



การประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้ ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ รัฐพร เงินมีศรี นิพนธ์ เกตุจ้อย* และ วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด

Determination of Annual Energy Yield of Solar Collector

Chatchai Sirisamphanwong, Rattaporn Ngoenmeesri, Nipon Ketjoy* and Wisut Cham sa-ard

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.

*Corresponding Author. E-mail address: niponk@nu.ac.th

Received 2 August 2011; accepted 25 May 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิดสามารถผลิตได้ (Annual Energy Yield) โดยได้ทำการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์และการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสี ทั้งนี้มีตัวรับรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบทั้งหมด 10 แผง ซึ่งแบ่งออกเป็นแบบแผ่นเรียบจำนวน 8 แผง และแบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe จำนวน 2 แผง โดยมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบภายใต้สภาวะเดียวกัน คืออุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้า อุณหภูมิน้ำออกและค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยเท่ากับ $1,800 \text{ kWh/m}^2$ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนของรังสีอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 kWh/m^2 กลุ่มสองที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนเท่ากับ $501-899 \text{ kWh/m}^2$ และกลุ่มสามที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่า 900 kWh/m^2 โดยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิด Heat Pipe ที่นำมาทดสอบนั้นมีการผลิตพลังงานความร้อนอยู่ในระดับสูง

คำสำคัญ: พลังงานความร้อนรายปี ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ตัวรับรังสีอาทิตย์

Abstract

The purpose of this paper was to evaluate annual energy yield of various solar collectors. The test was conducted for a flat plate collector under the ASHRAE Standard 93-77, and a vacuum tube one under the standard test ISO 9806-1 in order to assess its thermal efficiency and overall heat losses. There were 8 flat plate collectors and 2 vacuum tube Heat Pipe ones to be examined under the same conditions: ambient temperature, inlet water temperature, outlet water temperature and yearly average solar radiation of $1,800 \text{ kWh/m}^2$ in Thailand. The potential in solar energy collection by the collectors was divided into 3 categories. The first one could collect solar energy of not greater than 500 kWh/m^2 , the second one between $501-899 \text{ kWh/m}^2$ and the last one greater than 900 kWh/m^2 . The both flat-plate and vacuum-tube collectors can produce thermal energy in high level..

Keywords: Annual energy yield, Thermal efficiency, Solar collector

บทนำ

ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจทั้งในภาคการคมนาคมอุตสาหกรรมและการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ จัดว่าเป็นเชื้อเพลิงประเภทที่ใช้แล้วหมดไปอีกทั้งยังส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ดังนั้น หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนทั่วโลกจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและหมุนเวียนได้โดยไม่มีวันหมดสิ้น ซึ่งพลังงานหมุนเวียนอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญกับโลกของเราคือพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศไทยนั้นมียุทธศาสตร์พลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงทำให้มีการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ โดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การนำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Electric) และการนำแสงอาทิตย์มา

ใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อน (Solar Thermal) ซึ่งการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตความร้อนที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอย่างหนึ่งนั้น คือ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในด้านความร้อนอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการสนับสนุนการลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551) ทำให้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกวางจำหน่ายมีความหลากหลายทั้งชนิดราคา และคุณภาพ ดังนั้น มาตรฐานการทดสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะบ่งชี้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งก่อน

การนำไปใช้งานจริงสำหรับผู้ใช้หรือผู้สนใจทั่วไป เพื่อให้มั่นใจในสมรรถนะของระบบและเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกใช้เป็นข้อมูลประกอบการรับประกันการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทดสอบยังสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการใช้งานตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งนี้ได้มีการศึกษาและวิจัยเพื่อหาสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์ เช่น จากงานวิจัยของ พรพิมล เพ็ชรวัฒนา และคณะ (2548) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแบบเรียบแบบกลางแจ้งตามมาตรฐาน SERT Standard 2003 โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-1986 และ Australian Standard พบว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบมีค่าแตกต่างจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-1986 และ Australian Standard ประมาณร้อยละ 1.2 และ 5.1 ตามลำดับ และวัฒน์พงษ์รักขวิเชียร และคณะ (2548) ได้ทดสอบแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเรียบ 3 รุ่น คือ รุ่น FPS120, SOL-B และ R.D.-F200 ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-77 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยระบบหมุนตามดวงอาทิตย์ พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับรังสีอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 62%, 57% และ 64% ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งแบ่งออกเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบใช้มาตรฐาน ASHRAE 93-77 และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศใช้มาตรฐาน ISO 9806-1 โดยในการทดสอบนั้นทางผู้ผลิตจะนำตัวรับรังสีอาทิตย์มาทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่บริษัทผลิตออกมา ซึ่งในการทดสอบนั้นเราจะทราบได้เพียงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์เท่านั้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัว

รับรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้ (Annual Energy Yield) เพื่อให้ทราบถึงค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิดผลิตได้ โดยนำผลการศึกษามาใช้ในการประเมินศักยภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปี

ตัวรับรังสีอาทิตย์

ตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รับแสงจากดวงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับของไหลหรือสารทำงาน (Working Fluid) เพื่อนำไปใช้งานหรือส่งเข้างัดเก็บน้ำร้อนไว้ใช้งานเวลาที่ไม่มีแสงแดด ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศ Heat Pipe

1. **ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ** จะประกอบด้วยแผ่นรับรังสีอาทิตย์ซึ่งส่วนมากทำจากแผ่นอลูมิเนียม ด้านบนจะเคลือบด้วยวัสดุเคลือบรังสี และปิดหน้าด้วยวัสดุโปร่งใสที่ทำด้วยกระจกหรือพลาสติกใสคุณภาพสูง ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้รังสีอาทิตย์ทะลุผ่านและลดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนของอากาศแวดล้อมด้านล่างและด้านข้างของตัวรับรังสีจะหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ท่อน้ำที่ติดอยู่กับแผ่นรับรังสีอาทิตย์ส่วนมากทำจากท่อทองแดงเพื่อให้สามารถรับความร้อนจากแผ่นรับรังสีอาทิตย์โดยมีการเชื่อมท่อเข้าด้วยกันทั้งด้านบนและกลางของตัวรับรังสีอาทิตย์ กรอบของตัวรับรังสีอาทิตย์ส่วนมากจะทำด้วยอลูมิเนียมเพื่อให้เกิดความแข็งแรง

2. **ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ** เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกสองชั้นซึ่งภายในช่องว่างตรงกลางเป็นสุญญากาศ บริเวณท่อแก้วด้านในจะมีการเคลือบด้วยสารเคลือบรังสีอาทิตย์ ซึ่งประสิทธิภาพของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ



(ก) ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



(ข) ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

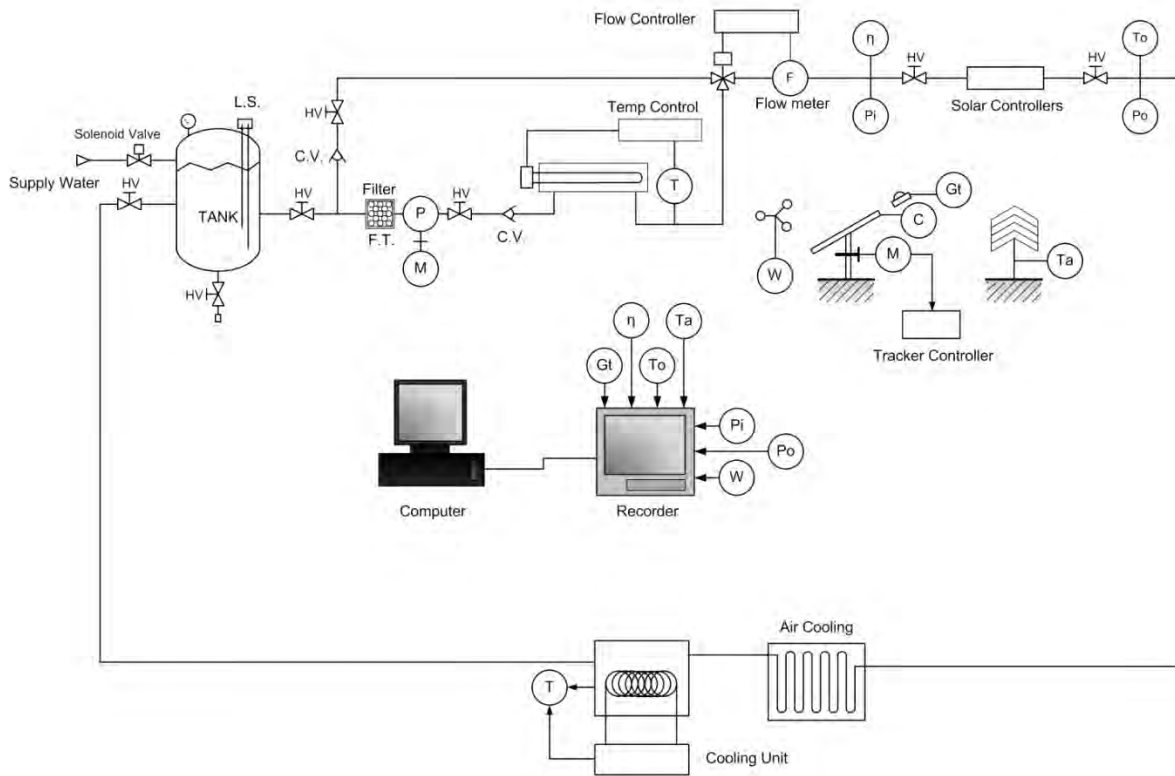
รูปที่ 1 ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด

วิธีการดำเนินการวิจัย

การหาค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละแผงผลิตได้นั้น จะใช้ผลการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์จากผู้ประกอบการที่ได้นำมาทดสอบ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นการทดสอบแบบกลางแจ้ง เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 สำหรับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (ASHRAE STANDARD, 1986) และมาตรฐาน ISO 9806-1 สำหรับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (INTERNATIONAL STANDARD, 1995a, 1995b) โดยให้รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากตลอดเวลาการทดสอบ ซึ่งเป็นการทดสอบแบบปิด (Close Loop) โดยตามมาตรฐานการทดสอบจะกำหนดค่าอัตราการไหลของของไหลมีค่าเท่ากับ 0.02 kg/s ต่อหน่วยพื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์ ค่าความ

เข้มรังสีดวงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 790 W/m² อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไม่เกิน 30 °C

การดำเนินการทดสอบจะทำการบันทึกผลและเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_a), อุณหภูมิน้ำเข้าตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (T_i), อุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (T_o), คาร์รังสีดวงอาทิตย์ (G) และอัตราการไหลของน้ำ (ḡ) โดยเก็บข้อมูลช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. - 14.00 น. ซึ่งเป็นการทดสอบแบบระยะสั้น (Short Term) โดยตามมาตรฐานการทดสอบได้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 1 จากนั้นทำการกำหนดสภาวะเงื่อนไข เพื่อนำผลข้อมูลที่ได้มาประเมินสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์และการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งหลังจากที่ได้ทำการทดสอบ เราก็จะได้ข้อมูลของตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละบริษัท เพื่อทำการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ผลิตได้



C: Solar Collector, C.V.: Check valve, F: Flow Transducer, F.T.: Water Filter, Gt: Solar radiation on collector plane, HV: Hand valve, L.S.: Level switch control, M: AC motor drive pump, P: Water pump, Pi: Pressure transducer inlet, Po: Pressure transducer outlet, T: Temperature heating control, Ta: Ambient temperature, Ti: Inlet temperature, To: Outlet temperature, W: Wind speed

รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับแทนทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบกลางแจ้ง

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการจัดเก็บข้อมูลและตัวแปรที่ใช้สำหรับการทดสอบ

พารามิเตอร์ ASHREA STANDARD 93-77	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร	หน่วย
ความเข้มรังสีอาทิตย์	G_t	ไม่น้อยกว่า 790	W/m^2
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	T_a	ไม่เกิน 30	$^{\circ}C$
อัตราการไหลของของไหล	\dot{m}	0.02	$kg/s \cdot m^2$
ISO 9806-1			
ความเข้มรังสีอาทิตย์	G_t	ไม่น้อยกว่า 800	W/m^2
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	T_a	ไม่เกิน 30	$^{\circ}C$
อัตราการไหลของของไหล	\dot{m}	0.02	$kg/s \cdot m^2$

การประเมินสมรรถนะของระบบฯ

ในทางทฤษฎีการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์นั้น ต้องทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ และทำการแปรค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นตามมาตรฐานที่เลือกใช้ในการทดสอบ นอกจากนี้แล้ว ยังต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นร่วมด้วย เช่น ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ จำนวนชั้นและชนิดของแผ่นปิดใสด้านบน ขนาดของฉนวนด้านข้างและด้านหลังของตัวรับรังสีอาทิตย์เมื่อให้ F_R เป็นแฟคเตอร์ในการดึงความร้อนมาใช้งานพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คือ

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (1)$$

- โดยที่ A_c คือ พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ (m^2)
 S คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนด้วยแผ่นดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2) ซึ่ง S อาจเขียนได้เป็น $G_t = (\tau\alpha)_{av}$ เมื่อ $(\tau\alpha)_{av}$ คือ angular dependent
 U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)
 T_i คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^{\circ}C$)

ดังนั้น สมรรถนะทางความร้อนขณะใดขณะหนึ่ง จึงสามารถหาได้จาก

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_t} = F_R (\tau\alpha)_c - \frac{F_R U_L (T_o - T_a)}{G_t} \quad (2)$$

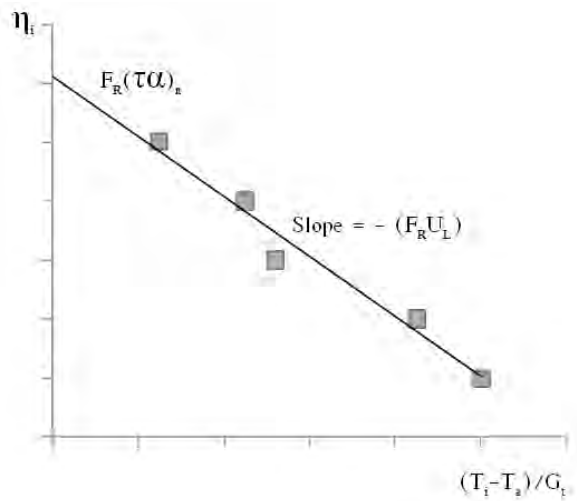
$$\eta_i = F_R (\tau\alpha)_c - \frac{F_R U_L (T_o - T_a)}{G_t} \quad (3)$$

$$\eta_i = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_a)}{A_c G_t} \quad (4)$$

โดยที่

- G_t คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)
 \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไหล (kg/s)
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล ($J/kg \cdot ^{\circ}C$)
 T_i คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีอาทิตย์ ($^{\circ}C$)
 T_o คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ ($^{\circ}C$)
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^{\circ}C$)
 A_c คือ พื้นที่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (m^2)
 F_R คือ แฟคเตอร์การดึงความร้อนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์
 $(\tau\alpha)_c$ คือ สัมประสิทธิ์ส่งผ่านและดูดกลืนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์
 U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)

ถ้า F_R และ U_L มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากในช่วงของการใช้งาน $F_R (\tau\alpha)_c$ และ $F_R U_L$ จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายว่าตัวรับรังสีนั้นทำงานอย่างไรจะเป็นตัวชี้ถึงพลังงานที่ถูกดูดกลืนและ $F_R U_L$ จะเป็นเทอมที่บอกถึงพลังงานที่สูญเสีย ถ้า U_L, F_R และ $(\tau\alpha)_c$ คงที่การเขียนกราฟของ η_i กับ $(T_i - T_a)/G_t$ จะเป็นเส้นตรง ตัดแกน Y ที่ $F_R (\tau\alpha)_c$ และมีความชันเท่ากับ $-F_R U_L$ สำหรับ U_L เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความเร็วลม และจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนแผ่นปิดใสเพิ่มขึ้น F_R จะขึ้นกับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้แล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของรังสีตรงรังสีกระจายและรังสีจากการสะท้อนจากพื้นดิน ข้อมูลจะมีการกระจายเนื่องจากอุณหภูมิ ความเร็วลม และมุมตกกระทบที่เปลี่ยนไป แม้ว่าค่าค่อนข้างยุ่งยากแต่การทำนายสมรรถนะในระยะยาวสามารถกำหนดได้จากจุดตัดแกนและความชัน



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η_i กับ $(T_i - T_a)/G_i$

ในกรณีที่ต้องการหาค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศนั้นสามารถหาได้จากสมการ

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m - a_2 \cdot G_i \cdot T_m^2 \quad (5)$$

เมื่อ

$$T_m = \frac{(T_m - T_a)}{G_i} \quad (6)$$

และ

$$t_m = \frac{(t_i + t_o)}{2} \quad (7)$$

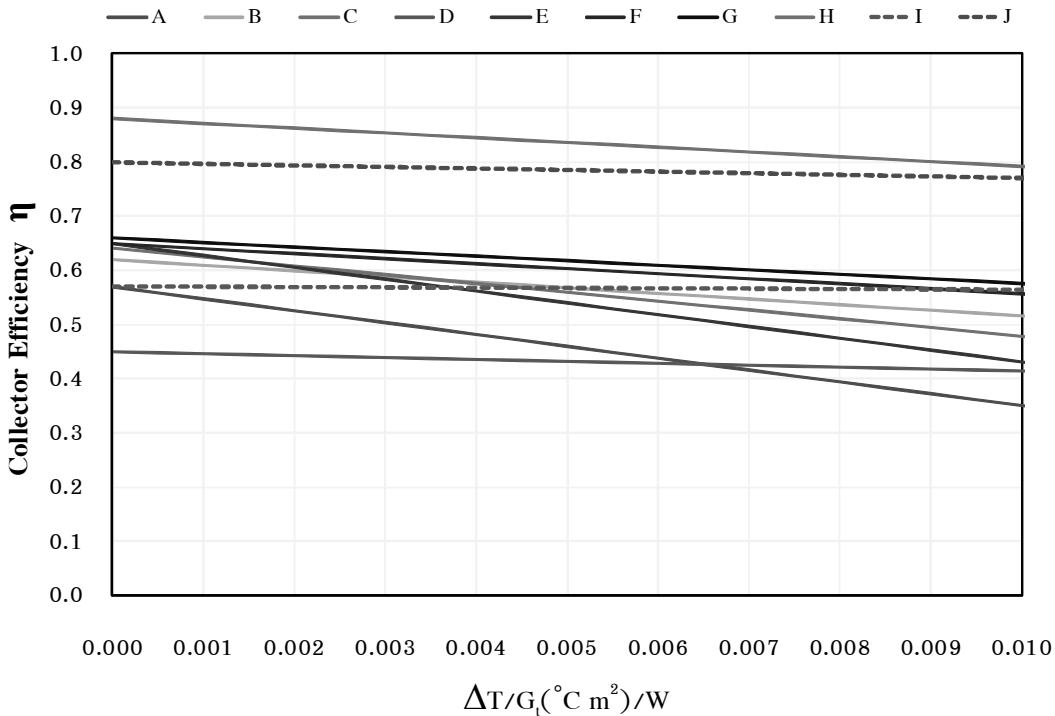
โดยที่

a_1 และ a_2 คือ ตัวแปรที่แสดงถึงการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์

ผลการประเมิน

จากการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งทดสอบโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ทำให้ได้กราฟที่แสดงถึงค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจำนวน 8 แผง และตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศ Heat Pipe จำนวน 2 แผง ดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 ทำให้เราทราบถึงค่าสมรรถนะทางความร้อนและการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งความชันของกราฟจะบอกถึงค่าการสูญเสียความร้อนรวม โดยกราฟที่มีความชันน้อยจะมีค่าการสูญเสียความร้อนรวมน้อยกว่ากราฟที่มีความชันมากกว่า ซึ่งการสูญเสียความร้อนรวมนั้นอาจเกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่นำมาใช้แตกต่างกันเป็นผลทำให้ค่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน เช่น การเลือกใช้กระจกเพื่อทำให้เกิดการส่องผ่านของรังสีอาทิตย์ดีขึ้นและลดการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการสะท้อนของรังสีอาทิตย์ อีกทั้งการเลือกใช้สารเลือกรังสีที่ผิวหน้าของแผ่นดูดกลืนรังสีทำให้มีการดูดซับรังสีอาทิตย์ได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น ซึ่งกราฟจากรูปที่ 4 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ ดังตารางที่ 2



รูปที่ 4 สมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ทดสอบโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน

ตารางที่ 2 สมการแสดงค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ทดสอบโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน

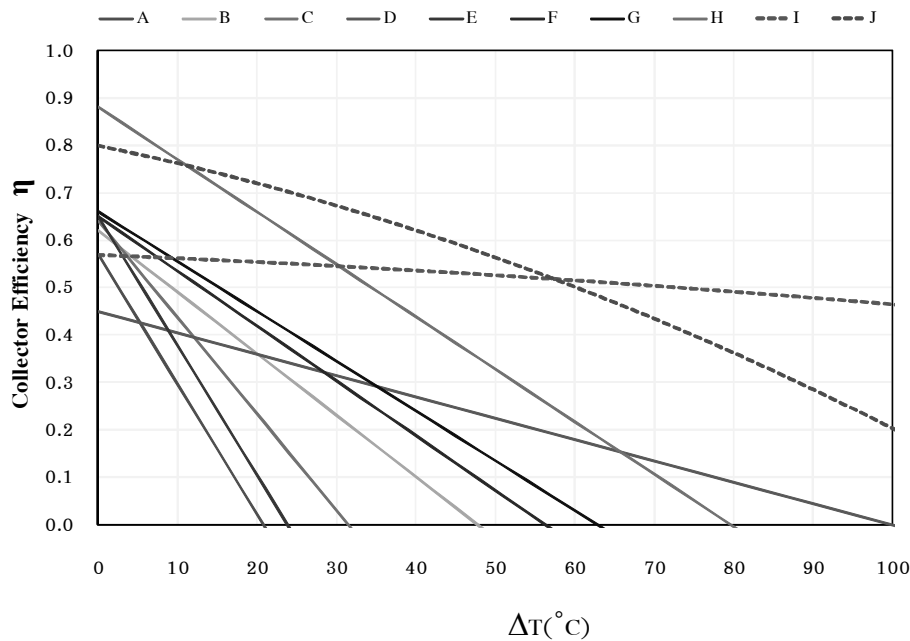
ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ		
Company A	$\eta = 0.57 - 21.91(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.94$
Company B	$\eta = 0.62 - 10.37(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.91$
Company C	$\eta = 0.64 - 16.24(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.99$
Company D	$\eta = 0.45 - 3.60(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.94$
Company E	$\eta = 0.65 - 21.81(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.90$
Company F	$\eta = 0.65 - 9.23(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.91$
Company G	$\eta = 0.66 - 8.40(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.96$
Company H	$\eta = 0.88 - 8.84(T_i - T_a)/G_i$	$R^2 = 0.90$
ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe		
Company I	$\eta = 0.57 - 0.54(T_m^*) - 0.0036 G_i (T_m^*)^2$	$R^2 = 0.97$
Company J	$\eta = 0.80 - 2.77(T_m^*) - 0.0200 G_i (T_m^*)^2$	$R^2 = 0.96$

สมการที่ได้จากการทดสอบด้วยแทนทดสอบแบบกลางแจ้ง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนนั้น เป็นสมการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งสามารถบอกได้ถึงค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์และผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 8 บริษัท คือ บริษัท A ถึง บริษัท H และสมการถดถอยเชิงเส้นของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe 2 บริษัท คือ บริษัท I และ บริษัท J จากนั้นทำการหาค่าสมรรถนะทางความร้อนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกัน โดยการนำสมการของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ได้จากตารางที่ 2 มาแทนค่าด้วยความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ซึ่งมีค่า 800 W/m^2 แล้วนำมาเขียนกราฟเพื่อที่จะหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะทางความร้อนและความแตกต่างระหว่าง

อุณหภูมิตัวรับรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่สถานะเดียวกัน ดังรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 เป็นกราฟที่แสดงถึงค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ โดยใช้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สถานะเดียวกัน โดยกราฟที่เป็นเส้นตรงจะเป็นกราฟของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ ส่วนกราฟที่เป็นเส้นโค้งจะเป็นกราฟของตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe ดังนั้นเราสามารถหาค่าพลังงานรายปีของตัวรับรังสีอาทิตย์ได้โดยการแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3

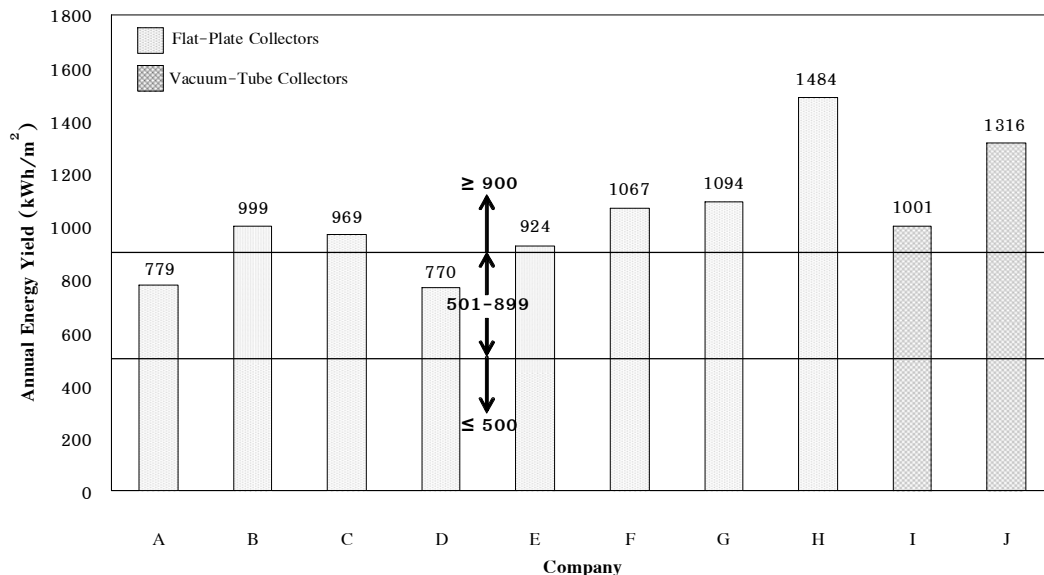
ดังนั้น เมื่อเราทราบค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่สถานะเดียวกันแล้ว เราสามารถหาค่าพลังงานรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ของแต่ละบริษัทสามารถผลิตได้ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 สมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 800 W/m^2

ตารางที่ 3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานรายปี

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร	หน่วย
ความเข้มรังสีอาทิตย์	G_t	800	W/m^2
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	T_a	30	$^{\circ}C$
อุณหภูมิน้ำเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์	T_i	35	$^{\circ}C$
อุณหภูมิน้ำออกตัวรับรังสีอาทิตย์	T_o	60	$^{\circ}C$
ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของประเทศไทย		1,800	$kWh/m^2 \cdot year$



รูปที่ 6 ค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้

จากการวิจัยพบว่า ความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปีของแต่ละบริษัทสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อน คือ

1. กลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนน้อยกว่า ≤ 500 kWh/m^2 ซึ่งจากตัวอย่างของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ พบว่าไม่มีตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ผลิตพลังงานความร้อนน้อยกว่า ≤ 500 kWh/m^2

2. กลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนตั้งแต่ 501-899 kWh/m^2 มีอยู่สองบริษัท คือ บริษัท A และบริษัท D ซึ่งเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทั้งหมด ซึ่งจากรูปที่ 5 พบว่ากราฟของตัวรับรังสีอาทิตย์บริษัท A มีความชันมากที่สุด ซึ่งแสดงถึงค่าการสูญเสียความร้อนรวมมากกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์บริษัทอื่น สำหรับตัวรับรังสีอาทิตย์ของบริษัท D นั้นมีค่าการสูญเสียความร้อนรวมอยู่ที่ 3.60 $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก แต่ค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวรับรังสีอาทิตย์ของบริษัทอื่น

3. กลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่า 900 kWh/m^2 มีจำนวนแปดบริษัท โดยแบ่งออกเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 6 บริษัท คือ บริษัท

อาทิตย์ของบริษัท H มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนสูงกว่าบริษัทอื่นคือ 1,484 kWh/m^2 เนื่องจากตัวรับรังสีอาทิตย์ของบริษัทนี้จะมีการเคลือบสารเลือกรังสีที่ผิวหน้าของแผ่นดูดกลืนรังสีทำให้มีการดูดซับรังสีได้ดี จึงทำให้สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้มากกว่าตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบทั่วไปและตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe ที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่า 900 kWh/m^2 มีจำนวน 2 บริษัท คือ บริษัท I และ J ซึ่งเป็นผลมาจากค่าการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe นั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยตัวรับรังสีอาทิตย์จำนวน 10 บริษัท เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 8 บริษัท และเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ 2 บริษัท พบว่าความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์รายปีของแต่ละบริษัทที่ผลิตในประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการ

ผลิตพลังงานความร้อนได้น้อยกว่า 500 kWh/m^2 ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า ไม่มีตัวรับรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบมีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนได้น้อยกว่า 500 kWh/m^2 สำหรับกลุ่มต่อมาคือกลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนตั้งแต่ $501-899 \text{ kWh/m}^2$ มีจำนวน 2 บริษัท โดยเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทั้งหมดและตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีความสามารถในการผลิตความร้อนได้มากกว่า 900 kWh/m^2 มีจำนวน 8 บริษัท ซึ่งเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 6 บริษัท และเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe 2 บริษัท ซึ่งสรุปได้ว่าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe ที่นำมาทดสอบนั้นมีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนรายปีได้อยู่ในระดับสูงเหมาะสำหรับการใช้งานในประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์และนักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). *คู่มือขอรับการสนับสนุนการลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์*. โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน ปีที่2.

พรพิมล เพ็ชรวัฒนา, สมบูรณ์ คงเพชรศักดิ์, ศิรินุช จินตารักษ์ และนิพนธ์ เกตุจ้อย. (2548). มาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีแบบกลางแจ้งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 2, 65-77.

วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, นิพนธ์ เกตุจ้อย, บงกช ประสิทธิ์ และฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์. (2548). การทดสอบสมรรถนะตัวรับรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 ด้วยระบบหมุนตามดวงอาทิตย์. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 2, 56-64.

ASHRAE STANDARD. (1986). *ANSI/ASHRAE 93-1986: Method of testing to determine the thermal performance of solar collectors*. Atlanta, ASHRAE, Inc.

INTERNATIONAL STANDARD. (1995a). *ISO 9806 -1:1995(E): Test methods for solar collectors - Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop*. Switzerland:Genève.

INTERNATIONAL STANDARD. (1995b). *ISO 9806 -2:1995(E): Test methods for solar collectors - Part 2: Qualification test procedures*. Switzerland:Genève.