

การทำนายสมรรถนะระบบทำความเย็นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับเครื่องดูดซับ
Performance Prediction of A Solar Cooling Adsorption System

วิภาวดี วงษ์สุวรรณ*, เทอดธรรม เย็นสบาย และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50000

โทร.0-5394-4146 ต่อ 411-415 โทรสาร.0-5394-4145 *E-mail: wipawadee@dome.eng.cmu.ac.th

Wipawadee Wongsuwan, Terdtarm Yensabai, Tanongkiat Kiatsiroj

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,

Chiang Mai, 50000, Thailand. Tel: 0-5394-4146 ext. 411-415 Fax: 0-5394-4145

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งความร้อนสำหรับระบบทำความเย็นและความร้อนแบบดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเอทานอลเป็นคู่สารทำงาน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้รับการออกแบบให้ทำงานร่วมกับเครื่องดูดซับ และถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่พลิกกลับไปมาเพื่อรับรังสีอาทิตย์ได้ จากการทำนายสมรรถนะของระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์นี้ คาดว่าระบบจะสามารถผลิตความเย็นและนำร้อนได้อย่างต่อเนื่อง และมีสมรรถนะที่ดีในสภาพที่ค่ารังสีอาทิตย์สูง ซึ่งหากเพิ่มปริมาณน้ำที่บรรจุในถังเก็บน้ำร้อนของระบบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น ($COP_{cooling}$) เพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้จะลดต่ำลง หากใช้งานระบบอย่างต่อเนื่องตลอดเดือนธันวาคม ระบบจะสามารถทำความร้อนและทำความเย็นได้โดยเฉลี่ย 3.4017 MJ/วัน และ 2.8889 MJ/วัน ตามลำดับ โดยค่า $COP_{heating}$ และ $COP_{cooling}$ ที่ได้คือ 0.1936 และ 0.1644 ตามลำดับ

Abstract

The potential to use solar energy for cooling and heating production using solid adsorption (activated carbon-ethanol) system was investigated. An integrated solar collector/adsorber was separated into upper and lower parts to get energy collection on both sides. By theoretical study, the simulation results showed that the system could be operated continuously to produce cooling and heating effect efficiently under high solar radiation. The $COP_{cooling}$ increased with water storage volume, however, the average water temperature is reduced. With the prediction in December, the amount and the COPs were 3.4017 MJ/day and 0.1936 for heating and 2.8889 MJ/day and 0.1644 for cooling, respectively.

1. บทนำ

สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน ได้รับผลกระทบจากราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก ทำให้ภาครัฐต้องหันมาทบทวนบทบาทของการนำพลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในสัดส่วนที่มากยิ่งขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการใช้พลังงานรังสีอาทิตย์กำลังได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น และมีการค้นคว้าพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาไม่น้อยกว่า 10 ปี แต่การใช้งานระบบพลังงานรังสีอาทิตย์ยังไม่ปรากฏให้เห็นเป็นรูปธรรมมากนัก โดยเฉพาะการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาผลิตความเย็น เท่าที่ผ่านมามีพบว่ามีระบบทำความเย็นแบบทั้งหมดในประเทศ เป็นระบบอัดไอที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหลัก เทคโนโลยีทางเลือกอื่นๆ เพื่อผลิตความเย็นนั้น ก็ยังอยู่ในขั้นการศึกษาวิจัยและพัฒนาในห้องปฏิบัติการเท่านั้น [1-2]

ระบบทำความเย็นแบบดูดซับเป็นระบบทางเลือกที่แตกต่างจากระบบอัดไอค่อนข้างมาก ระบบนี้อาศัยสารทำงานสองตัวทำงานร่วมกัน เรียกว่าคู่สารทำงาน (Working pair) อันประกอบด้วยตัวดูดซับ (Adsorbent) และตัวถูกดูดซับ (Adsorbate หรือ Working fluid หรือ Refrigerant) แหล่งพลังงานหลักที่ระบบต้องการจะอยู่ในรูปพลังงานความร้อน จึงเหมาะกับการนำมาใช้ดึงกลับความร้อนจากแหล่งความร้อนทิ้งเปล่า หรือใช้ร่วมกับระบบผลิตความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดซับมีข้อดีหลายประการ อาทิ มีอายุการใช้งานนาน ไม่มีอุปกรณ์ส่วนเคลื่อนที่เป็นองค์ประกอบ เป็นระบบปิด และไม่มีเสียงรบกวนจากการสั่นสะเทือนระหว่างระบบทำงาน เนื่องจากระบบไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องอัดไอ ดังเช่นวัฏจักรอัดไอทั่วไป ดังนั้นการศึกษาและทำนายพฤติกรรมระบบดูดซับที่ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตความเย็น (ซึ่งจะได้ความร้อนเป็นผลพลอยได้ด้วย) จึงเป็นโจทย์วิจัยที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นการหาแนวทางในการใช้คู่สารทำงานที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย คือ ผงถ่านกัมมันต์จากถ่านหินและจากถ่านกะลามะพร้าวกับเอทานอล มาใช้กับระบบดูดซับเพื่อการผลิตความเย็น

โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลัก และอาศัยการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของระบบควบตัวเก็บรังสีอาทิตย์และเครื่องดูดซับ ในการผลิตความร้อนและความเย็นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้แนวทางการออกแบบและสามารถกำหนดคุณลักษณะของระบบต้นแบบที่จะจัดสร้างเพื่อทำการทดสอบในโครงการระยะต่อไปได้

2. การสร้างแผนภาพความดัน-อุณหภูมิ-อัตราส่วนการดูดซับ

2.1 อุปกรณ์การทดสอบ

เนื่องจากถ่านกัมมันต์จากถ่านหินและถ่านกะลามะพร้าว เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นเองในประเทศ จึงยังไม่มีแผนภาพความดัน-อุณหภูมิ-อัตราส่วนการดูดซับ (P-T-x) เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบดูดซับ ผู้วิจัยจึงได้สร้างชุดอุปกรณ์ทดสอบเพื่อทดสอบคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด ที่ผลิตจากถ่านหิน (CAL 12 x 40) และจากถ่านกะลามะพร้าว (CGC-16) กับเอทานอลเพื่อสร้างแผนภาพ P-T-x ซึ่งข้อมูลที่ได้จาก P-T-x นี้จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์ต่อไป

ชุดเครื่องมือทดสอบหา P-T-x ได้จัดสร้างในห้องปฏิบัติการวิจัยอุณหภูมิกภาควิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับ [2] และแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งอุปกรณ์หลักประกอบด้วย เครื่องดูดซับ (Adsorber) เครื่องทำระเหย (Evaporator) และเครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องดูดซับมีลักษณะเป็นท่อสเตนเลส 2 ท่อซ้อนกันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 25 mm ตามลำดับ ท่อด้านในมีรูพรุนเพื่อให้ไอของเอทานอลสามารถไหลผ่านได้ และใช้ตาข่ายสเตนเลสหุ้มรอบท่อในเพื่อขึ้นรูปถ่านกัมมันต์ ท่อนำไอเอทานอลด้านในต่อกับท่อนำไอด้านนอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 mm ซึ่งภาพตัดขวางของเครื่องดูดซับแสดงดังรูปที่ 2

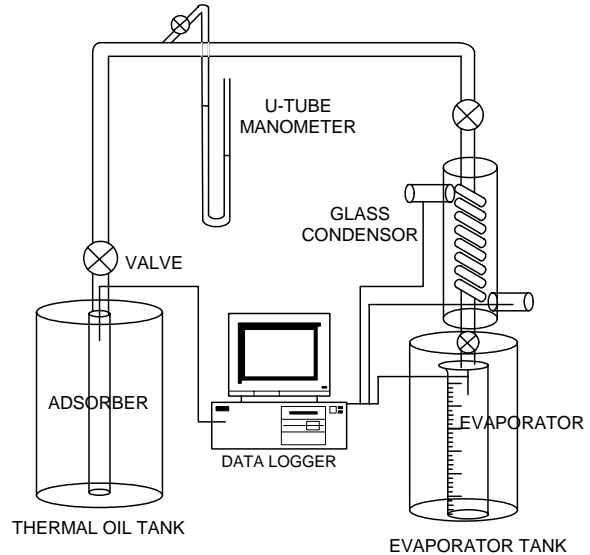
เครื่องควบแน่นทำจากท่อแก้วลักษณะเกลียว มีน้ำหล่อเย็นไหลภายนอกท่อและในท่อแก้วด้านนอก เครื่องทำระเหยเป็นกระบอกวงที่มีสเกลเพื่อวัดระดับของสารเอทานอล ข้อมูลที่ต้องทำการวัดได้แก่ความดันและอุณหภูมิ ซึ่งอุปกรณ์วัดความดันเป็นหลอดแก้วรูปตัวยูภายในบรรจุปรอท (U-tube manometer) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อกับอุปกรณ์เก็บบันทึกและแสดงข้อมูล (Data logger)

การทดสอบมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างแผนภาพสำหรับการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดกับเอทานอล โดยในการทดสอบแต่ละชุดจะใช้ถ่านกัมมันต์ 200 g และเอทานอลที่มีความเข้มข้น 99.5 % (Lab grade)

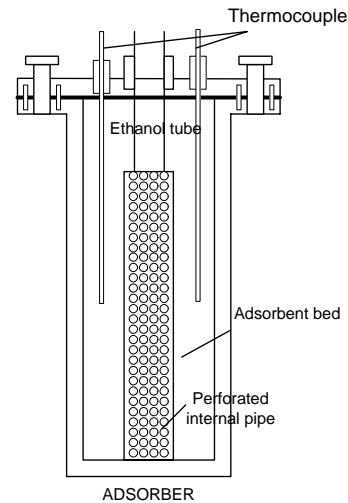
2.2 วิธีการทดสอบเพื่อสร้างแผนภาพ P-T-x

ในการสร้างแผนภาพ P-T-x มีวิธีการทดสอบโดยเริ่มจากการกำจัดสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในเครื่องดูดซับ โดยการทำให้ระบบให้เป็นสุญญากาศพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง เติมเอทานอลลงในเครื่องระเหยพร้อมทั้งบันทึกปริมาณ แล้วเปิดวาล์วให้ไอเอทานอลจากเครื่องทำระเหยเข้ามาดูดซับกับถ่านกัมมันต์ รักษาอุณหภูมิของชุดดูดซับที่ 30°C และเครื่องระเหยที่ 20°C ระหว่างกระบวนการดูดซับ เมื่อ

กระบวนการถึงจุดสมดุล บันทึกอุณหภูมิ (°C) ความดัน (mmHg) และปริมาณเอทานอลที่เหลือในเครื่องดูดซับ (ml) และสำหรับการหาค่าอุณหภูมิ ความดันและอัตราส่วนการดูดซับในสภาวะอื่น ทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิชุดดูดซับให้สูงขึ้นทีละ 10°C รอจนถึงจุดสมดุลแล้วบันทึกผล ทำเช่นนี้จนถึงระดับอุณหภูมิชุดดูดซับเป็น 100°C จากนั้นทดลองเก็บข้อมูลที่ความดันอื่น โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องทำระเหยให้เป็นค่าอื่นแล้วดำเนินการตามขั้นตอนเดิม



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดสอบ P-T-x ของถ่านกัมมันต์และเอทานอล



รูปที่ 2 ภาพตัดขวางแสดงภายในของเครื่องดูดซับ

2.3 การสร้างแผนภาพ P-T-x

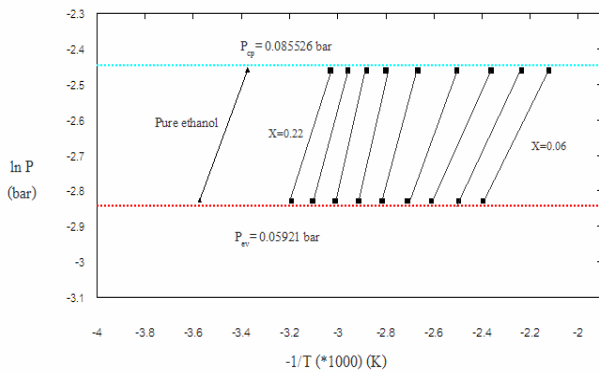
ในการสร้างแผนภาพ P-T-x จำเป็นต้องใช้สมการคณิตศาสตร์ที่ทำนายปรากฏการณ์ของอัตราการดูดซับ และนำผลการทดลองไปแทนค่าในสมการของ Dubinin-Radiskovich (D-R) ซึ่งมีรูปแบบการ ดังนี้

$$W = W_o \exp\left(-D\left(T \ln\left(\frac{P}{P_s}\right)\right)^n\right) \quad (1)$$

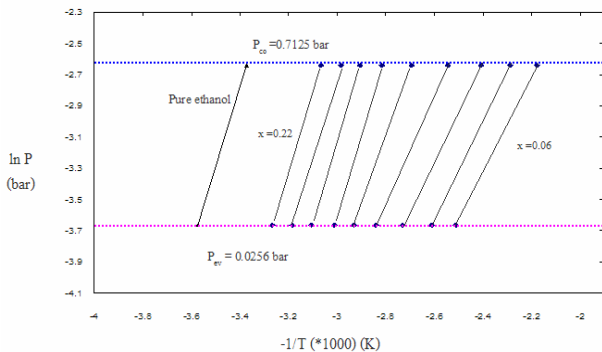
สมการข้างต้นสามารถเขียนในรูปลอกการิทึมได้ดังสมการที่ (2) ซึ่งเมื่อนำไปสร้างกราฟ จะได้กราฟเป็นเส้นตรง สำหรับแต่ละค่าอัตรา การดูดซับมวลของเอทานอลต่อมวลของถ่านกัมมันต์ (x)

$$\ln P = -\frac{1}{T} \left[\frac{1}{D} \ln \frac{W_0}{W} \right]^{1/n} + \ln(P_s) \quad (2)$$

ผลการทดลองที่ได้จากวิธีการทดสอบที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.2 ถูกนำมาสร้างเป็น P-T-x โดยอาศัยสมการเส้นตรงที่ (2) ซึ่งแผนภาพ สำหรับการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากวัสดุทั้งสองประเภทแสดงไว้ดัง กราฟรูปที่ 3 สำหรับถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวกับเอทานอล และกราฟรูปที่ 4 สำหรับถ่านกัมมันต์จากถ่านหินกับเอทานอล



รูปที่ 3 กราฟ P-T-x กรณีใช้ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าว กับเอทานอลเป็นคู่สารทำงาน



รูปที่ 4 กราฟ P-T-x กรณีใช้ถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน กับเอทานอลเป็นคู่สารทำงาน

จากกราฟทั้งสองจะเห็นว่าลักษณะเส้นโดยรวมคล้ายคลึงกัน โดย มีความชันของกราฟที่อัตราส่วนการดูดซับต่างๆ แตกต่างกันไปบ้างแต่ไม่ มาก อย่างไรก็ตามค่าความดันต่ำที่เครื่องทำระเหย (P_{ev}) และค่าความ ดันสูงที่เครื่องควบแน่น (P_{cd}) จะแตกต่างกัน แม้ว่าจะเป็นการดูดซับ ระหว่างถ่านกัมมันต์กับเอทานอลเช่นเดียวกัน แสดงว่าคุณสมบัติของ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุต่างชนิดกันมีผลต่ออัตราการดูดซับเป็น อย่างมาก

ข้อมูลจากกราฟ P-T-x ดังกล่าวจะนำมาใช้ในการหาค่า ความสามารถในการดูดซับที่มากที่สุด (W_0) และค่าการกระจายตัว ของรูพรุน (D) โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ D-R (สมการที่ (1)) โดย

เมื่อเขียนสมการในรูปลอกการิทึมเพื่อสร้างกราฟระหว่าง $\ln W$ กับ $T(\ln(P_s/P))^n$ เพื่อให้ได้กราฟเป็นเส้นตรง จากนั้นทำ Curve fitting ข้อมูลที่คำนวณได้จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเป็นค่าการกระจายตัว ของรูพรุน (D) และมีจุดตัดแกนตั้งเป็น $\ln W_0$ จึงสามารถหาค่าการดูด ซับที่มากที่สุด (W_0) ได้ดังสมการที่ (3)

$$\ln W = \ln W_0 - D \left(T \ln \left(\frac{P_s}{P} \right) \right)^n \quad (3)$$

ค่า W_0 และ D ที่ได้จากการสร้างกราฟเส้นตรงโดยใช้สมการที่ (3) สำหรับถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวและจากถ่านหินแสดงดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลของค่า W_0 และ D ของถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านหิน

ชนิดของถ่านกัมมันต์	W_0	D	r^2
CGC-16 (ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว)	0.40795	0.1947	0.7936
CAL12x40 (ผลิตจากถ่านหิน)	0.43820	0.2537	0.9101

เมื่อพิจารณาขนาดของผงถ่านกัมมันต์ ประกอบกับค่า ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (W_0) ที่ได้ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิต จากถ่านหินมีความได้เปรียบในเรื่องของความสามารถในการดูดซับที่ มากกว่า มีการกระจายตัวของรูพรุนที่ดี ประกอบกับมีขนาดผงถ่านเล็ก กว่า ทำให้ปริมาตรที่จะดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักมีมากกว่า ดังนั้นถ่าน กัมมันต์จากถ่านหินจึงมีศักยภาพในการบรรจุไอของเอทานอล ในขณะที่ เกิดกระบวนการดูดซับได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าว

ข้อมูลแผนภาพ P-T-x ที่ได้จากการทดสอบในเบื้องต้นนี้ เป็น ประโยชน์อย่างมากต่อการกำหนดขอบเขตสภาวะการทำงานของระบบ ดูดซับ และการออกแบบระบบดูดซับ ซึ่งโครงการวิจัยในระยะแรกนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแผนภาพอย่างง่ายจำลองลักษณะของระบบดูดซับ และ ทำการศึกษาทางทฤษฎี โดยการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายพฤติกรรมและสมรรถนะของระบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับระบบ พลังงานรังสีอาทิตย์

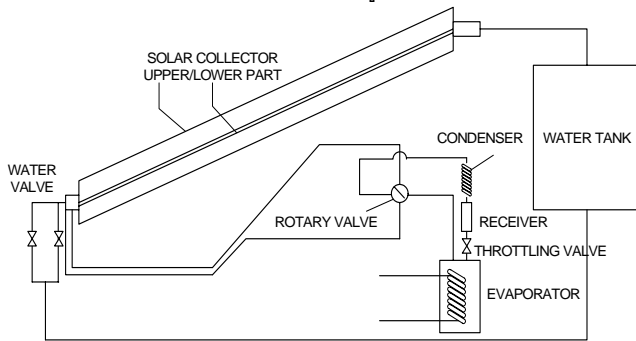
3. ระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์

การทำนายสมรรถนะของระบบดูดซับที่ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ อาศัยข้อมูลจากแผนภาพ P-T-x ที่ได้จากการทดสอบคู่สารทำงาน จากนั้นจึงออกแบบระบบทำความเย็นและผลิตความร้อนที่อาศัยเทคนิค การดูดซับแบบของแข็งร่วมกับการใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ เครื่องดูดซับ ของระบบดูดซับจะได้รับการออกแบบให้นำมาควมรวมกับตัวเก็บรังสี อาทิตย์ ทำให้ระบบสามารถผลิตความเย็นที่เครื่องทำระเหยของระบบ ดูดซับและผลิตความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงาน รังสีอาทิตย์

3.1 แบบอย่างง่ายของระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์

แบบจำลองระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งอุปกรณ์หลักประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ควมรวมกับเครื่องดูดซับ (Solar Collector) แบ่งเป็นด้านบนและล่างที่เหมือนกันสำหรับใช้พลิกกลับขึ้นบนและล่างเพื่อรับแสงอาทิตย์ ถึงเก็บน้ำร้อน (Water tank) เครื่องทำระเหย (Evaporator) เครื่องควบแน่น (Condenser) อุปกรณ์เก็บสารทำความเย็น (Receiver) วาล์วลดความดัน (Throttling valve) วาล์วแบบโรตารี (Rotary valve) และวาล์วน้ำ (Water valve)

ระบบในรูปที่ 5 ใช้เป็นต้นแบบสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของระบบดูดซับควบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ถ่านกัมมันต์กับเอทานอลเป็นคู่สารทำงาน



รูปที่ 5 แผนภาพอย่างง่ายแสดงลักษณะของอุปกรณ์ควบตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับเครื่องดูดซับเพื่อการทำความเย็นและความร้อน

การออกแบบโดยให้เครื่องดูดซับรวมชุดเดียวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังรูปที่ 5 จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูง รังสีอาทิตย์จะถูกนำมาให้ความร้อนกับเครื่องดูดซับโดยตรง ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์มีแผ่นปิดเป็นแก้วทั้ง 2 ด้านและถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน [3] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับองค์ประกอบต่างๆ และการควบคุมการไหลของสารทำงานในระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์ ได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลองของ [3-5] ในการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โปรแกรมแบบจำลองลงในซอฟต์แวร์ MATLAB โดยค่าคงที่ที่ใช้ในโปรแกรมคำนวณเพื่อทำนายสมรรถนะของระบบแสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าคงที่ที่ใช้ในการทำนายผลการทำความร้อนและความเย็นของระบบดูดซับแบบต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	ปริมาณ
ปริมาณน้ำในถัง	70 kg
อุณหภูมิเริ่มต้นของแผงรับรังสีและน้ำในถัง	25 °C
มวลของสแตนเลสที่ใช้ที่เครื่องดูดซับ	8 kg
ค่าความจุความร้อนของสแตนเลส	902 J/kg.K
มวลของถ่านกัมมันต์ที่ใช้	9.23 kg
ค่าความจุความร้อนของถ่านกัมมันต์	700 J/kg.K
ค่าความจุความร้อนของเอทานอล	2,476 J/kg.K
ค่าความจุความร้อนของน้ำ	4,180 J/kg
Latent heat of vaporization of ethanol	943,714 J/kg
Heat-collecting area	1 m ²
Maximum of adsorption capacity	0.211 kg _{el} /kg _{ac}

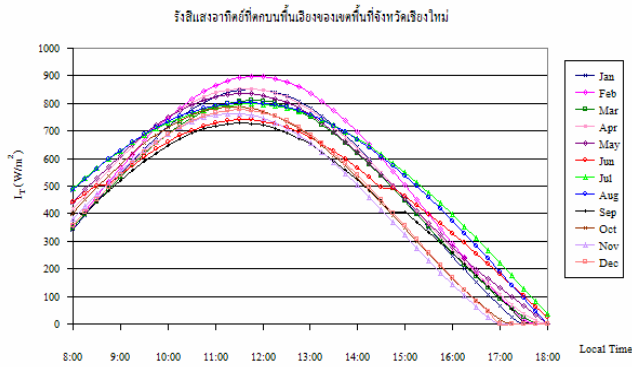
โดยปกติแล้ววงจรการทำงานของระบบดูดซับจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ประกอบด้วย ช่วงการคายสาร (Desorption หรือ Regeneration) ที่ต้องใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ และช่วงการดูดซับสาร (Adsorption) ซึ่งจะให้ความร้อนออกมาเพื่อนำไปใช้งานและเกิดการทำความเย็นที่เครื่องทำระเหยด้วย แต่เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเหมาะสม การทำนายสมรรถนะโดยการซิมูเลชันจึงทำการจำลองการทำงานของระบบให้เป็นแบบต่อเนื่อง ทั้งการผลิตความร้อนและความเย็น และแหล่งพลังงานสำคัญของระบบคือพลังงานรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่ป้อนให้กับโปรแกรมคำนวณ

3.2 การทำงานของระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์

กลไกการทำงานของระบบดูดซับดังแสดงในรูปที่ 5 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ (1) ในช่วงเช้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนบนจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมต่อการไล่สารทำความเย็นหรือเอทานอลออกจากถ่านกัมมันต์ (2) เกิดการคายเอทานอลที่ความดันคงที่ โดยที่เอทานอลที่ระเหยออกมาจะถูกควบแน่นที่เครื่องควบแน่น แล้วถูกนำไปเก็บไว้ที่อุปกรณ์เก็บสาร (Receiver) ซึ่งจะถูกลดความดันโดย Throttling valve เพื่อนำไปเก็บไว้ที่เครื่องทำระเหยต่อไป ในขณะที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนบนยังคงได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปเรื่อย ๆ จนระบบเข้าสู่สมดุลและกระบวนการให้ความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนบนสิ้นสุด (3) กลับตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นมุม 180° เพื่อนำส่วนล่างขึ้นมารับรังสีอาทิตย์แทน และส่วนบนจะได้รับการระบายความร้อนออกโดยใช้น้ำจากถังเก็บน้ำมาหมุนเวียนรับความร้อน ในขณะนี้ส่วนบนทำหน้าที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ และส่วนล่างเป็นส่วนถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถัง ทำให้อุณหภูมิและความดันของส่วนล่างลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการดูดซับ และ (4) เกิดกระบวนการดูดซับที่ความดันคงที่ทำให้ระบบสามารถทำความเย็นได้จากการระเหยสารทำความเย็นที่เครื่องทำระเหย ในขณะที่น้ำในถังที่ไหลเวียนมารับความร้อนจะค่อย ๆ ดึงความร้อนออก จนส่วนล่างมีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ในวัฏจักรต่อไป

3.3 ผลการทำนายสมรรถนะของระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์

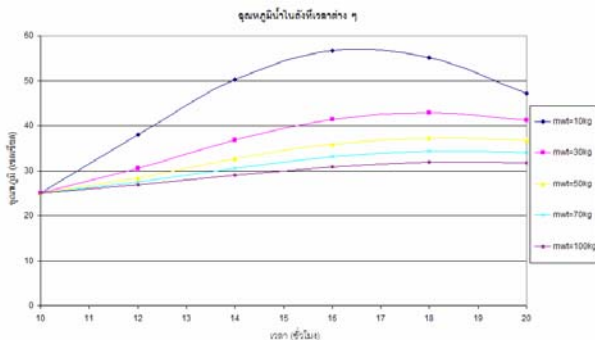
ในการทำนายสมรรถนะของระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิบรรยากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ตามเวลาเป็นรายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 6 จะเห็นว่ามีความโน้มเป็นแบบเดียวกันคือ ค่าพลังรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน หลังจากนั้นจะเริ่มลดลงจนกระทั่งค่ารังสีแสงอาทิตย์เป็นศูนย์ในช่วงหัวค่ำ



รูปที่ 6 ค่าพลังรังสีแสงอาทิตย์ราย 12 เดือนของจังหวัดเชียงใหม่

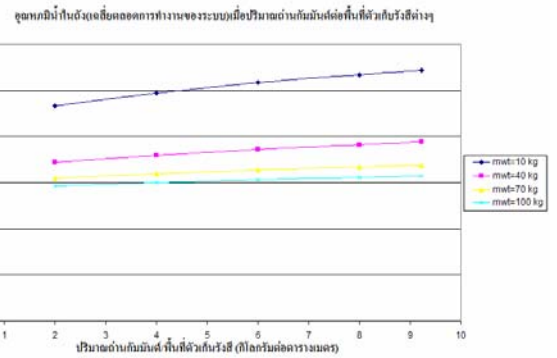
เมื่อพิจารณาค่ากราฟค่ารังสีอาทิตย์รายเดือน พบว่าในช่วงฤดูหนาวพลังรังสีอาทิตย์จะสูงสุด เนื่องจากในฤดูหนาวท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จึงมากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนที่มีเมฆปกคลุมมาก และพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์ของเดือนกุมภาพันธ์มีค่าสูงที่สุด

จากผลการคำนวณเพื่อทำนายสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์พบว่าอุณหภูมิของตัวเก็บรังสีเพิ่มขึ้นและลดลงหลังเวลาเที่ยงวันไปแล้ว และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำในถังขึ้นจะพบว่าอุณหภูมิของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลง และผลการคำนวณสำหรับอุณหภูมิของน้ำในถังตามเวลาที่ปริมาณน้ำในถังเก็บต่างกันแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังที่เวลาต่างๆ และปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำต่างกัน

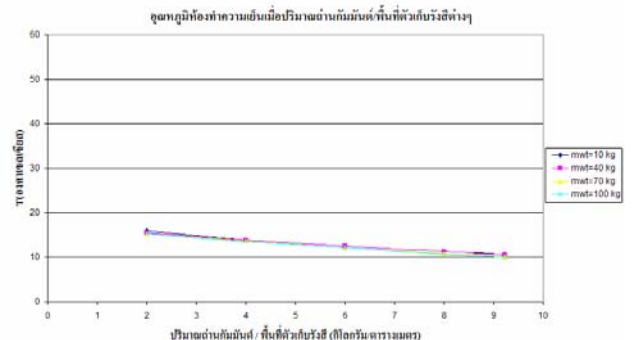
จากกราฟรูปที่ 7 จะเห็นว่าหากเพิ่มปริมาณน้ำในถังขึ้นอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้จะลดลง ดังนั้นการออกแบบระบบต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ต้องการประกอบกับระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ จากกราฟพบว่าปริมาณน้ำ 30 kg ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสี 1 m² ซึ่งจะทำให้ได้อุณหภูมิของน้ำมากกว่า 40 °C ตั้งแต่ 16:00 น. เป็นต้นไป และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังกับปริมาณของถ่านกัมมันต์ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (กิโลกรัม/ตารางเมตร) ที่ต่างกันจะได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 อุณหภูมิน้ำในถังเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

จากรูปที่ 8 พบว่าที่อัตราส่วนปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำร้อนที่ได้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในถังพบว่าที่ปริมาณน้ำมากขึ้นระดับอุณหภูมิจะลดต่ำลง แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความสามารถในการสะสมความร้อน ในขณะที่ความร้อนสูญเสียยังคงเดิม

สำหรับผลการทำนายความสามารถของระบบในการทำความเย็นสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องเย็นกับปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงอุณหภูมิของห้องเย็นที่เวลาต่างๆ และปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 9 จะเห็นว่าอุณหภูมิห้องทำความเย็นมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในระบบ เนื่องจากปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มากขึ้นจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอของเอทานอล ปริมาณการระเหยจากเครื่องทำระเหยและการดึงความร้อนจากห้องเย็นจึงมากขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้ผลการคำนวณยังทำให้ทราบปริมาณความร้อนและความเย็นที่ผลิตได้จากระบบตลอดทั้งวัน ทำให้สามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ของการทำความร้อนและความเย็นสำหรับแต่ละช่วงเวลาได้เช่นกัน ซึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความร้อน (COP_{heating}) จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เช่นเดียวกันแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำทำความเย็น

(COP_{cooling}) เหตุผลหลักมาจากการเพิ่มค่าความจุของการสะสมพลังงานจากการดูดซับ (Adsorption capacity) เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณสารดูดซับต่อปริมาตรตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั่นเอง

โดยสรุปเมื่อทำการคำนวณเพื่อทำนายสมรรถนะของระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์ และแปรผันตัวแปรสำคัญต่างๆ เช่น ปริมาณรังสีอาทิตย์, ปริมาณน้ำในถัง และปริมาณถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่า ระบบสามารถทำความร้อนและความเย็นได้ดีขึ้นในสภาพที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูง และเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อนของระบบตั้งแต่ 10 -100 kg พบว่าปริมาณน้ำมากจะให้ค่า COP_{heating} และ COP_{cooling} ที่สูง แต่ถ้าปริมาณน้ำในถังมากเกินไป อุณหภูมิของน้ำร้อนจะต่ำกว่าค่าที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

จากการทำนายสมรรถนะของระบบตลอดทั้งปีพบว่าระบบสามารถทำความร้อนและความเย็นได้อย่างต่อเนื่องในเดือนธันวาคม (ปริมาณน้ำในถังเป็น 70 kg และปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีเป็น 9.23 kg/m²) โดยระบบสามารถทำความร้อนได้ 3.4017 MJ/วัน และทำความเย็นได้ 2.8889 MJ/วัน ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความร้อน (COP_{heating}) คือ 0.1936 และในการทำความเย็น (COP_{cooling}) คือ 0.1644

จะเห็นว่าปริมาณการทำความร้อนและเย็นอยู่ในระดับที่ดี แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่แหล่งพลังงานที่ใช้กับระบบนี้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่า ระบบนี้จึงน่าจะมีศักยภาพในการขยายผลต่อ ซึ่งการสร้างระบบเพื่อทำการทดสอบจริงสำหรับโครงการระยะต่อไป กำลังอยู่ระหว่างดำเนินการ

4. สรุปผลงานวิจัย

ระบบเก็บรักษาพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ใช้คู่สารทำงานถ่านกัมมันต์กับเอทานอล เหมาะสมต่อการทำความเย็นและความร้อน โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีคุณสมบัติการดูดซับดีกว่าชนิดที่ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว ซึ่งแผนภาพ P-T-x ที่สร้างขึ้นสำหรับคู่สารถ่านกัมมันต์และเอทานอลได้รับการใช้เพื่อออกแบบระบบดูดซับพลังงานรังสีอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถูกควรรวมกับเครื่องดูดซับ และสามารถพลิกกลับไปมาเพื่อให้ทั้งสองด้านได้รับแสงอาทิตย์ ทำให้ระบบสามารถทำความร้อนและเย็นได้อย่างต่อเนื่อง

ผลการทำนายสมรรถนะระบบแสดงว่าอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิห้องเย็นที่ได้จะดีขึ้นตามอัตราส่วนปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และเมื่ออาศัยข้อมูลพลังงานรังสีอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่ในการทำนายสมรรถนะระบบตลอดทั้งปี พบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีในเดือนธันวาคม โดยมีค่าปริมาณการทำความร้อนและความเย็นต่อวันในระดับที่น่าพอใจ แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อนและเย็นจะไม่สูงนัก แต่จุดเด่นของการนำพลังงานทดแทนมาใช้ ทำให้ระบบมีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ในการทำความเย็นและความร้อนต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการทุนเมธีวิจัยอาวุโส โดยมี ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์เป็นหัวหน้าโครงการ นอกจากนี้พื้นที่

ทำการทดสอบและอุปกรณ์การทดลองบางส่วนได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- [1] เชิดชัย วิชา, รณยุทธ เตชะกิตติโรจน์ และ วิโรจน์ เปี่ยมวิริยะ, "ระบบทำความเย็นแบบดูดเกาะชนิดต่อเนื่อง", ปรินญาณิพนธ์ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2533.
- [2] Tiansuwan, J., Kiatsirirot T. and Hirunlabh J., "Activated Carbon-Ethanol: an alternative working substance for adsorption cooling system", Journal of Energy, Heat and Mass Transfer, 1995, Vol. 17, pp. 65-73.
- [3] Zhang, X.J., Wang, R.Z., "Design and performance simulation of a new solar continuous solid adsorption refrigeration and heating hybrid system", Renewable Energy, 2002, Vol. 27, pp. 401-415.
- [4] Wang, R.Z., "Adsorption refrigeration research in Shanghai Jiao Tong University", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2001, Vol. 5, No. 1, pp. 1-37.
- [5] Wang, R.Z., Xu, Y. X., Wu, J.Y., Li, M. and Shou, H.B., "Research on a combined adsorption heating and cooling system", Applied Thermal Engineering, 2002, Vol. 22, pp. 603-617.