



การศึกษาสภาพการถ่ายเทความร้อนและศักยภาพการผลิตน้ำร้อน

แสงอาทิตย์ของบ้านประหยัดพลังงาน

Study of Heat Transfer Feature and Potential of Solar Water Heating for Energy Saving Houses

ชกะแก้ว สุดสีซัง และ วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Chakakaew Sudseechang and Wipawadee Wongsuwan

Department of Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกบ้านประหยัดพลังงานหนึ่งในสี่แบบ ที่ได้รับการเผยแพร่โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมาศึกษาพฤติกรรมด้านพลังงาน โดยการจำลองบ้านในโปรแกรม TRNSYS ทำให้สามารถทำนายสภาพการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ้านที่สมมติว่าตั้งอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ปริมาณการถ่ายเทพลังงานผ่านกรอบอาคารของบ้าน คำนวณพลังงานของบ้าน และผลการประหยัดพลังงานเมื่อติดตั้งใช้งานระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนธรรมชาติ และแบบไหลเวียนโดยใช้แรงดัน

โปรแกรม TRNSYS แสดงให้เห็นอิทธิพลการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่มีผลกระทบต่อบ้าน ผลการคำนวณอุณหภูมิภายในบ้านตลอดทั้งปี พบว่าในทุภูมิภาคมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และจะสูงที่สุดในเดือนเมษายน จากนั้นอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ ลดต่ำลงจนกระทั่งถึงเดือนธันวาคม โดยภาคเหนือ ภาคกลาง กรุงเทพมหานคร และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $24.1\text{ }^{\circ}\text{C} - 33.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $28.6\text{ }^{\circ}\text{C} - 36.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $29.3\text{ }^{\circ}\text{C} - 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $26.4\text{ }^{\circ}\text{C} - 33.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้าน (kWh) ในแต่ละเดือนตลอดปี ช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนซึ่งเป็นเดือนในน้ำร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านมากที่สุดในเกือบทุกพื้นที่ และภาคกลางมีค่าสูงสุด โดยค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านในแต่ละพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ กทม. คือ 614 ± 33.2 , 556 ± 39.1 , 543 ± 38.1 , และ 559 ± 33.6 kWh/เดือน ตามลำดับ สำหรับระบบทำน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ทั้งสองแบบ สามารถตอบสนองความต้องการใช้น้ำร้อนของผู้อยู่อาศัย โดยอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากระบบไหลเวียนตามธรรมชาติ และไหลเวียนตามแรงดันตลอดปีทำได้สูงสุด $60.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $62.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยเฉลี่ยคิดเป็นอัตราความร้อน $1,432.95\text{ kJ/hr}$ และ $1,531.80\text{ kJ/hr}$ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนคือ 51.6% และ 55.2% ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงว่าระยะเวลาคืนทุนของระบบทำน้ำร้อนประมาณ 6.2 ปี และค่าผลตอบแทนการลงทุนภายในสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก แสดงว่าการติดตั้งระบบคุ้มค่าต่อการลงทุน

ABSTRACT

This research chose one of four patterns of “energy saving houses” recommended by Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), to study energy characteristic in details, using a widespread energy simulation software called TRNSYS. A house was assumed to locate in different parts of Thailand and heat transfer through its envelope was considered including its average indoor temperature. The results showed the amount of energy transferred into the house envelope, energy indicator, and energy saving obtained by solar water heater (SWH); both of natural- and forced-circulation types.

TRNSYS program gave influences of parameters concerned with reasonable calculated results. It could be found that the indoor temperatures for every part of the Country increased from January to a maximum value in April and tended to decrease after that to December. The temperatures were 24.1 °C - 33.4 °C, 28.6 °C - 36.3 °C, 29.3 °C - 34 °C and 26.4 °C - 33.1 °C for northern, central, Bangkok and north-eastern areas, respectively. The amounts of heat entering (kWh) in each month were highest during March and April. They were 614 ± 33.2 , 556 ± 39.1 , 543 ± 38.1 , และ 559 ± 33.6 kWh/month for northern, central, north-eastern and Bangkok areas, respectively. For water heating, both SWHs could supply hot water demand of occupants of which the maximum supplied hot water temperatures by natural- and forced- SWH were about 60 °C and 62 °C, equivalent to thermal energy approximately of 1,432.95 kJ/h and 1,531.80 kJ/h. Their thermal efficiencies were 51.6% and 55.2%, respectively. Economic analysis showed the payback periods which were over 6.2 years but the internal rate of return was still higher than the bank interest rate so the investment on these SWHs would be feasible.

1. บทนำ

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าอยู่ในช่วง 20-24 MJ/m².day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m².day และค่าเฉลี่ยรายวันต่อปีจากทุกพื้นที่ทั้งประเทศต่อปีเท่ากับ 18.2 MJ/m².day

การศึกษาด้านประหยัดพลังงานในอาคารและที่พักอาศัย โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับการจำลองระบบความร้อนและระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม TRNSYS พบในงานของ Maneewan et al. (2005) ซึ่งศึกษาระบบหลังคาจับแสงอาทิตย์แบบ Thermoelectric Roof Solar Collector (TE-RSC) เพื่อเพิ่มการระบายความร้อน ประกอบกับการใช้พัดลมระบายความร้อน และเพิ่มช่องว่างของเพดาน พบว่าทำให้อุณหภูมิบ้านลดต่ำลงได้ ผลการทำนายพฤติกรรมโดยโปรแกรม TRNSYS เปรียบเทียบบ้านที่ติดตั้งและไม่ติดตั้ง TE-RSC ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 972 W/m² และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

35 °C จะใช้พื้นที่ของ TE-RSC เพียง 0.0525 m² เพื่อให้เกิดพลังความร้อนที่ระบายได้ 9 W

นอกจากนี้ Kalogirou (2001) ได้ทำนายผลการนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) มาใช้ร่วมกับระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ (Hybrid PV/T) สำหรับบ้านในไซปรัส ผลการคำนวณแสดงว่าระบบให้ระยะเวลาคืนทุนเพียง 4.6 ปี และให้ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี 7.7 % โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ถึง 49% นอกจากนี้ผลการใช้โปรแกรม TRNSYS วิเคราะห์ระบบทำความอบอุ่นในงานของ Persson et al. (2005) สำหรับบ้านเดี่ยวแสดงให้เห็นผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 80% จากการใช้เตาแบบ Wood Pellet เมื่อติดตั้งเตาแบบมีเสื้อฉนวนน้ำ (Water-jacket) ที่ต่อเชื่อมกับระบบทำความร้อนเรดิเอเตอร์ (Radiator) ทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทสู่น้ำร้อนของบ้านและกระจายถึงห้องอื่นๆ ได้ดี โปรแกรม TRNSYS ยังถูกใช้ในการทำนายสมรรถนะแบบระยะยาวของอาคารที่ติดตั้งระบบ PV เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดสอบจริงในงาน

ของ Mondol et al. (2005) พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนรายเดือนของผลการทำนายไฟฟ้าที่ได้จาก PV คือ 6.79 % เท่านั้น และในงานของ Wongsuwan and Kumar (2005) ได้เปรียบเทียบผลการทำนายพฤติกรรมระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบไหลเวียนตามแรงดัน โดยใช้โปรแกรม TRNSYS และกรรมวิธี Artificial Neural Networks (ANN) พบว่าให้ผลการทำนายที่สอดคล้องกับผลทดสอบจริงทั้งแบบรายชั่วโมงและรายวันภายใต้สภาพท้องฟ้า 4 แบบ (ตั้งแต่ฟ้าโปร่งจนถึงมีเมฆมาก) โดยมีค่าความเบี่ยงเบนจากข้อมูลไม่เกิน 1.7 °C

การทำนายพฤติกรรมระบบพลังงานโดย TRNSYS ทำให้ทราบผลจากการใช้มาตรการด้านพลังงานต่างๆ กับบ้านและอาคาร และเป็นแนวทางในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมให้มีความสอดคล้องกับการใช้พลังงานหมุนเวียนได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำโปรแกรม TRNSYS มาใช้ทำนายพฤติกรรมด้านพลังงานของบ้านประหยัดพลังงานที่ได้รับการเผยแพร่จากหน่วยงานของรัฐ รวมถึงทำนายผลการนำระบบพลังงานหมุนเวียนมาใช้กับบ้าน

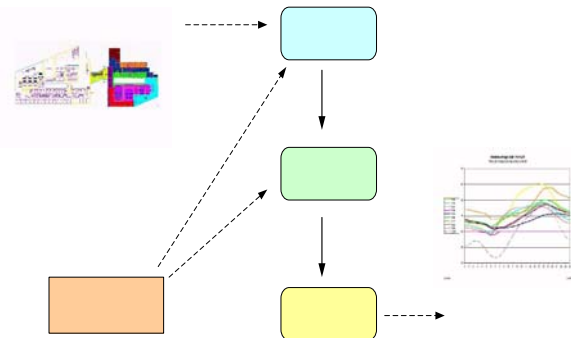
2. ทฤษฎี

2.1 โปรแกรม TRNSYS

โปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์ระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์คือ TRNSYS ซึ่งย่อมาจาก “TRaNsient SYStem Simulation Program” เป็นเครื่องมือช่วยในการจำลองโมเดล การวิเคราะห์สภาวะทางความร้อนของอาคาร ใช้แบบจำลองทางความร้อนและการไหลอากาศ (Thermal and Air Flow Model) จากกลไกการถ่ายเทความร้อนในอาคาร อาทิ การนำความร้อน การพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของอากาศ การแผ่รังสีคลื่นยาว การแผ่รังสีอาทิตย์หรือรังสีคลื่นสั้น ภาวะความร้อนภายในอาคาร พลังงานจากระบบควบคุมในอาคาร และความจุความร้อนของอากาศ

TRNSYS ถูกแบ่งเป็น 3 โปรแกรมย่อย คือ (1) โปรแกรมย่อย SIMCAD ใช้ในการวาดแบบ Drawing ต่างๆ ของบ้าน หรืออาคารที่ต้องการจำลอง

(2) โปรแกรมย่อย TRNBuil ซึ่งแตกต่างจาก SIMCAD ตรงที่ TRNBuil นั้นสามารถที่จะแก้ไขและเพิ่มข้อมูลจากที่ได้กำหนดตั้งแต่ตอนเริ่มต้นใน SIMCAD และยังสามารถเลือกแบบการเสนอผลข้อมูลป้อนของค่าคงที่ตัวแปร และพารามิเตอร์สำคัญได้ตามต้องการ (3) โปรแกรมหลัก TRNSYS Simulation Studio ทำหน้าที่ประมวลผลและสร้างรูปแบบของระบบ เพราะใน TRNSYS Studio ได้บรรจุโมเดลของระบบทางความร้อน ทางกล และทางไฟฟ้า กรรมวิธีเชิงตัวเลข ระบบส่งถ่ายของไหล ระบบควบคุม ระบบจัดการรับข้อมูลป้อนระบบนำเสนอผลการวิเคราะห์ แม้แต่ระบบประยุกต์ทางพลังงานที่ทันสมัย ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกมาประกอบเป็นระบบขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อนมากขึ้นตามวัตถุประสงค์การใช้งานที่ได้ออกแบบไว้ หากโมเดลขององค์ประกอบใดไม่มี ผู้ใช้ก็สามารถสร้างโมเดลนั้นขึ้นมาต่างหากและทำการคอมไพล์เพื่อทำให้ TRNSYS รู้จัก และสามารถเชื่อมโยงการส่งถ่ายข้อมูลกับโมเดลที่มีอยู่แล้วได้ ขั้นตอนการส่งผ่านข้อมูลในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของ TRNSYS แสดงในรูปที่ 1



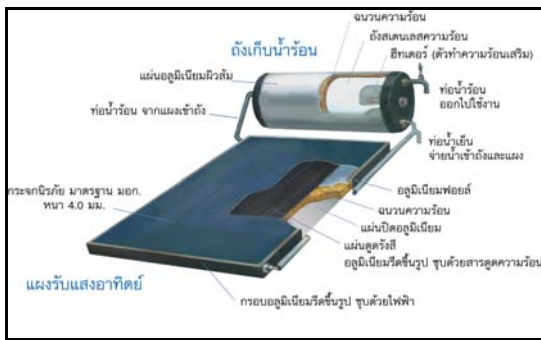
รูปที่ 1 ขั้นตอนการส่งผ่านข้อมูลในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของ TRNSYS

2.2 ระบบทำน้ำร้อนโดยรังสีอาทิตย์

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ ดังตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 2 น้ำเย็นในส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนจะไหลผ่านตัวรับรังสีอาทิตย์

ซึ่งจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะลอยตัวขึ้นตามท่อทองแดงที่อยู่ภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ และไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน โดยส่วนที่ร้อนกว่าจะอยู่ส่วนบนของถัง พร้อมทั้งจะนำไปใช้ได้

ระบบไหลเวียนตามแรงดัน จะเหมาะสำหรับใช้งานในบ้านหรืออาคารที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือมีความต้องการใช้น้ำร้อนมากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีปั๊มเพื่อทำให้น้ำไหลเวียนและรับความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่ถังขนาดใหญ่อาจติดตั้งแยกห่างจากแผงรับรังสีอาทิตย์ได้ น้ำจากถังเก็บน้ำจะไหลเข้าสู่แผงตามการควบคุมของอุปกรณ์ตั้งเวลาเพื่อให้ปั๊มทำงานเฉพาะกลางวัน



รูปที่ 2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (ที่มา : www.egat.co.th/re)

ความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ (หน่วย kJ) คำนวณจากสมการที่ (1) โดยสมมติว่ามีกรนำน้ำร้อนปริมาณ m_j ออกมาใช้งานในแต่ละช่วงเวลา j ความร้อนที่ผู้ใช้น้ำร้อนต้องการจากระบบ คิดจากผลรวมของความร้อนสัมผัสของน้ำ ซึ่งคำนวณจากผลต่างของอุณหภูมิที่กำหนดไว้กับอุณหภูมิน้ำดิบป้อนจากระบบประปา

$$Q_s = \sum_{j=1}^n m_j C_w (t_{wj} - T_{main}) \quad (1)$$

โดยทั่วไประบบจะถูกใช้งานตลอดวัน ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ได้ต่อรังสีตกกระทบแผงทั้งหมดอันเป็นผลรวมของช่วงเวลา j ตลอดทั้งวัน จะเป็นประสิทธิภาพของระบบโดยจะคำนวณจาก

$$\eta_{daily} = \frac{Q_s}{\sum_{j=1}^n I_t A_c \Delta t_j} \quad (2)$$

3. แบบจำลอง (Model)

แบบบ้านที่นำมาศึกษาเป็นแบบบ้านของโครงการการศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในบ้านที่อยู่อาศัย ซึ่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการเผยแพร่แนวคิดที่อยู่อาศัยที่สอดคล้องกับสถานะน่าสบาย และเหมาะสมกับการใช้ชีวิต และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า เพื่อมุ่งหวังให้เกิดการประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน โดยสามารถตอบสนองวิถีการใช้ชีวิตของประชาชนในยุคปัจจุบันได้เป็นอย่างดี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2548)

บ้านจำลองเป็นบ้านสองชั้นที่มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 135 m² ประกอบด้วย 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยอื่นได้แก่ ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น ห้องรับประทานอาหาร และห้องครัว ดังแสดง Floor Plan ชั้นบนและชั้นล่างในรูปที่ 3 ส่วนโครงสร้างของหลังคาบ้าน ประกอบด้วย วัสดุกระเบื้องซีเมนต์โมเนีย โครงหลังคาเหล็ก และ หลังคากระเบื้องซีเมนต์



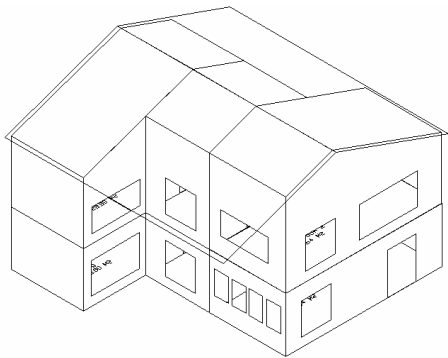
(ก)



(ข)

รูปที่ 3 แบบ Floor Plan ของบ้านที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ก) พื้นที่ชั้นล่าง, (ข) พื้นที่ชั้นบน (พพ, 2548)

การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ใช้โปรแกรม SIMCAD เพื่อจำลองแบบบ้านทั้งหมดโดยวาดตามขนาดที่ได้จากแบบร่างของบ้าน โดยเน้นเป็นพิเศษในส่วนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลสำคัญที่ต้องป้อนในโปรแกรม ประกอบด้วย วัสดุที่ใช้ คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ของบ้านที่ทำให้บ้านประหยัดพลังงานมากที่สุด ซึ่งแบบบ้านที่วาดในโปรแกรมจะเป็นบ้านแบบโซนเดี่ยว (Single zone) คือมีพื้นที่ต่อเชื่อมถึงกันทั้งหมด เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลอง 3 มิติของบ้านใน SIMCAD

การวิเคราะห์ได้กำหนดสมมติฐานให้บ้านมีสมาชิกภายในบ้านจำนวน 4-5 คน ต้องการใช้น้ำร้อน 120 ลิตร/วัน อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 60°C โดยอุณหภูมิก่อนรับรังสีอาทิตย์เท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ ระบบมีถังเก็บน้ำร้อนความจุ 150 ลิตร น้ำร้อนใช้เพื่อการอุปโภค เช่น อาบน้ำ และซักล้าง ในช่วงเวลา 07:00 น. ถึง 08:00 น. และ 18:00 น. ถึง 19:00 น. ของทุกวัน และภาระการใช้น้ำร้อนเหมือนกันทุกวันตลอดทั้งปี

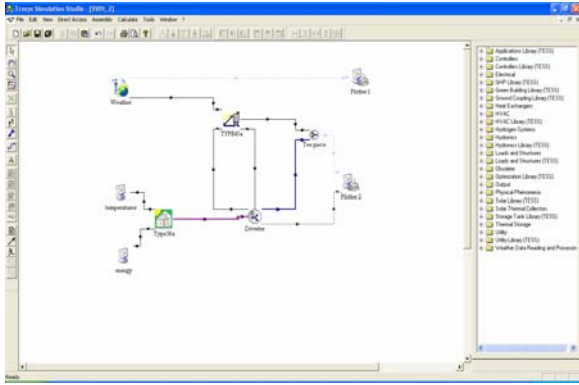
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบแผ่นเรียบ (Flat-Plate Solar Collector) เปลี่ยนรังสีอาทิตย์เป็นความร้อน พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ ประมาณ 2 m^2 โดยอัตราการไหลของระบบไหลเวียนตามธรรมชาติเป็นไปตามแรงดันของน้ำประปาที่เข้าระบบ คือ 8-10 L/min ระบบแบบไหลเวียนตามแรงดันต้องมีปั๊มน้ำร้อน (220 V, 0.19 A) เพื่อส่งน้ำจากถังเก็บน้ำร้อนสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยอัตราการไหล 30 L/min ปั๊มน้ำป้อน (220 V, 0.24 A) ทำหน้าที่ป้อนน้ำกลับจากส่วนใช้งาน เข้าสู่ระบบ

ทำน้ำร้อนด้วยอัตราการไหล 20 L/min และมีอุปกรณ์เสริม ได้แก่ วาล์วระบายแรงดัน สำหรับกรณีที่มีความดันของระบบสูงเกินกำหนด

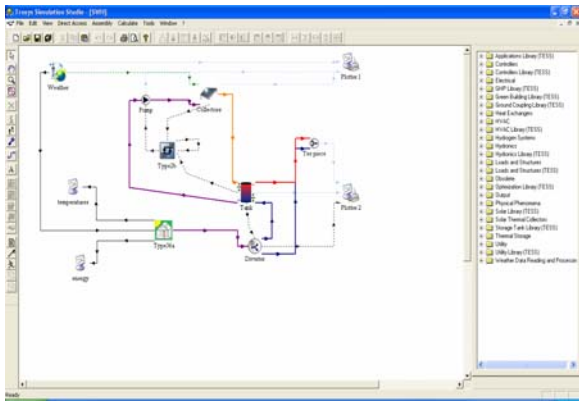
การจำลองบ้านที่ติดตั้งระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ และแบบไหลเวียนตามแรงดันใน TRNSYS Simulation Studio แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งผู้ใช้ต้องกำหนดข้อมูลป้อนตัวแปรพารามิเตอร์ และคุณลักษณะจำเพาะของแต่ละองค์ประกอบ ได้แก่ ข้อมูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน ตลอดจนอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม พลังงานรังสีอาทิตย์ที่จ่ายให้กับระบบ อัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการ ระยะเวลาการจ่ายให้ภาระงาน สัมประสิทธิ์ความร้อนสูญเสีย ฯลฯ ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานจริง และตรวจสอบผลการทำนายพฤติกรรมเบื้องต้น (Preliminary test) ก่อนการจำลองการทำงานระบบบ้านตลอดทั้งปี

ข้อมูลสภาพอากาศเป็นข้อมูลสำคัญที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ ได้จากข้อมูลชุดสภาพอากาศรายชั่วโมงเฉลี่ยระยะเวลา 10 ปี (2539 - 2548) เรียกว่า ชุดข้อมูล TMY-2 ของโปรแกรม TRNSYS (TRNSYS 16, 2006) ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง ไม่แปรปรวนเนื่องจากความผิดเพี้ยนของสภาพอากาศในปีใดปีหนึ่ง ซึ่งอาจทำให้ผลลัพธ์โดยรวมนั้นความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

เพื่อความสะดวกในการทำนายผลการทำงานของระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ในบ้านประหยัดพลังงานในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย จึงใช้ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงของจังหวัดสำคัญ ที่เป็นตัวแทนของภูมิภาคที่จังหวัดนั้นตั้งอยู่ โดยกำหนดให้ภาคเหนือใช้ข้อมูลเฉลี่ยของสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่ ภาคกลางใช้ข้อมูลของจังหวัดนครสวรรค์ กับ กรุงเทพมหานคร และภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้ข้อมูลของจังหวัดอุบลราชธานี เป็นต้น ในขณะที่ข้อมูลของจังหวัดทางภาคใต้นั้นไม่มีในฐานข้อมูล TMY-2



รูปที่ 5 แบบจำลองระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ แบบไหลเวียนแบบธรรมชาติใน TRNSYS



รูปที่ 6 แบบจำลองระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ แบบไหลเวียนตามแรงดันใน TRNSYS

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม TRNSYS สามารถแสดงภาวะความร้อน 3 แบบในแต่ละห้อง (Zone) ได้แก่ (1) Casual gains หรือ internal heat gain (2) Lighting และ Occupancy และ (3) Heating และ cooling โดยผลรวมของแต่ละโซนจะแสดงการใช้พลังงานของทั้งบ้าน

ข้อมูลสำหรับแต่ละห้อง (Zone) ของบ้านทดสอบ ได้แก่ ปริมาตรห้อง พื้นที่ของพื้นที่ห้อง พื้นที่ที่มีและไม่มี การรับแดดของผนัง และพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่แต่ละห้อง ซึ่งเมื่อหาดัชนีหรืออัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานกับคุณลักษณะจำเพาะของแต่ละห้อง จะสามารถเปรียบเทียบความหนาแน่นของการใช้พลังงาน

(Energy intensity) ของแต่ละโซนได้ ซึ่งค่าดัชนีที่คำนวณ ได้แก่

1. ดัชนีพลังงานเข้าต่อพื้นที่ของผนังต่อวัน ($\text{kWh/m}^2.\text{day}$)
2. ดัชนีพลังงานเข้าต่อปริมาตรห้องต่อวัน ($\text{Wh/m}^3.\text{day}$)
3. ดัชนีพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ของพื้นที่แต่ละห้อง ($\text{Wh/m}^2.\text{day}$)
4. ดัชนีพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ต่อพื้นที่รับแดดต่อวัน ($\text{MJ/m}^2.\text{day}$)

จากการประมวลผลการคำนวณดัชนีพลังงานต่อพื้นที่ที่พื้นหรือผนังหรือต่อปริมาตรของแต่ละโซน สรุปได้ว่า พื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการใช้พลังงานสูงสุด คือ ห้องครัวซึ่งใช้ไฟฟ้า $316.3 \text{ Wh/m}^2.\text{day}$ และมีความร้อนเข้า $22.16 \text{ Wh/m}^3.\text{day}$ รองลงมาได้แก่ห้องนอน 1 ซึ่งใช้ไฟฟ้า $115.6 \text{ Wh/m}^2.\text{day}$ และห้องนอน 2 ซึ่งใช้ไฟฟ้า $71.2 \text{ Wh/m}^2.\text{day}$

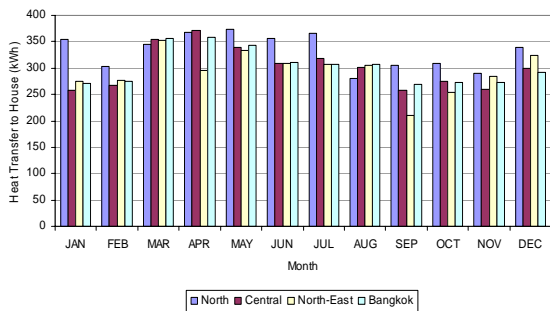
ห้องนอน 1 และห้องนอน 2 มีความร้อนเข้าสู่ห้องน้อย ($7.02 \text{ Wh/m}^3.\text{day}$ และ $15.67 \text{ Wh/m}^3.\text{day}$) และจากรังสีอาทิตย์เข้าเพียง $0.74 \text{ MJ/m}^2.\text{day}$ และ $0.76 \text{ MJ/m}^2.\text{day}$ ตามลำดับ แสดงว่าได้รับการออกแบบตำแหน่งการตั้งเพื่อลดพื้นที่รับแดดมาเป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาดัชนีพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องต่อพื้นที่รับแดด พบว่า บริเวณห้องนั่งเล่นและห้องครัวยังมีดัชนีสูงสุด ($2.05 \text{ MJ/m}^2.\text{day}$ และ $1.86 \text{ MJ/m}^2.\text{day}$) ดังนั้นการลดพื้นที่รับแดดจึงเป็นเรื่องสำคัญ อาทิ การปลูกต้นไม้เพื่อบังร่มให้กับอาคาร และการออกแบบให้มีกันสาดแนวตั้งหรือแนวนอนช่วยบังแดด

ผลการคำนวณอุณหภูมิภายในบ้านตลอดทั้งปี พบว่าในทุกภูมิภาคมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และจะสูงที่สุดในเดือนเมษายน จากนั้นอุณหภูมิลดลงลงจนกระทั่งถึงเดือนธันวาคม โดยภาคเหนือภาคกลาง กรุงเทพมหานคร และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $24.1 \text{ }^\circ\text{C} - 33.4 \text{ }^\circ\text{C}$,

28.6°C - 36.3 °C, 29.3 °C - 34 °C และ 26.4 °C - 33.1 °C ตามลำดับ

ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่บ้านใน 4 พื้นที่ แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งแสดงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้าน (kWh) ในแต่ละเดือนตลอดปี ช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนซึ่งเป็นเดือนในหน้าร้อน มีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านมากที่สุดเกือบทุกพื้นที่ และภาคกลางมีค่าสูงสุด

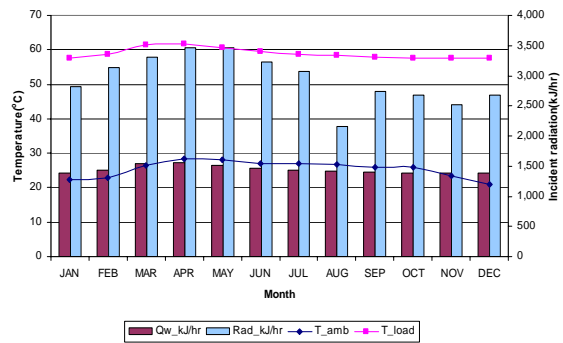
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านในแต่ละพื้นที่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ กทม. คือ 614±33.2, 556±39.1, 543±38.1, และ 559±33.6 kWh/เดือน ตามลำดับ หมายความว่าหากบ้านประหยัดพลังงานหลังนี้ตั้งในพื้นที่ภาคเหนือ บ้านจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อเดือนสูงที่สุดแต่เปลี่ยนแปลงในช่วงค่อนข้างแคบ ในขณะที่ กทม. และภาคกลางมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และต่ำที่สุดคือค่าเฉลี่ยของจังหวัดอุบลราชธานี



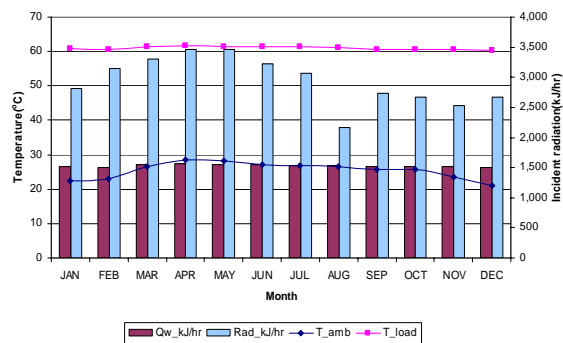
รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบความร้อนถ่ายเทเข้าสู่บ้านกรณีบ้านตั้งในภาคต่างๆ ของประเทศไทย (1) ภาคเหนือ-เชียงใหม่ (2) ภาคกลาง-นครสวรรค์ (3) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ-อุบลราชธานี และ (4) กรุงเทพมหานคร

รูปที่ 8 แสดงผลการทำนายพฤติกรรมตลอดปีโดย TRNSYS สำหรับระบบทำน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์แบบไหลเวียนธรรมชาติ และไหลเวียนตามแรงดันของบ้านที่ตั้งในภาคเหนือ (แทนโดยจังหวัดเชียงใหม่) โดยสามารถแสดงกราฟลักษณะนี้ได้สำหรับภูมิภาคอื่นเช่นกัน ระบบ

ไหลเวียนตามธรรมชาติทำอุณหภูมิน้ำได้ถึงระดับ 58 – 60 °C ตลอดทั้งปี คิดเป็นค่าความร้อน 1,300 – 1,500 kJ/hr ตลอดทั้งปีในทุกภูมิภาค ในขณะที่ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่แต่ละพื้นที่รับมีค่าในช่วง 2,200 – 3,500 kJ/hr ประสิทธิภาพของระบบคือ 43% - 59%



(ก) แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ



(ข) แบบไหลเวียนตามแรงดัน

รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และค่ารังสีดวงอาทิตย์กับพลังงานความร้อนในแต่ละเดือน (ก) ระบบไหลเวียนตามธรรมชาติ และ (ข) แบบไหลเวียนตามแรงดัน

ชนิดไหลเวียนตามแรงดันทำงานคล้ายกับชนิดหมุนเวียนโดยธรรมชาติ แต่มีการนำปั๊มมาช่วยขับเคลื่อนให้เกิดการไหลเวียนและทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนของทุกภาค แม้ว่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบเท่ากันแต่ความร้อนที่ได้จากระบบแบบไหลเวียนตามแรงดันค่อนข้างสม่ำเสมอทุกเดือนไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากการไหลเวียนของน้ำในช่วงการทำงานของ

ระบบเป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยการขับของปั๊ม สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ หากสมมติว่าติดตั้งกับบ้านประหยัดพลังงานที่ตั้งในพื้นที่ของประเทศไทย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติและแบบไหลเวียนตามแรงดัน

พื้นที่ตั้งบ้านที่ติดตั้งระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์	T _{Load} (°C)	I _r (°C)	Q _s (kJ/hr)	η(%)
แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ				
กรุงเทพมหานคร	59.4	2,782	1,441	51.8
ภาคเหนือ	60.0	2,938	1,440	49.0
ภาคกลาง	59.5	2,738	1,422	51.9
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	59.7	2,661	1,429	53.7
แบบไหลเวียนตามแรงดัน				
กรุงเทพมหานคร	61.3	2,782	1,546	55.6
ภาคเหนือ	62.0	2,938	1,527	52.0
ภาคกลาง	61.0	2,738	1,528	55.8
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	61.0	2,661	1,526	57.3

โดยภาพรวมการนำระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์มาติดตั้งกับบ้านที่ตั้งในภูมิภาคต่างๆ ให้ผลไม่แตกต่างกันเท่าใด ประสิทธิภาพระบบแปรผันในช่วง 49.0 – 57.3% ซึ่งค่าทั่วไปของประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ควรจะอยู่ที่ประมาณ 60% – 70% ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบของจังหวัดเชียงใหม่ตัวแทนภาคเหนือสูงสุด อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานจึงสูงกว่าภาคอื่น โดยภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้ค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

การใช้พลังงานของบ้านมีทั้ง ไฟฟ้าและความร้อน โดยพลังงานไฟฟ้า คิดจากภาระไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งในบ้านทั้งหมด ซึ่งมีชนิด จำนวน และชั่วโมงการใช้งานแตกต่างกันไปตามพื้นที่ใช้สอย พิจารณาจากความต้องการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าแบบพื้นฐานของบ้านที่ควรจะมีเพื่ออำนวยความสะดวกตามความเหมาะสม ยกตัวอย่างห้องนั่งเล่นมีการใช้โทรทัศน์ และหลอดไฟลูออเรสเซนต์ ในขณะที่ห้องครัวจะมีการใช้งานตู้เย็น เตาไมโครเวฟ และหลอดไฟลูออเรสเซนต์ ค่าไฟฟ้าจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการใช้งาน จำนวนและภาระไฟฟ้าของ

เครื่องใช้ไฟฟ้า พบว่าบ้านทดสอบใช้หน่วยไฟฟ้ารวมคือ 13.474 kWh/วัน หรือ 404 kWh/เดือน ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของบ้านคิดเป็น 980 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 11,760 บาทต่อปี พิจารณาน้ำที่ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ ค่าไฟฟ้าของบ้านคิดเป็น 968 บาทต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แล้ว จะเห็นได้ว่า สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 12 บาทต่อเดือน โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ 25 % ด้านอุณหภูมิของพื้นที่บ้านส่วนที่ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนระบบไฟฟ้าจะสูงกว่าบ้านที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนประมาณ 1 ถึง 2 °C เนื่องจากผลของการถ่ายเทความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนระบบไฟฟ้า (Internal Heat Source)

5. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การเลือกระบบรังสีอาทิตย์มาใช้งาน นอกจากจะคำนึงถึงสมรรถนะของระบบแล้ว จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้วย ถึงแม้ว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะมีสมรรถนะสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้ามการลงทุนสูงก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน การตัดสินใจว่าจะเลือกระบบผลิตน้ำร้อนแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้ ผลการศึกษาความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ในการเลือกระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับบ้านพักอาศัยดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์

ดัชนีทางด้านเศรษฐศาสตร์	ระบบทำน้ำร้อนแบบไหลเวียนธรรมชาติ	ระบบทำน้ำร้อนแบบไหลเวียนตามแรงดัน
Annual cost (บาท/ปี)	4,857	5,977
NPV (บาท)	33,735	41,520
SPP (ปี)	6.2	7.5
IRR (%)	6.2039%	6.7934%

จากการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ ขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 m² กับถังขนาด 150 L จะให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Annual

cost) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ต่ำสุด (NPV) คือ 4,857 บาท/ปี และ 33,735 บาท ตามลำดับ ส่วนระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบไหลเวียนตามแรงดัน จะให้ระยะเวลาคืนทุน (SPP) ช้ากว่าและอัตราผลตอบแทนในการลงทุนสูงกว่า (IRR) คือ 7.5 ปี และ 6.7934% ตามลำดับ

6. สรุปผลการวิจัย

บ้านประหยัดพลังงาน ได้รับการจำลองเพื่อศึกษาโดยละเอียดในโปรแกรม TRNSYS ซึ่งโปรแกรมนี้ได้รับการพิสูจน์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องว่ามีความถูกต้องและแม่นยำ การทำซิมูเลชันจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา TMY-2 ของ 4 จังหวัดตัวแทน 3 ภูมิภาค ของประเทศไทยตลอดทั้งปี (ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ทำให้ทราบค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้าน และดัชนีการใช้พลังงานของบ้านต่อพื้นที่ห้องหรือต่อปริมาตรห้อง และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีภายในบ้าน ซึ่งแสดงว่าบ้านได้รับการออกแบบมาอย่างดี ทำให้มีค่าพลังงานความร้อนถ่ายเท

เข้าสู่บ้านค่อนข้างต่ำ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ้านที่ตั้งในภูมิภาคต่างกันไม่แตกต่างกันมากนักตลอดทั้งปี

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบไหลเวียนโดยธรรมชาติและไหลเวียนตามแรงดัน และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แสดงว่าการนำระบบทำน้ำร้อนทั้งสองแบบมาใช้ในบ้านประหยัดพลังงานนี้ช่วยผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิประมาณ 60 °C ตามต้องการตลอดปี ด้วยประสิทธิภาพระบบสูงสุด 57.3% ในขณะที่ให้ความคุ้มค่าต่อการลงทุน จากระยะเวลาดำเนินทุนที่ไม่เกิน 8 ปี และ IRR สูงถึง 6.79%

7. รายการสัญลักษณ์

A_c	พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของแผงรังสีอาทิตย์, m^2
C_w	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ(4.18 kJ/kg.K)
I_T	ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงเวลา Δt , kJ/hr
Q_s	ความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์, kJ
m_j	ปริมาณน้ำที่ใช้งานในแต่ละช่วงเวลา, kg
n	จำนวนครั้งที่ตั้งน้ำร้อนมาใช้ประโยชน์
T_{load}, T_{w_j}	อุณหภูมิที่จ่ายไปยังจุดที่ใช้งาน, °C
T_{main}	อุณหภูมิน้ำเย็นจากระบบประปาที่เข้าถัง, °C
η	ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์, %

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Soteris Kalogirou. (2001) “Use of TRNSYS for modeling and simulation of a hybrid pv-thermal solar system for Cyprus” *Renewable Energy*, 247-260.
- [2] Maneewan, S, Hirunlabh, J, Khedari, J, Zeghamati, B, Teekasap, S. (2005). “Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector” *Solar Energy*, 78: 495-503.
- [3] Mondol, J.D., Yohanis, Y.G, Smyth, M, Norton, B. (2005). “Long-term validated simulation of a building integrated photovoltaic system” *Solar Energy*, 78 : 163-176.
- [4] Persson Tomas, Nordlander Svante, Rönnelid Mats (2005). “Electrical savings by use of wood pellet stoves and solar heating systems in electrically heated single-family houses” *Energy and Building*, 37(9): 920-929.
- [5] TRNSYS 16 (2006). Weather data of Thailand in Typical Meteorological Year TMY2 Format , User’s Manual for TMY2s, Available at:http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/tmy2/tmy2_index.html, (Accessed: August 2006).
- [6] Wongsuwan W., Kumar S. (2005). “Forced circulation solar water heater performance prediction by TRNSYS and ANN” *International Journal of Sustainable Energy*, 24(2): 69-86.
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) (2548). “พลังงานแสงอาทิตย์”, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/>