒนา ระบบสูบน้ำด้วยพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1. 11-13 พฤษภาคม 2548. โรงแรมแอมบาสเตอร์ ชลบุรี.
- [2] R.H.B Exell (1985) "Heat Transfer in Flat-Plate Solar Collectors" Solar Thermal Component and System Testing: Proceedings of the Fourth Asian School on Solar Energy Harnessing 12-20 December 1985 at AIT, Bangkok, 47-56.
- [3] Mahendra Pal Sharma and Gajendra Singh (1980). A Low Lift Solar Water Pump. Solar Energy. Vol. 25, pp. 273-278.
- [4] K. Spindler, K. Chandwalker and E. Hahne. Small Solar (Thermal) Water-Pumping System. Solar Energy. Vol. 57, pp. 69-76.
- [5] K. Sumathy, A. Venkatesh and V. Sriramulu. Thermodynamic Analysis of a Solar Thermal Water Pump. Solar Energy. Vol. 57, pp. 155-161.
- [6] D. J. Picken, K. D. R. Seare and F. Goto. Design and Development of a Water Piston Solar Powered Steam Pump. Solar Energy. Vol 61, pp. 219-244.
- [7] K. Sumathy, A. Venkatesh and V. Sriramulu. The Importance of the Condenser in a Solar Water Pump. Energy Conversion and Management. Vol. 36, pp 1167-1173.
- [8] K. Sumathy. Experimental Studies on a Solar Thermal Water Pump. Applied Thermal Engineering. Vol. 19, pp. 449-459.
- [9] Y. W. Wong and K. Sumathy. Solar Thermal Water Pumping Systems: A Review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 3, pp. 185-217.
- [10] J. Roullier D. Appeagyei-Kissi, 1993. Thermodynamic Analysis of a Minimum Maintenance Solar Pump. Int J Ambient Energy, Vol. 14, No. 4 pp. 171-176.
- [11] John A. Duffie and William A. Beckman, 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, Inc.
- [12] J. P. Holman, 1997. Heat Transfer. McGraw-Hill, Inc.
- [13] Carl L. Yaws, 1996. Handbook of Thermodynamic Diagrams, Volume 2. Gulf Publishing Company.
- [13] Quest Consultants Inc., 2006. Multi-component thermodynamic calculations. http://www.questconsult.com/thermo_intro.html (accessed on May 2007).
- [14] Thermodynamics and Properties LAB., Dept. of Chemical Engineering, Korea University. Korea thermophysical properties Databank. <http://www.thermo.org/kdb/> (accessed on May 2007).