

ระบบปรับอากาศชนิดดูดซึมใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคาร

Solar-Absorption Air Conditioning System for Buildings

สุดาภรณ์ คุ้มคู่

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2548 แสดงว่าประเทศไทยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ต่อวันประมาณ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ จึงมีศักยภาพที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อนได้เป็นอย่างดี การใช้แผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สะสมและส่งน้ำร้อนไปแยกสารทำความเย็นออกจากสารละลายตัวกลางในการทำความเย็นแบบดูดซึม (absorption refrigeration) เป็นเทคโนโลยีการทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เทคโนโลยีใหม่ที่ได้รับการพัฒนาในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาและกำลังเผยแพร่เชิงพาณิชย์ในประเทศตะวันตกและจีน โดยมีเป้าหมายทดแทนเครื่องปรับอากาศพลังงานไฟฟ้า ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้งานระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานความร้อนทั้งจากกระบวนการอุตสาหกรรมและการผลิตไฟฟ้า ยังไม่พบการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้ในการทำความเย็นและการปรับอากาศในอาคาร การสำรวจพบว่าคนไทยต้องอาศัยการปรับอากาศเพิ่มขึ้นและใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้น รายงานการศึกษาโดยสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) ปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีการใช้แผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเข้าและที่ผลิตในประเทศจำนวนกว่า 100,000 ตารางเมตร ในครัวเรือนและในอาคารสาธารณะ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตน้ำร้อนและการปรับอากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สำคัญต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ การลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

คำสำคัญ: แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การทำความเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดซึม

Abstract

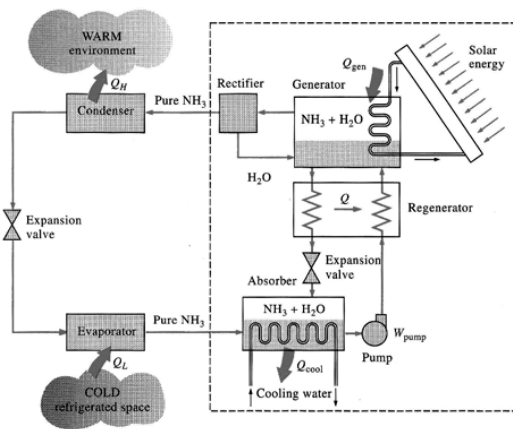
Handbook of Solar Radiation and Climatic Data for Renewable Energy Application by Department of Alternative Energy Development and Efficiency in 2005 shows that solar radiation in Thailand is around $18 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$, showing high potential in solar thermal application. The application of solar water heater to produce hot

water for separating the refrigerant from the medium solution in the absorption refrigeration is a new refrigeration technology for air conditioning in this decade. It is now commercially distributed among the western countries and China, with the purpose of replacement of the electrical air conditioner. Currently, Thailand uses large absorption system utilizing waste heat from industry and electricity generation. Solar energy for refrigeration and air conditioning for buildings are not found in Thailand despite its renewable energy source. Exploration shows Thai people increasingly depends on air conditioning and uses more hot water. The report of National Science Technology and Innovation Policy Office in 2010 shows that the use of local and imported solar water heater in households and public buildings in year 2008 are 100,000 square meter. Solar water heater for hot water and for air conditioning is an important choice for the energy security, the decrease of greenhouse gas emission and the reduction of energy expense.

Keywords: solar collector, solar water heater, solar assisted cooling, absorption chiller

1. หลักการเครื่องปรับอากาศชนิดดูดซึม

การทำความร้อนชนิดดูดซึมค้นพบโดยชาวฝรั่งเศสชื่อ Ferdinand Carre และได้รับสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1859 จากนั้นสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาและสร้างเครื่องทำน้ำแข็งสำหรับถนนอาหาร โดยอาศัยหลักการเดียวกัน [1] รูปที่ 1 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมในยุคเริ่มต้นซึ่งยังคงเป็นหลักการเดียวกับเครื่องทำความเย็นชนิดดูดซึมในปัจจุบัน

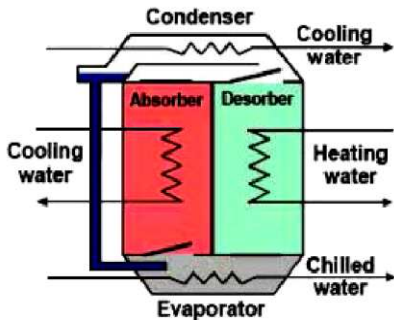


รูปที่ 1 วงจรการทำงานของเครื่องทำความเย็นชนิดดูดซึมโดยใช้สารละลายแอมโมเนียกับน้ำ [1]

จากรูปที่ 1 หากแทนอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในเส้นประด้วยเครื่องอัดไอ (vapor compressor) จะได้ว่าวัฏจักรการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบกลที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ในกรณีเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม แอมโมเนีย (NH_3) ที่ผ่านออกมาจากระบบอัดไอเป็นแอมโมเนียบริสุทธิ์ที่มีความดันสูง จะถูกทำให้เย็นลงโดยการผ่านเครื่องควบแน่น (condenser) ซึ่งแอมโมเนียจะระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม จากนั้นแอมโมเนียจึงผ่าน expansion valve เพื่อลดความดันให้เท่ากับความดันในอุปกรณ์ระเหย (evaporator) แอมโมเนียความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำในอุปกรณ์ระเหยรับความร้อนจากภาระการปรับอากาศ (cooling load) เป็นแอมโมเนียที่อุณหภูมิสูงความดันต่ำและมีสถานะเป็นของผสมระหว่างก๊าซและของเหลวเข้าสู่ระบบอัดไอเพื่อเพิ่มความดันและเข้าสู่วัฏจักรการทำงานรอบต่อไป

กระบวนการของไอแอมโมเนียจากอุปกรณ์ระเหยเข้าสู่กระบวนการอัดไอเริ่มที่ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำใน absorber กับแอมโมเนียโดยมีการรักษาอุณหภูมิของปฏิกิริยาดูดความร้อนให้แก่

น้ำในท่อจากหอผึ่งน้ำเย็น (cooling tower) ผลของการปฏิกิริยาเคมีคือสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นผสมกับน้ำ สารละลายจะถูกอัดด้วย pump ขนาดเล็กไปยัง regenerator ซึ่งจะอุ่นสารละลายก่อนเข้า generator สารละลายใน generator ได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน เช่น น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนทิ้ง ก๊าซร้อนจากการเผาเชื้อเพลิง เป็นต้น แอมโมเนียที่มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำจะเดือดก่อน ผลของการเดือดคือไอแอมโมเนียเข้มข้นและน้ำบางส่วนส่งไปยังอุปกรณ์ rectifier ซึ่งจะแยกน้ำบางส่วนออกจากสารละลายแล้วส่งกลับไปยัง generator ส่วนไอแอมโมเนียบริสุทธิ์ที่มีความดันไอสูงจะเข้าสู่วัฏจักรทำความเย็นต่อไป สารละลายแอมโมเนียกับน้ำอุณหภูมิสูงที่อยู่ใน generator จะถูกส่งไปยัง regenerator เพื่ออุ่นสารละลายแอมโมเนียกับน้ำก่อนเข้า generator



รูปที่ 2 เครื่องทำน้ำเย็นชนิดดูดซับ (adsorption chiller) [3]

สารละลายแอมโมเนียกับน้ำทำความเย็นอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียสจึงเหมาะสำหรับการใช้แช่แข็งและการทำตู้เย็น ส่วนสารละลายลิเทียมโบรไมด์กับน้ำทำความเย็นอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียสจึงเหมาะสำหรับการปรับอากาศในอาคาร [2] นอกจากการใช้สารละลายในการทำความเย็นแล้ว สารทำความเย็นยังถูกดูดซับได้ด้วยตัวดูดซับที่เป็นของแข็งรูปพรุน เรียกว่าระบบทำความเย็นชนิดดูดซับ (adsorption cooling) เช่น น้ำกับซิลิกาเจล ระบบดูดซับมีวัฏจักรของสารทำความเย็นใกล้เคียงกับระบบดูดซึม (absorption) แต่มีความซับซ้อนน้อยกว่าและมีขนาดเล็กกว่า [3] (ดูรูปที่ 2) ระบบ absorption และ adsorption เรียกว่าระบบปิดเนื่องจากสารทำความเย็นลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศโดยไม่ได้สัมผัสกับอากาศโดยตรง

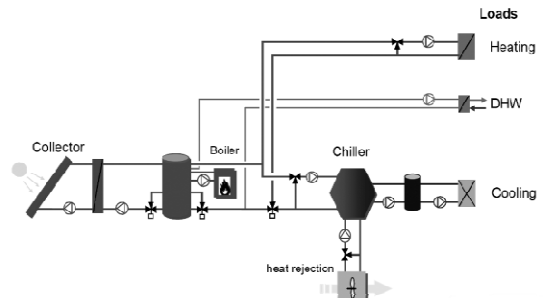
ข้อเด่นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมและดูดซับ คือการใช้พลังงานความร้อนในการขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นโดยได้มาจากแหล่งความร้อนทิ้งหรือพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ไม่ต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า ข้อด้อยคือระบบซับซ้อนและมีราคาแพง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ [4] ในกรณีของการปรับอากาศด้วยการดูดความชื้น หรือ thermal wheel ซึ่งประกอบด้วยวัสดุของแข็งมีรูพรุนเช่น ซิลิกาเจล มาดูดซับความชื้นเพื่อการปรับอากาศ (desiccant cooling) ก็สามารถนำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือก๊าซทิ้งมาคายความชื้นออกจากซิลิกาเจลเพื่อใช้งานซิลิกาเจลในวัฏจักรต่อไปได้ [5] ระบบ desiccant cooling เรียกว่าระบบเปิดเนื่องจากสารทำความเย็นสัมผัสกับอากาศโดยตรงซึ่งอาจจะไม่เหมาะกับประเทศที่มีความชื้นสูง [6] ระบบ desiccant cooling ไม่ได้นำมากล่าวในรายละเอียดในที่นี้

การใช้งานเครื่องปรับอากาศระบบดูดซึม โดยมีเครื่องทำน้ำเย็น (chiller) ชนิดใช้ความร้อนทิ้ง (waste heat) จากกระบวนการผลิต ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการปรับอากาศอาคารขนาดใหญ่ และโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยเนื่องจากมีความคุ้มค่ากับการลงทุนสูง เช่น โรงงานขึ้นรูปพลาสติกและโลหะที่มีความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิต [7] อาคารสนามบินสุวรรณภูมิมีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (cogeneration power plant) ผลิตไฟฟ้าใช้ในสนามบินโดยนำไอน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 180°C มาขับเครื่องปรับอากาศระบบ steam absorption ขนาดประมาณ 30,000 ตันความเย็น [8] อย่างไรก็ตามยังไม่พบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนระบบทำความเย็น

2. ระบบปรับอากาศชนิดดูดซึมใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ประเทศไทยมีการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อนและการผลิตไฟฟ้าบ้างแต่ยังไม่พบว่ามีการใช้เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในอุตสาหกรรมและในบ้านเรือน การใช้งานเครื่องทำความเย็นในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์จำเป็นต้องแหล่งความร้อนที่มีคุณภาพ มีระบบสะสมน้ำร้อนและมีแหล่งพลังงานสำรอง เช่น ฮีตเตอร์ไฟฟ้า หม้อต้มน้ำ เป็นต้น [9] แหล่งความร้อนที่มีคุณภาพได้แก่ แหล่งความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของ generator มีค่าสูงพอสำหรับการแยกสารละลายหรือการคายความชื้น ในกรณีเครื่องทำความเย็นชนิดดูดซึม คืออุณหภูมิ 90°C ขึ้นไป [10] การทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำน้ำร้อนมาใช้ขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมจะต้องใช้แผงรับพลังงาน (solar collector) ที่สามารถ

ผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าวได้ ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการปรับอากาศมีรายละเอียดตามรูปที่ 3



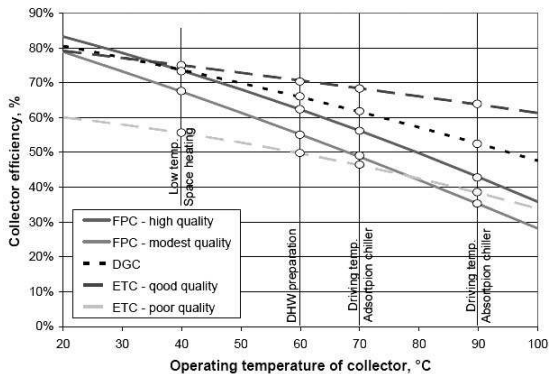
รูปที่ 3 ผังภูมิแสดงการติดตั้งระบบทำความร้อน ผลิตน้ำร้อน และ ทำความเย็น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน [10]

2.1 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบการทำความเย็นชนิดดูดซึมและดูดซับโดยทั่วไปต้องการอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบประสิทธิภาพสูง (double glazed collector) และชนิดหลอดสุญญากาศ (evacuated tube collector) ประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 70-100°C ได้โดยที่มีประสิทธิภาพของแผงประมาณ 50-90% รูปที่ 4 แสดงว่าประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิแผงเพิ่มขึ้น และแสดงว่าน้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C สำหรับระบบทำความร้อนในบ้าน อุณหภูมิ 60°C สำหรับน้ำร้อนใช้ในบ้าน อุณหภูมิ 70°C สำหรับขับเคลื่อนเครื่องทำน้ำเย็นชนิดดูดซับ และอุณหภูมิ 90°C สำหรับขับเคลื่อนชนิดดูดซึม

2.2 การพัฒนาเครื่องทำความเย็นชนิดดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กในต่างประเทศ

จากแนวคิดและการทดลองสร้างจริงในปี 1859 เครื่องทำความเย็นระบบดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์และระบบปรับอากาศที่เกี่ยวข้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในยุโรป [11, 12] และ



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพแผงรับพลังงานชนิดต่างๆ ที่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (global radiation) เท่ากับ 800 W/m^2 และอุณหภูมิบรรยากาศ เท่ากับ 20°C (FPC – Flat plate collector, DGC – Double glazed collector, ETC – Evacuated tube collector) [10]

อเมริกากลาง [13] โดยการปรับปรุงส่วนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้อุณหภูมิ generator ที่สูงขึ้น เช่น การใช้จานพาราโบลารวมแสงแทนแผ่นราบที่มีท่อทองแดงด้านใน และการใช้สารทำความเย็นชนิดต่างๆ ที่ทำให้อุณหภูมิของ evaporator มีค่าลดลง [14] ตัวอย่างโครงการในยุคหลังปี ค.ศ. 2000 ได้แก่ โครงการ Solar-Assisted Air Conditioning in Europe (SACE) [15] ซึ่งมีสมาชิกเข้าร่วมกว่า 10 ประเทศ โครงการ PIER ของสหรัฐ [16] การพัฒนาระบบสูดดูดความชื้นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศอียิปต์ และญี่ปุ่น [17, 18]

ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010 มีการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมความร้อนชั้นเดียว (single effect) และสองชั้น (double effect) เก็บข้อมูลการใช้

งานจริง และการอภิปรายถึงผลการทดสอบอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เช่น ประเทศในยุโรปตอนใต้ จีน อเมริกากลาง เป็นต้น ซึ่งนำมาสู่การพัฒนาในเชิงพาณิชย์ในช่วงปี ค.ศ. 2010 [10, 19] โครงการ SACE ซึ่งมุ่งผลิตเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก (ไม่เกิน 20 kW ความเย็น) เพื่อการพาณิชย์ ในปัจจุบัน ได้ติดตั้งเครื่องทำความเย็นชนิดดูดซึมและดูดซับขนาดเล็กใช้งานในอาคารสำนักงานและบ้านพักอาศัยจำนวน 200 เครื่อง โดยนำเข้าเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กและแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงจากบริษัทผู้ผลิตในยุโรป [10] มีการบูรณาการเข้ากับระบบทำน้ำร้อนและทำความร้อนให้กับอาคารที่มีอยู่แล้วในประเทศเขตหนาว การผลิตเชิงพาณิชย์ได้เริ่มต้นดำเนินการโดยบริษัทชั้นนำของสวีเดนและเยอรมัน ตั้งฐานการผลิตในประเทศยุโรปตอนล่างที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์และมีความต้องการใช้การทำความเย็นเพื่อปรับอากาศ เช่น สเปน การตั้งฐานการผลิตในประเทศที่ต้องการใช้งานเป็นการลดค่าใช้จ่ายเพื่อการขนส่งและความสะดวกในการฝึกอบรมผู้ขายรายย่อย

เนื่องจากระบบปรับอากาศชนิดดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์มีความซับซ้อนและต้องปรับตั้งการทำงาน ชั่วโมงที่มีแดดในแต่ละท้องถิ่นให้สอดคล้องกับภาระการปรับอากาศของอาคารและการใช้ระบบความร้อนเสริม โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองภาระการปรับอากาศของอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการติดตั้งระบบ โปรแกรม TRNSYS ที่ได้รับการยอมรับมานานในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารได้รับการพัฒนาให้รองรับระบบการปรับอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [20, 21] บริษัท เช่น Solarnext AG และ Solution Solartechnik GmbH ได้พัฒนาและนำเสนอชุดเครื่องมือสำหรับปรับจูนระบบ

(preconfigured solar cooling kits) โครงการ SolarCombi+ ได้จำลองภาระการทำความเย็นของอาคารในเมืองต่างๆในประเทศยุโรปสำหรับเป็นฐานข้อมูลในการปรับจูนระบบไว้แล้ว [10]

3. โอกาสในการใช้งานระบบทำความเย็นชนิดดูดซึมใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

โครงการพัฒนาและสาธิตการปรับอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก ได้ทดลองใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 10 ตันความเย็นซึ่งขับเคลื่อนด้วยความร้อนจาก generator หนึ่งเครื่อง โดยรับความร้อนมาจากน้ำร้อนที่ผลิตจากหลอดสุญญากาศรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 72 m^2 ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารสำนักงาน (รูปที่ 5) ผลการทดลองพบว่าสามารถทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศได้ถึง 81 % [22] โดยที่พลังงานอีก 19 % มาจากการต้มน้ำด้วยก๊าซหุงต้ม ในขณะที่ประเทศไทยยุโรปตอนใต้ซึ่งใช้งานระบบที่ใกล้เคียงกันสามารถทดแทนพลังงานเพื่อการปรับอากาศได้ 30-60% [12]

จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีศักยภาพในการใช้งานเครื่องปรับอากาศชนิดดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากมีแหล่งพลังงานเพียงพออุปสรรคสำคัญในการใช้งานได้แก่ ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าติดตั้งที่สูง และใช้พื้นที่ในการติดตั้งแผงหลอดสุญญากาศมาก เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศชนิดใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในอนาคตอันใกล้การผลิตเชิงอุตสาหกรรมที่กำลังเริ่มขึ้นในประเทศสเปนพร้อมกับการสนับสนุนจากรัฐบาลในประเทศต่างๆ ด้านความเป็นมิตรกับ

สิ่งแวดล้อมจะเปิดตลาดเครื่องปรับอากาศชนิดดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศที่มีศักยภาพ [10] นอกจากนี้การผนวกระบบปรับอากาศชนิดดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยน่าจะเป็นแนวทางการใช้งานที่ดี เนื่องจากอาคารในประเทศไทยต้องการการปรับอากาศมากและมีการใช้งานน้ำอุ่นในอาคารหลายประเภท เช่น โรงแรม โรงพยาบาล ที่พักตากอากาศ รวมถึงบ้านที่อยู่อาศัยด้วย



รูปที่ 5 โครงการพัฒนาและสาธิต ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นชนิด solar absorption cooling [22]

จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยติดตั้งแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเข้าจากประเทศจีนและผลิตในประเทศแล้วกว่า 100,000 m² ในปี พ.ศ. 2551 โดยการอุดหนุนจากภาครัฐ [9] ส่วนมากแผงผลิตน้ำร้อนที่ใช้ในประเทศไทยเป็นแผงที่ผลิตน้ำอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 60-70°C ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดดูดซึม การเตรียมการผลิตหลอดสุญญากาศและแผงรับประสิทธิภาพสูงด้วยเทคโนโลยีในประเทศน่าจะเป็นการรองรับเทคโนโลยีปรับอากาศเทคโนโลยีใหม่ที่จะช่วยสร้างงานในประเทศและเพิ่มมูลค่าสินค้าในประเทศได้

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yunus A. Cengel and Michale A. Boles, Thermodynamics: An Engineering Approach., 2 ed., McGrawHill, Inc. New York, 608 p., 1994.
- [2] ASHRAE Handbook. Absorption Cooling, Heating and Refrigeration Equipment. *Refrigeration Volume*. Chapter 41. 1998
- [3] A.O. Dieng, R.Z. Wang, Literature Review on Solar Adsorption Technologies for Ice-Making and Airconditioning Purposes and Recent Developments in Solar Technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 5, pp. 313–342, 2001.
- [4] Björn Nienborg, Solar-Assisted Heating and Cooling of Buildings: Technology, Markets and Perspectives [Electronics version], February, 2, 2010. Retrieved June, 10, 2010, from <http://www.solarserver.de/solarmagazin/index-e.htm>
- [5] P. Bourdoukan, E. Wurtz, P. Joubert, M. Sperandio, Potential of Solar Heat Pipe Vacuum Collectors in the Desiccant Cooling Process: Modelling and Experimental Results, Solar Energy. Vol. 82, pp.,1209–1219, 2008.
- [6] P. Mavroudaki, C.B. Beggs, P.A. Sleight, S.P. Halliday, The Potential for Solar Powered Single-Stage Desiccant Cooling in Southern Europe, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp.1129–1140, 2002.
- [7] กอง บก.ฐานเศรษฐกิจ ลงทุน-อุตสาหกรรม - ลงทุน-อุตสาหกรรม, กระแสรักรัยโลกดันยอดขายสยามเทมปี [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์] หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจวันพุธที่ 7 ต.ค. 2552. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2553, จาก <http://www.thanonline.com>
- [8] Airport Operation Thailand (AOT), Report on Suvarnabhumi Air Conditioning System, The First Mekong Energy and Ecology Network (MEE-Net) Training Workshop Thailand 11-30 May 2009.
- [9] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.): สมุดปกขาวเทคโนโลยีพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ พฤษภาคม พ.ศ. 2553.
- [10] Solar Combi+, Report on Identification of Most Promising Market and Promotion of Standardized System Configuration for the

- Market Entry of Small Scale Combined Solar Heating & Cooling Applications, 2010.
- [11] P. Lamp and F. Ziegler. European Research on Solar-Assisted Air Conditioning, Review Paper, *IntJ. Refrig.*, Vol. 21, No. 2, pp. 89-99, 1998.
- [12] Ahmed Hamza H. Ali, Peter Noeres, Clemens Pollerberg, Performance Assessment of an Integrated Free Cooling and Solar Powered Single-Effect Lithium Bromide-Water Absorption Chiller, *Solar Energy*, Vol. 82, pp. 1021-1030, 2008.
- [13] Roberto Best and Isaac Pilatowsky, Solar Assisted Cooling with Sorption Systems: Status of the Research in Mexico and Latin America, *IntJ. Refrig.*, Vol. 21, No. 2, pp. 100-115, 1998.
- [14] Nolwenn Le Pierre's, Nathalie Mazet, Driss Stitou, Experimental Results of a Solar Powered Cooling System at Low Temperature, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 30 pp. 1050-1058, 2007.
- [15] Hans-Martin Henning, Solar Assisted Air Conditioning of Buildings – an Overview, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp. 1734-1749, 2007.
- [16] Public Interest Energy Research (PIER), Design and Optimized of Solar Absorption Chiller: A Consultant Report, pp. 1-42, March 2002.
- [17] A.E. Kabeel, Solar Powered Air Conditioning System Using Rotary Honeycomb Desiccant Wheel, *Renewable Energy*, Vol. 32, pp. 1842-1857, 2007.
- [18] Napoleon Enteria, Hiroshi Yoshino, Akira Satake, Akashi Mochida, Rie Takaki, Ryuichiro Yoshie, Seizo Baba, Development and Construction of the Novel Solar Thermal Desiccant Cooling System Incorporating Hot Water Production, *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 478-486, 2010.
- [19] Constantinos A. Balarasa, Gershon Grossmanb, Hans-Martin Henningc, Carlos A. Infante Ferreirad, Erich Podessere, Lei Wangd, Edo Wiemkenc. Solar Air Conditioning in Europe—an Overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp. 299-314, 2007.
- [20] Assilzadeh F, Kalogirou SA, Ali Y, Sopian K., Simulation and Optimization of a LiBr Solar Absorption Cooling System with Evacuated Tube Collectors, *Renewable Energy*, Vol.30, pp.1143-59, 2005.
- [21] Humberto Vidal, Sergio Colle, Guilherme dos Santos Pereira, Modelling and Hourly Simulation of a Solar Ejector Cooling System, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, pp. 663-672, 2006.
- [22] A. Pongtornkulpanich, S. Thepa, M. Amornkitbamrung, C. Butcher, Experience with Fully Operational Solar-Driven 10-ton LiBr/H₂O Single-Effect Absorption Cooling System in Thailand, *Renewable Energy*, Vol.33, pp. 943-949, 2008.