

การพัฒนาการใช้แผงเย็นให้ความเย็นในอาคารโดยวิธีธรรมชาติ

Development of Use of Radiant Cooling Panel for Passive Cooling in Buildings

อายุวัฒน์ ตันติวิเชียร จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
E-mail: s4712083@psu.ac.th

Ar-U-Wat Tantiwichien, Juntakan Taweekun, Chukiat Kooptanond Panyarak Ngamsritragul
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkla 90112
E-mail: s4712083@psu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบทำความเย็น โดยวิธีธรรมชาติ น้ำถูกทำให้เย็นโดยใช้หอผึ่งเย็นและจ่ายน้ำเย็นที่ได้ผ่านแผงที่ติดที่ผนังและเพดานแผงน้ำเย็นจะรับการแผ่รังสีความร้อนจากคนและพื้นผิวอื่นในห้อง อากาศจะถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนสู่แผงเย็น ขนาดของแผงเย็นและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องนำมาจำลองการใช้งานด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2 การศึกษานี้ได้มีการประเมินระดับความสบายเชิงอุณหภูมิของการปรับอากาศ (Thermal Comfort Assessment) โดยพิจารณาพร้อมกับความร้อนภายนอกที่ถ่ายเทผ่านผ่านกรอบอาคาร และการพาความร้อนภายในอาคารซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับความสบายของผู้อาศัยในระบบการแผ่รังสีความร้อน และวิเคราะห์ผล เพื่อแสดงให้เห็นความเหมาะสมของการใช้แผงเย็นในอาคารโดยวิธีธรรมชาติ จากผลการศึกษาพบว่า การนำระบบทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารสามารถทดแทนการใช้เครื่องปรับอากาศโดยยังคงให้สภาวะความสบาย ตามความต้องการ

Abstract

This paper studies the design of radiant cooling panel system and relevant equipment for passive cooling in a building. Water is cooled by using cooling tower and this cooled water is supplied to radiant panel installed at the wall and the ceiling. The radiant cooling panel obtain radiant heat transfer from occupants and other surfaces from the room. The ventilation air transfers the convective heat transfer to radiant cooling panel. The designed radiant cooling panel and equipment were simulated using EnergyPlus Version 1.2.2. The weather data of Bangkok, Thailand was used in this simulation. Thermal comfort assessments were examined by consideration of heat gain through building envelope and internal heat gains. Results showed that the radiant cooling system can be applied to use in

building. It is an alternative system that can be used instead of the use of air conditioner under and the achievement of thermal comfort.

1. บทนำ

จากการเปลี่ยนโครงสร้างทางเศรษฐกิจและสังคม ส่งผลให้อาคารในเมืองหนาแน่นทำให้การระบายความร้อนโดยลมธรรมชาติไม่ค่อยได้ผล จึงมีการปรับอากาศ ระบบปรับอากาศต้องรับภาระมากในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่ 25-35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์สูงตลอดทั้งปี การทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่ใช้กันอยู่มีแนวคิดเรื่องกลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ซึ่งความร้อนจะถูกพาออกไปทุกพื้นผิวโดยอากาศที่หมุนเวียน ในประเทศไทยพบว่าอาคารพาณิชย์ ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 150 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี หรือ 1500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อคนต่อปี วัตถุประสงค์ในการสร้างอุณหภูมิที่เป็นกลางสามารถบรรลุได้โดยการใช้ระบบทำความเย็นโดยการแผ่รังสีความร้อนและใช้ปริมาณอากาศต่ำ (15-20 ลูกบาศก์ฟุตต่อคนที่ต่อคน) สำหรับอาคารสำนักงาน

ระบบปรับอากาศที่ใช้การแผ่รังสีความร้อนระบบนี้ [1, 2] จะใช้แผงเย็นเพื่อรับการแผ่รังสีความร้อนจากคน (และผิวของวัตถุอื่นบางส่วน) และการพาความร้อนโดยธรรมชาติจากอากาศในห้อง ระบบนี้ใช้อากาศบริสุทธิ์ที่พอเพียงสำหรับคนเท่านั้น เข้าสู่อากาศโดยวิธีแทนที่อากาศที่ระบายทิ้งไป (Displacement ventilation) การทำความเย็นด้วยวิธีการแผ่รังสีความร้อนนี้ จะต้องควบคุมการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่แผ่นแบบเรียบเย็น โดยอุณหภูมิแผ่นแบบเรียบจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวประมาณ 1 °C (เช่น อุณหภูมิห้อง 25 °C ความชื้น 50% อุณหภูมิกลั่นตัวของน้ำ 14 °C) ดังนั้นอุณหภูมิของแผ่นแบบเรียบจะสูงกว่า เช่นที่ประมาณ 15 °C (อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 24 °C)

รัตนชัย [3] ได้ติดตั้งแผงทำความเย็นในห้องทดลอง น้ำเย็นที่ใช้จ่ายให้แก่แผงดังกล่าวจ่ายจากระบบทำน้ำเย็น ผลการทดลองพบว่า

ระบบดังกล่าวให้ความรู้สึกเย็นสบายแก่ผู้ใช้ห้องทดลองโดยไม่มีเสียงพัดลมรบกวน และให้ความรู้สึกเย็นสบายโดยไม่มีลมกระทบตัว ประสิทธิภาพ [4] ทดลองการปรับสภาวะอากาศโดยแผงทำความเย็นและการทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนติดตั้งบนเพดาน โดยระบบระบายอากาศที่ใช้ปริมาณลมน้อย (พัดลมดูดอากาศเข้าในอัตรา 20 ลิตรต่อวินาที) ซึ่งอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของแผงมีส่วนสำคัญต่อระดับการถ่ายเทความร้อน พบว่าวาระบบที่ติดตั้งสามารถทำให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิได้

Koichi [5] ศึกษาการใช้แผงทำความเย็นร่วมกับระบบกักเก็บความเย็นโดยผลิตน้ำแข็งในช่วงเวลากลางคืน แผงทำความเย็นใช้ร่วมกับระบบระบายอากาศที่ปรับให้แห้งกว่าระบบปกติพบว่าระบบใช้งานได้โดยที่อุณหภูมิในห้องอาจปรับให้สูงกว่าระบบปรับอากาศปกติที่ใช้แต่ให้ความรู้สึกสบายกว่าเพราะอากาศแห้งกว่า และเมื่อศึกษาโดยการจำลองสภาพ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนของอุปกรณ์แล้วพบว่าระบบนี้มีต้นทุนใกล้เคียงกับระบบปรับอากาศทั่วไป และค่าใช้จ่ายการดำเนินงานก็ใกล้เคียงกัน Alamdari [6] ใช้เทคนิคของ Computational Fluid Dynamic (CFD) ในการศึกษาการใช้อากาศระบายที่แห้งและเย็นแต่อัตราการไหลต่ำร่วมกับแผงทำความเย็นบนเพดาน โดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาแนวการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของอากาศระบายเพื่อตรวจสอบว่าการกระจายของอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่ศึกษามีประสิทธิภาพการให้ความรู้สึกสบายได้ดีเพียงใด ผลปรากฏว่าในห้องที่มีการระบายร้อนต่ำ จำเป็นต้องใช้แผงทำความเย็นช่วยลดอุณหภูมิเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสบายเชิงอุณหภูมิ

Carpenter [7] ใช้ก๊าซธรรมชาติทำน้ำร้อนจ่ายเข้าแผงแผ่รังสีบนเพดานใช้ในฤดูหนาว ในฤดูร้อนก๊าซธรรมชาติใช้เดินเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งใช้สารดูดซับน้ำ และระบบฟื้นความร้อน (Heat recovery wheel) พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแยกได้โดยเด็ดขาด ทำให้อากาศแห้งได้ระดับที่ต้องการ ความเย็นหรือความร้อนทำให้สร้างสภาวะความสบายที่เหมาะสมและประหยัดช่วยลดการผลิตไฟฟ้าและมีค่าใช้จ่ายต่ำ Simmonds [8] ศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศที่แปรตามภาระการปรับอากาศเสริมด้วยการปรับพื้นที่อาคารให้เย็นโดยใช้น้ำเย็นจ่ายเข้าท่อฝังไว้ใต้พื้น กำหนดให้มีชั้นอากาศใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงไม่เคลื่อนไหว (Stratified air layer) เพื่อลดภาระการปรับอากาศจากการพาความร้อนผ่านหลังคาอาคาร การใช้ท่อน้ำเย็นจะช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ส่องทะลุผ่านหลังคาและผนังและตกลงพื้นโดยตรง

การศึกษานี้ได้ทำการออกแบบระบบที่ใช้แผงเย็นในห้องทดลองซึ่งเป็นห้องนั่งเล่นภายในอาคารบ้านอยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้นมีขนาดห้อง 4 เมตร x 3.8 เมตร x 2.9 เมตร วัสดุผนังทำด้วยคอนกรีตมวลเบาพร้อมฉนวนทั้ง 2 ด้าน หน้าต่างและประตูทำด้วยกระจกสีเขียว ส่วนของแผงเย็นทำด้วยท่อทองแดงขนาด 10 ตารางเมตร ติดตั้งที่ผนังที่ด้านทิศตะวันตกและแผงเย็นขนาด 16 ตารางเมตรที่เพดาน

2. ความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort)

นอกจากเกณฑ์ความสบายของ ASHRAE (The American Society for Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

ซึ่งเน้นหนักไปในด้านสภาวะที่มีการปรับอากาศ แล้วยังมีผู้เชี่ยวชาญอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งทำการศึกษเกี่ยวกับความสบายในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ พบว่า ร่างกายคนเราสามารถปรับความรู้สึกสบายได้ตามสภาพอากาศแวดล้อม ผลการศึกษาของ Auliciems [9] โดยการเก็บข้อมูลจากการสอบถามข้อมูลจากบุคคลในสถานที่ทำงาน ที่อยู่อาศัยและสภาพแวดล้อมที่ไม่ปรับอากาศ และใช้อุปกรณ์วัดสภาพอากาศเป็นจำนวนมาก พบว่าอุณหภูมิในร่มที่ทำให้เรารู้สึกสบาย (neutral indoor temperature, T_n) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (mean monthly outdoor temperature, T_m) ดังสมการ

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_o \quad (1)$$

จากผลการศึกษาของ Szokolay [10] พบว่าความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกายมีผลทำให้ร่างกายมีความรู้สึกเย็นขึ้น จากอุณหภูมิโดยรอบและอุณหภูมิที่รู้สึกลดลง หากใช้ความเร็วลมสูงเกินไปอาจสร้างรำคาญ ดังนั้นสมการข้างล่างนี้ ใช้ได้กับความเร็วลมตั้งแต่ 0 – 3 เมตรต่อวินาที

$$DT = 6V - V^2 \quad (2)$$

โดยที่ DT คือผลต่างของอุณหภูมิที่ทำให้คนมีความรู้สึกด้วยความเร็วลม V ไหลผ่านร่างกาย

จากรายงานผลการศึกษาสภาพอากาศในกรุงเทพมหานครโดย John Busch [11] โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งศึกษาอุณหภูมิสบายในอาคารปรับอากาศ และอีกกลุ่มหนึ่งศึกษาสภาพความสบายในอาคารที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ พบว่าคนที่ทำงานในอาคารที่ปรับอากาศจะรู้สึกสบายในช่วงเดียวกับผลการศึกษาความสบาย ของ ASHRAE ในช่วงฤดูร้อน ส่วนคนที่ทำงานในอาคารที่ไม่ปรับอากาศจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส. ผลนี้สอดคล้องกับผลงานของ Auliciems

ตารางที่ 1 อุณหภูมิที่สามารถสัมผัสได้ด้วยความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที

อุณหภูมิภายนอก, T_o (°C)	อุณหภูมิในร่มที่รู้สึกสบาย, T_n (°C)	อุณหภูมิเทียบเท่า, (°C)
28	26.3	23
29	26.6	24
30	26.9	25
31	27.2	26
32	27.5	27
33	27.8	28
34	28.1	29

จากตารางที่ 1 พบว่าที่อุณหภูมิอากาศภายนอก 33 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาทีที่พัดผ่านร่างกายจะได้ค่าอุณหภูมิเทียบเท่า 28 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิที่ทำให้รู้สึกสบาย และจะได้ค่าอุณหภูมิในร่มที่รู้สึกสบายที่ 27.8 องศาเซลเซียส

2.1 Mean Radiant Temperature

อุณหภูมิของผิวผนังหรืออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมรอบตัวมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตัวบุคคลกับสภาพรอบข้าง โดยการแผ่รังสี ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพรอบข้างต่ำ ร่างกายจะสามารถแผ่รังสีออกได้ดีทำให้ระบายความร้อนออกได้ดี

2.2 ค่าคาดคะเน (Predicted Mean Vote ,PMV)

ในการทดลองในห้องทดลอง Fanger [12, 13] พบว่าค่าความรู้สึกที่คนผู้หนึ่งจะกำหนดในสภาวะหนึ่ง ๆ ซึ่งเรียกว่าค่าคาดคะเน มีความเชื่อมโยงกับค่า Metabolic rate (M) และอัตราการระบายความร้อนออกจากร่างกาย (L) ดังนี้

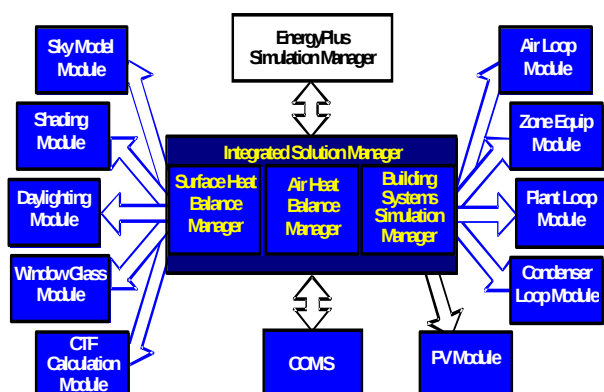
$$PMV=[0.303 \exp (-0.036M+0.028)]L \quad (3)$$

โดยที่ L คือผลต่างระหว่างการกำเนิดพลังงานและการสร้างงานของร่างกาย วิธีของ Fanger เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป และเป็นวิธีที่สถาบันมาตรฐานระหว่างประเทศใช้ ISO 7730 Thermal Environment for Human Comfort [14])

3. การจำลองการใช้แผงเย็น

3.1 โปรแกรม EnergyPlus

EnergyPlus Version 1.2.2 เป็นโปรแกรมที่พัฒนาการคำนวณจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ซึ่งเป็นเวอร์ชันล่าสุด โปรแกรมดังกล่าวสามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าพลังงาน สมดุลมวลและความร้อน สมดุลความชื้น ปริมาณ CO₂ SO_x NO_x CO ในบรรยากาศ และระดับความสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคารเป็นต้น รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างโปรแกรม EnergyPlus

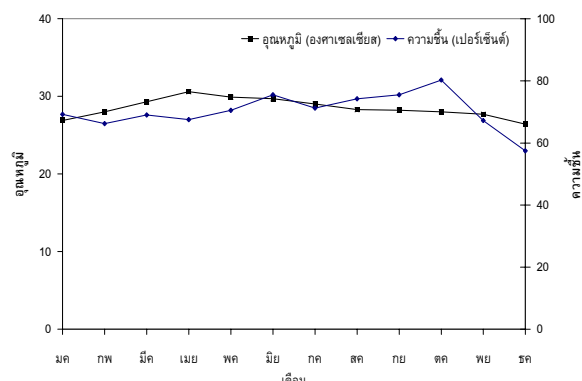


รูปที่ 1 โครงสร้างโปรแกรม EnergyPlus

3.2 ข้อมูลสภาวะอากาศ

ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร ในการจำลองการทำงานของแผงเย็น รูปที่ 2 แสดงภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานครรายเดือน อุณหภูมิของอากาศอยู่ในช่วง 26 - 31

องศาเซลเซียส โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนเมษายนมีอากาศสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 55 - 80 เปอร์เซ็นต์และจะมีค่าสูงในเดือนตุลาคมที่มีฝนตกชุก

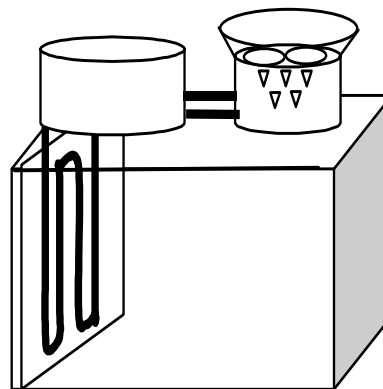


รูปที่ 2 ภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

4. วงจรน้ำเย็นและระบบควบคุม

4.1 วงจรน้ำเย็น

ในการออกแบบได้มีการแยกวงจรการทำน้ำเย็นและวงจรจ่ายน้ำเย็นให้แก่แผงเย็นออกจากกันเพื่อความสะดวกในการใช้งาน รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งวงจรระบายความร้อนและเก็บน้ำเย็นประกอบด้วยแผงเย็น ถึงเก็บน้ำเย็นและหอผึ่งเย็น



รูปที่ 3 วงจรระบายความร้อนและเก็บน้ำเย็น

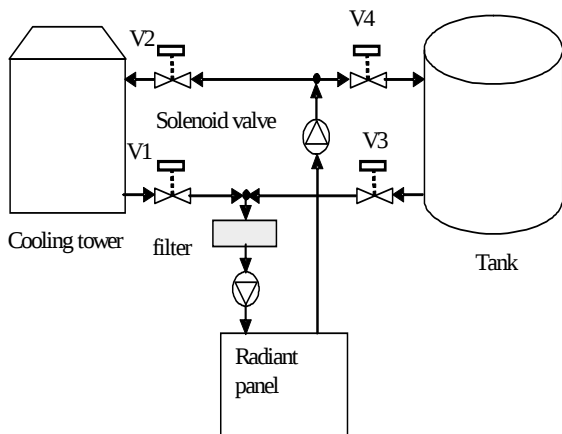
4.2 ระบบควบคุม

รูปที่ 4 แสดงการจ่ายน้ำเย็นเข้าสู่แผงเย็นพร้อมระบบควบคุมการทำงาน V₁, V₂, V₃ และ V₄ เป็น solenoid valve โดยมี P₁ และ P₂ เป็นปั๊ม เมื่อมีการจ่ายน้ำเย็นเข้าแผงเย็นปั๊มทั้งสองตัวจะทำงานพร้อมกัน แต่การเปิด-ปิด solenoid valve สำหรับช่วงการใช้น้ำเย็นจากถังเก็บและการใช้น้ำเย็นจากหอผึ่งเย็นแตกต่างกัน ตารางที่ 2 แสดงเงื่อนไขการควบคุม solenoid valve และรูปที่ 4 แสดงการจ่ายน้ำเย็นเข้าสู่แผงเย็นพร้อมระบบควบคุมการทำงาน

ตารางที่ 2 การเปิด-ปิดวาล์วตามสภาพการใช้น้ำเย็น

น้ำเย็นสู่แผงเย็นจาก	สถานภาพของวาล์ว			
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
หล่อเย็น	O	O	O	O
ถังเก็บน้ำเย็น	C	C	O	O

หมายเหตุ "O" = Open, "C" = Closed



รูปที่ 4 วงจรจ่ายน้ำเย็นให้แก่แผงเย็น

5. สรุปและวิเคราะห์ผล

การจำลองการใช้แผงเย็นให้ความเย็นภายในอาคาร จะพิจารณาเฉพาะช่วงเวลากลางคืนและช่วงเช้าของห้องนั่งเล่นเวลา 01.00-08.00 พบว่าวันที่อากาศร้อนที่สุดคือวันในฤดูร้อนที่อากาศร้อนและแห้ง (วันที่ 12 มีนาคม) ดังแสดงในตารางที่ 3

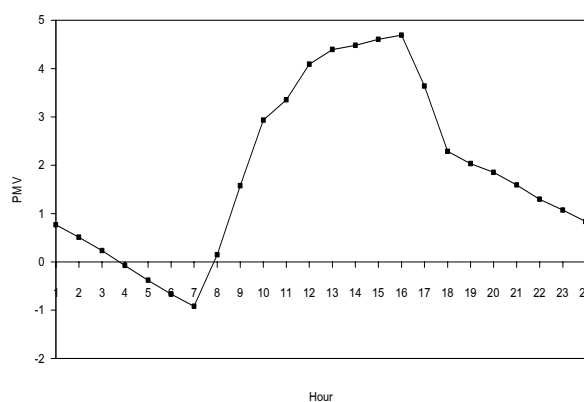
ในช่วงเวลาที่ศึกษาดังกล่าวอุณหภูมิยังอยู่ในสภาพไม่สูง ดังนั้นช่วงที่ต้องการใช้แผงเย็นคือระหว่าง 01.00 และ 08.00 รวมเวลาเป็นประมาณ 7 ชม.ในวันอื่นช่วงเวลาที่ต้องการน่าจะน้อยกว่านี้ หากพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์ (RH) จากตาราง 3 จะพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วงหัวค่ำ(19.00-24.00) จะต่ำกว่าช่วงเช้า(0.00-06.00) ดังนั้นถ้าหากใช้หอผึ่งเย็นทำน้ำเย็นในช่วงนี้และเก็บไว้ใช้น่าจะได้ น้ำที่เย็นกว่าที่จะทำได้โดยใช้หอผึ่งเย็นทำน้ำเย็นในช่วงกลางวัน และพิจารณาอุณหภูมิน้ำค้าง (T_{dew}) จะพบว่าอุณหภูมิน้ำค้างที่สูงที่สุดคือ 24 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากใช้หอผึ่งเย็นทำน้ำเย็นซึ่งจะได้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_w) จะพบว่าอุณหภูมิน้ำเย็นดังกล่าวไม่ทำให้อากาศกลั่นตัว (ที่อุณหภูมิน้ำค้าง) ที่แผงเย็นได้

ตารางที่ 3 สภาพอากาศวันในช่วงอากาศร้อนและแห้ง (12 มีนาคม)

Hour	T _{amb} (°C)	RH (%)	T _w °C	T _{dew} °C
0	26.89	84.08	24.74	23.97
1	26.66	85.56	24.72	24.04
2	26.32	87.23	24.63	24.03
3	25.94	88.94	24.49	23.98
4	25.39	91.57	24.31	23.92
5	24.83	92.9	23.93	23.60
6	23.58	94	22.84	22.56
7	23.7	94.81	23.06	22.82
8	26.33	73.55	22.69	21.24
9	29.57	45.16	20.73	16.47
10	32.06	33.95	20.34	14.24
11	33.54	27.61	19.94	12.35
12	34.45	26.47	20.29	12.48
13	35.83	24.01	20.60	12.16
14	37.29	23.56	21.47	13.09
15	38.33	20.4	21.26	11.75
16	38.04	20.42	21.07	11.53
17	36.95	20.33	20.33	10.58
18	33.69	28.55	20.27	12.99
19	29	40.68	19.42	14.33
20	28.44	45.34	19.86	15.51
21	28.23	52.62	21.00	17.65
22	27.53	56.94	21.15	18.26
23	26.78	61.26	21.21	18.72

5.1 ผลของค่าคาดคะเนกับเวลา

กราฟแสดงค่า PMV กับเวลาช่วง 01.00-24.00 ของวันที่ 12 มีนาคม ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การคำนวณค่า PMV จากการจำลองโปรแกรม EnergyPlus

ค่า PMV ได้จากการคำนวณโปรแกรม EnergyPlus โดยการแทนค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที พบว่า PMV ในช่วงเวลา 01.00-08.30 ที่ได้จะมีค่าสูงกว่า 0.5 เล็กน้อยซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และหลังจากนั้นจะมีค่าต่ำกว่า 0.5 หากมีการเพิ่มความเร็วมพบว่าจะสามารถใช้งานแผงเย็นได้ในช่วงเวลาที่นานขึ้นแต่ยังคงอยู่ในสภาวะความสบาย

จากการศึกษา โดยการใช้แผงเย็นที่มีน้ำเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าสามารถที่จะให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง แต่ จะไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่จะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ และสามารถใช้ทดแทนการใช้เครื่องปรับอากาศ การประเมินสภาวะสบายพบว่าค่า PMV อยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดความสบาย อย่างไรก็ตามพบว่าบางช่วงของสภาวะอากาศแผงเย็นจะมีขนาดเล็กเปรียบเทียบกับปริมาณภาระความเย็นที่จะต้องใช้ จึงมีการเลือกใช้งานเฉพาะช่วงเวลาตามรายละเอียดการจำลองโปรแกรม

กิตติกรรมประกาศ

คณะทำงานขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mumma, S.A, "Ceiling Panel Cooling Systems", ASHRAE Journal, November 2001, pp. 28-32.
- [2] Helmut, E. and Corina, S, "Hydronic Radiant Cooling-Preliminary Assessment", Energy and Buildings, Vol. 22, 1995, pp. 193-205.
- [3] Rattanachai Ratsamewesarat, "A study on radiant cooling and thermal comfort in a tropical climate", Master Thesis, Asian Institute of Technology, AIT Thesis No. ET-98-12, 1998.
- [4] Prapapong Vangtook and Surapong Chirarattananon, "An Experimental Investigation of Application of Radiant Cooling in Hot Humid Climate", submitted to Energy and Buildings, November 2004.
- [5] Koichi, K., Noriko, K., Hiroko, H., and Shin-ichi, T, "Effect of Humidity and Small Air Movement on Thermal Comfort under a Radiant Cooling Ceiling by Subjective Experiments", Energy and Buildings, Vol. 30, 1999, pp. 185-193.
- [6] Alamdari, F., Butler, D. J, Grigg, P. F. and Shaw, M. R., "Chilled ceilings and displacement ventilation", Renewable Energy, Vol. 15, 1998, pp. 300-305.
- [7] Carpenter, S.C., and Kokko, J.P, "Radiant Heating and Cooling, Displacement Ventilation with Heat Recovery and Storm Water Cooling: An environmentally Responsible HVAC System", ASHRAE Transactions, Vol. 104, No. 2, 1998, pp. 1321-1326.
- [8] Simmonds, P, "Practical Applications of Radiant Heating and Cooling to Maintain Comfort Conditions", ASHRAE Transactions, Vol. 1, 1996, pp. 659-666.
- [9] Auliciems, A, "Towards a Psycho Physiological Model of Thermal Perception", International of Biometeorology, Vol. 25, 1981, pp. 109-122.
- [10] Szokolay, S.V, Environmental Science Handbook, Longman/Construction Pres, Wiley/Hasted Press, 1980.
- [11] Bush, J.F, "A Table of Two Population; Thermal Comfort in Air-Conditioned and in Naturally Ventilated offices in Thailand", Energy and Buildings, Vol. 18, 1990, pp.235-249.
- [12] Fanger. P. O, Thermal Comfort. Mcgraw-Hill, New York, 1972.
- [13] Fanger, P.O., L. Banhidi, B.W. Olesen, and G. Langkilde, "Comfort limits for heated ceilings", ASHRAE Transactions, Vol. 86, 1980, pp. 289-295.
- [14] BS EN ISO 7730, "Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the condition for Thermal Comfort", International Standards Organization, Geneva, 1995.