

อิทธิพลของแสงอาทิตย์ที่มีต่อการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีจากพื้น

Effect of Direct Sunshine on Radiant Floor Cooling

อุรุพงษ์ ลัทธิสุงเนิน¹ จินดา เจริญพรพาณิชย์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: nut_kmitl@yahoo.com¹ kchchind@kmitl.ac.th²

Ururong Latthisoongnern¹ Chinda Charoenphonphanich

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Ladkrabang

Chalongkrung Rd. Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand

Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198 E-mail: nut_kmitl@yahoo.com¹ kchchind@kmitl.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการทำความเย็นและข้อจำกัดของระบบทำความเย็นโดยการแผ่รังสีจากพื้น (RFC) เมื่อพื้นห้องต้องรับแสงอาทิตย์โดยตรง โดยผลที่ได้จากห้องทดลองซึ่งจำลองระบบการทำความเย็นภายในอาคารขนาดใหญ่จะแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้น รวมทั้งแสดงถึงความสามารถในการทำความเย็นของระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบมีความสามารถในการทำความเย็นประมาณ 43 W/m^2 และโดยเฉพาะในกรณีที่พื้นห้องได้รับการแผ่รังสีจากแสงแดดที่ตกกระทบบ ระบบจะมีความสามารถในการทำความเย็นสูงขึ้นและมีค่าสูงสุดประมาณ 135 W/m^2 ข้อจำกัดของระบบคือการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่พื้นห้อง ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้การควบคุมอุณหภูมิน้ำในระบบ RFC ร่วมกับขบวนการลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นซึ่งก็คือระบบ Fan Coil ที่ใช้ควบคุมอากาศเย็นที่จะเข้าห้อง

Abstract

This research aim to study the cooling capacity and limitations of radiant floor cooling (RFC) in case of the floor receive the direct sunshine. The results from the test room shows variation of temperature and humidity. The cooling capacity of the system is about 43 W/m^2 . On the contrary, in case of the floor receive a lot of direct sunshine, the cooling capacity is significantly higher and the maximum cooling capacity of this system is about 135 W/m^2 . In addition, the limitation of this system is the risk of condensation on the floor, which can be avoid by control the water supply temperature and dehumidifying the supply air by using cooling coil.

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีได้รับความนิยมใช้กันมากขึ้นเนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศได้ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานเนื่องจากขนาดของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้เล็กลงเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศอื่นๆที่ภาระทำความเย็นเท่ากัน [1] รวมทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเนื่องจากลักษณะเฉพาะของระบบ RFC เป็นระบบปิด แต่ในการทำงานจะเป็นลักษณะของระบบผสม เนื่องจากระบบแผ่รังสีนี้ไม่สามารถควบคุมความชื้นในอากาศหรือความร้อนแฝง (Latent Heat) ได้ จึงต้องทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศที่ใช้การเป่าลมเย็นเพื่อการปรับอากาศ (Fan Coil Unit) ซึ่งใช้ในการควบคุมความชื้นภายในห้อง

ระบบทำความเย็นโดยการแผ่รังสีที่พื้น (Radiant Floor Cooling, RFC) จะใช้การฝังท่อน้ำเย็นไว้ใต้พื้นและมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 1. กล่าวคือระบบจะทำงานโดยใช้น้ำจากเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ซึ่งจะส่งน้ำเย็นเข้าระบบคอยล์เย็นของชุด Fan Coil และเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในระบบ RFC งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเมื่อพื้นห้องได้รับการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบโดยตรงในปริมาณต่างๆกัน ซึ่งการส่งผ่านภาระจากดวงอาทิตย์จะใช้กลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยความร้อนที่ส่งมาอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ซึ่งมีผลกระทบต่ออุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิพื้น อุณหภูมิผนังและความชื้น ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่วัดได้จากห้องทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์และคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นของระบบ รวมทั้งทำการศึกษเกี่ยวกับการควบคุมที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่พื้นห้อง

2. หลักการความสบาย

การถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายจะขึ้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิของร่างกายกับสิ่งแวดล้อม ครึ่งหนึ่งของความร้อนที่ออกจาก

ร่างกายจะถูกปล่อยออกโดยการหายใจในรูปของความร้อนแฝง ขณะที่อีกครึ่งหนึ่งจะถูกปล่อยออกโดยกลไกการ พาและการแผ่รังสีในรูปของความร้อนสัมผัส ถ้าเราพักผ่อนหรือทำงานในสำนักงานความร้อนส่วนใหญ่ (ประมาณ 70%) จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนสัมผัส แต่ถ้าเราทำงานหนักความร้อนส่วนใหญ่ (ประมาณ 60%) จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนแฝง ร่างกายจะช่วยในการกำจัดความร้อนโดยการขับเหงื่อออกมา ซึ่งในขณะที่เหงื่อเกิดการระเหย เหงื่อจะดูดความร้อนออกจากร่างกายและทำให้ร่างกายเย็นลง แต่การระเหยความร้อนตัวเหงื่อจะไม่มีผลใดๆ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะแวดล้อมมีค่าใกล้เคียง 100% อีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของคนคือการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างร่างกายกับพื้นผิวที่อยู่รอบๆ เช่นผนังและหน้าต่าง

ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของร่างกายของมนุษย์คือ เสื้อผ้าที่สวมใส่ ระดับของกิจกรรม อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศ อุณหภูมิอากาศภายในห้องจะเป็นเครื่องบ่งชี้ที่สำคัญที่สุดของความรู้สึกสบาย คนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายถ้าอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 22-27°C ความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลต่อปริมาณของความร้อนของร่างกายที่จะสามารถระบายออกได้โดยการระเหย ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการวัดความสามารถของอากาศในการรับความชื้น กล่าวคือถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ก็จะมีผลทำให้การคายความร้อนออกจากร่างกายโดยการระเหยเกิดขึ้นช้าลง แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ก็จะมีผลทำให้การคายความร้อนเกิดขึ้นเร็วขึ้น ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 30-70%RH การเคลื่อนที่ของอากาศก็มีความสำคัญต่อความรู้สึกที่สบายของคนเรา ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นการเพิ่มการคายความร้อนออกโดยกลไกทั้งการพาและการระเหย การเคลื่อนที่ของอากาศควรจะมีแรงพอที่จะกำจัดความร้อนและความชื้นออกจากบริเวณร่างกาย แต่ก็ไม่ควรที่จะรุนแรงเกินไป การเคลื่อนที่ของอากาศที่ความเร็วสูงมากเกินไป จะทำให้ร่างกายรู้สึกไม่สบาย ดังนั้นเพื่อความรู้สึกความเร็วนៃอากาศควรมีค่าประมาณ 0.1-0.3 m/s

นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของคนคือ อุณหภูมิพื้นผิวซึ่งไม่ควรสูงหรือต่ำจนเกินไป โดยตามมาตรฐานสากล (ASHRAE 1992; ISO 1994) ควรอยู่ในช่วง 18-19 °C ซึ่งจะถือเป็นลักษณะของระบบ RFC [2]

3. การคำนวณ

ความสามารถในการทำความเย็นของระบบ RFC จะขึ้นกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวพื้นและอากาศภายในห้อง ซึ่งจากผลการทดลองของ Michel and Isoardi [2] พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างผิวพื้นและห้องของระบบทำความเย็นที่พื้นซึ่งวัดค่าได้ มีค่าประมาณ 7 W/m²·°C ซึ่งแบ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีประมาณ 5.5 W/m²·°C และเป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนประมาณ 1.5 W/m²·°C ดังนั้นในการคำนวณจะสามารถหาความสามารถในการทำความเย็นของพื้นได้จากสมการ

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{solar} + h(T_{space} - T_{surface}) \quad (1)$$

โดยที่

$\dot{Q}$ คือความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity), W/m²

$\dot{Q}_{solar}$ คือความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์, W/m²

h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, W/m²·°C

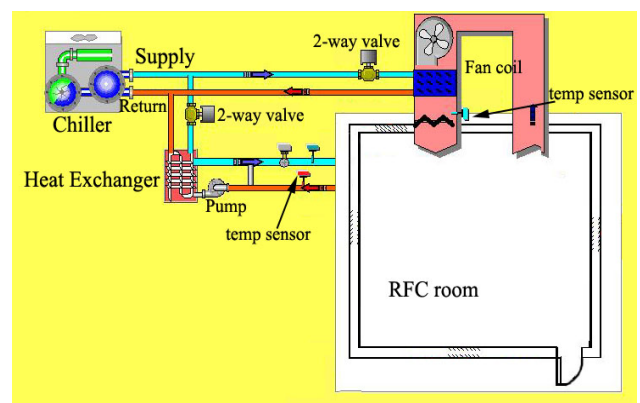
T_{space} คืออุณหภูมิห้อง, °C

$T_{surface}$ คืออุณหภูมิผิวพื้น, °C

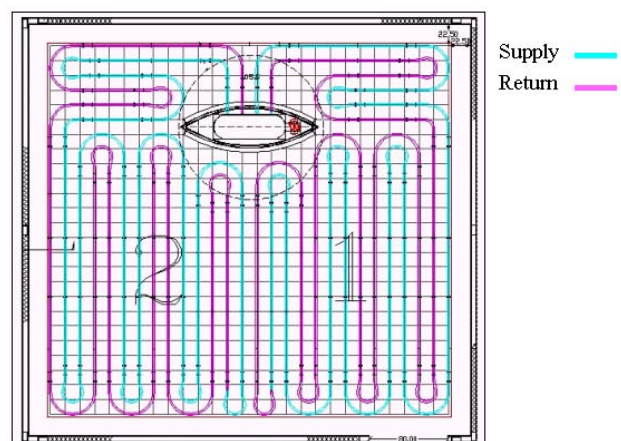
4. อุปกรณ์และการทดลอง

4.1 ห้องทดลอง

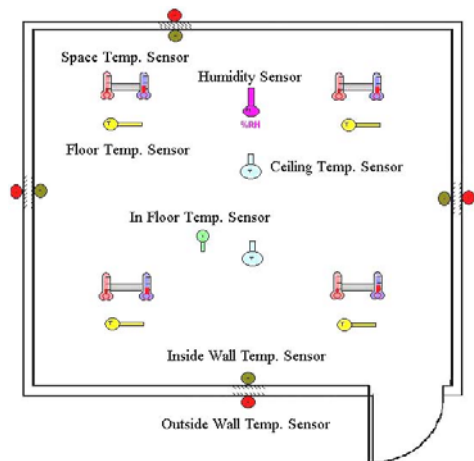
ห้องทดลองเป็นการจำลองระบบการทำความเย็นภายในอาคารขนาดใหญ่ซึ่งได้รับการออกแบบให้พื้นของห้องต้องรับแสงอาทิตย์โดยตรง โดยมีขนาดความกว้างประมาณ 4.5 เมตร ยาว 4.3 เมตร และสูงประมาณ 2.7 เมตร มีพื้นที่ในการทำความเย็นประมาณ 19.8 ตารางเมตร ประกอบด้วยหลังคากระจก ท่อน้ำ 2 ชุด และชุด Fan Coil รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในและภายนอกห้องดังรูปที่ 1-4.



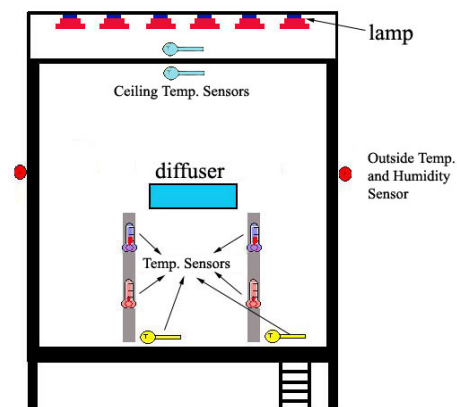
รูปที่ 1. แผนผังแสดงการทำงานของระบบ RFC



รูปที่ 2 แสดงลักษณะการวางท่อน้ำใต้พื้นห้องทดสอบ



รูปที่ 3 แผนผังแสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์ต่างๆ(Top View)



รูปที่ 4 แผนผังแสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์และโคมไฟ (Front View)

สำหรับภาระจากแสงอาทิตย์จะใช้การจำลองการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วยแสงเทียมดังรูป 4. เพื่อให้เกิดภาระในปริมาณและรูปแบบต่างๆกันในการทดลองตามกรณีที่น่าสนใจ

4.2 การทดลอง

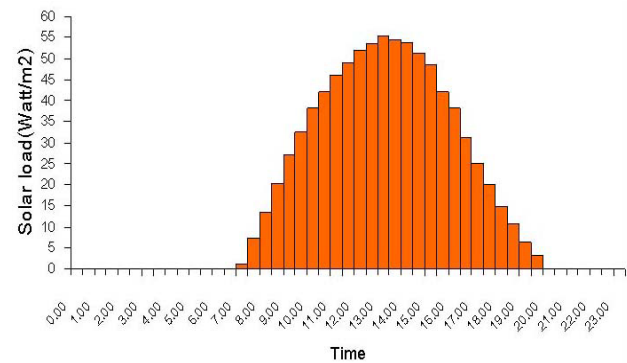
การทดลองในขั้นต้นจะมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการคือเพื่อหาผลกระทบของแสงอาทิตย์ที่มีต่อระบบซึ่งจะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องรวมทั้งค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบ และประการที่สองคือหาวิธีการควบคุมเพื่อหลีกเลี่ยงการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่พื้นโดยให้มีความเหมาะสมในด้านการใช้พลังงานมากที่สุดซึ่งต้องทำการทดลองควบคู่กันไป โดยในการทดลองจะแบ่งเป็นสองกรณีดังนี้ กรณีแรกจะทำการทดลองโดยใช้การจำลองการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วยแสงเทียมในปริมาณต่างๆกันเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลอง ทั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น แล้วคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นของระบบ โดยกำหนดเงื่อนไขภายในห้องให้มีสภาวะตามหลักความสบาย กล่าวคือกำหนดให้อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิประมาณ 24°C อุณหภูมิพื้นต้องไม่ต่ำกว่า 19°C ความเร็วของอากาศอยู่ในช่วง 0.1-0.3 m/s และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 55%RH และกรณีที่สองเพื่อหาค่าความสามารถในการทำความเย็นสูงสุดของระบบ โดยให้พื้นห้องได้รับภาระจากแสงในปริมาณต่างๆกันจนกระทั่งอุณหภูมิพื้นเท่ากับกับอุณหภูมิห้องที่ 24°C ซึ่งผลที่ได้จะแสดงถึงความสามารถใน

การทำความเย็นสูงสุดของพื้น (ระบบRFC) หรือภาระสูงสุดที่ระบบจะรับได้นั่นเอง

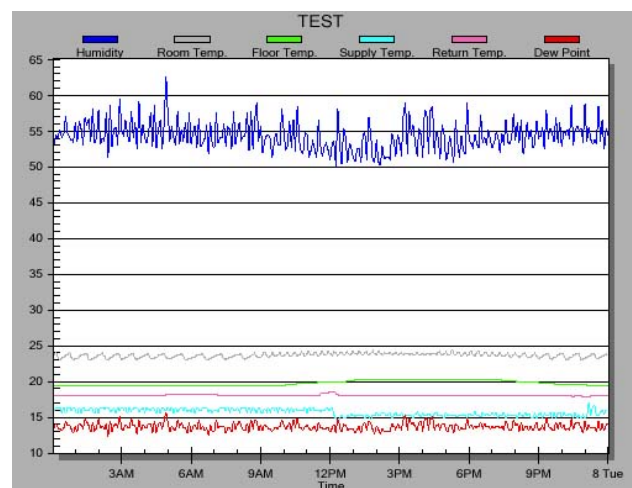
6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.1 ผลการทดลอง

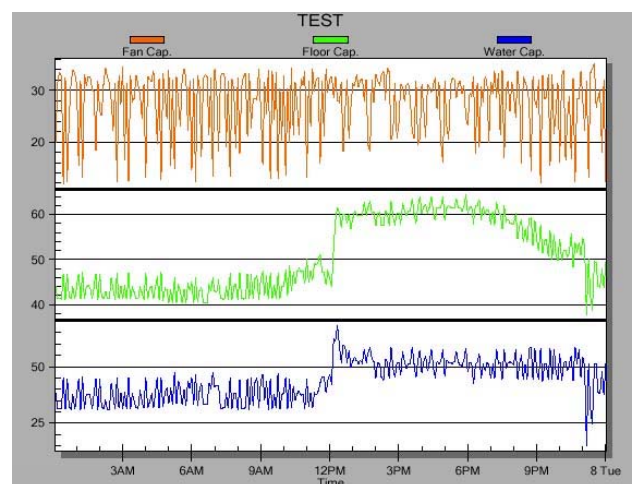
ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองเพื่อการควบคุมสภาวะภายในห้องให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยที่พื้นห้องได้รับการภาระจากแสงอาทิตย์เทียมตามรูปแบบที่กำหนด ดังรูปที่ 5. ได้ผลดังนี้



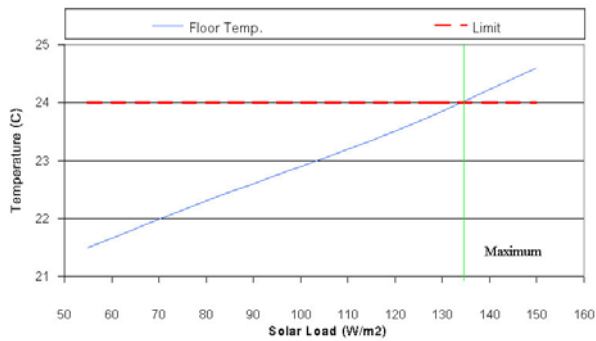
รูปที่ 5. รูปแบบของภาระจากแสงจำลองตลอดวัน



รูปที่ 6. ผลการทดลอง



รูปที่ 7. ความสามารถในการทำความเย็นของระบบ



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสามารถในการทำควมเย็นสูงสุดของพื้น

6.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ ดังรูปที่ 6 และ 7 เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (ไม่มีภาระจากแสงอาทิตย์) ห้องทดลองมีสภาวะคงที่ตามที่ออกแบบไว้ กล่าวคือภายในห้องทดลองจะมีอุณหภูมิประมาณ 24°C ที่พื้นของห้องจะมีอุณหภูมิใกล้เคียง 19°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 55%RH ต่อมาเมื่อห้องได้รับภาระจากแสงอาทิตย์ตามรูปแบบที่กำหนด อุณหภูมิห้องค่อนข้างที่จะคงที่ที่ประมาณ 24°C ในขณะที่พื้นห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของภาระจากแสงอาทิตย์ ซึ่งพื้นจะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 20.5°C และเมื่อพิจารณาที่ค่าสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงจะพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นจะช้ากว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้อง และการเพิ่มขึ้นของภาระจากแสงอาทิตย์ประมาณ 1 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อได้รับภาระจากแสง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องโดยใช้คอยล์เย็น

ความสามารถในการทำควมเย็นของพื้นเมื่อไม่มีภาระจากแสงอาทิตย์จะมีค่าประมาณ 43 W/m² และจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงสุดประมาณ 60 W/m² ตามการเพิ่มขึ้นของภาระจากแสงอาทิตย์

ตลอดช่วงเวลากการทดลองสามารถควบคุมอุณหภูมิหยตน้ำให้คงที่ได้ที่ประมาณ 14 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นมาก ดังนั้นจึงไม่เกิดการควบแน่นเป็นหยตน้ำที่พื้นห้องตลอดการทดลอง

สำหรับผลการทดลองเพื่อหาความสามารถในการทำควมเย็นสูงสุดของพื้น ดังรูปที่ 8 พบว่าพื้นห้องจะมีความสามารถในการทำควมเย็นเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นต้องรับภาระจากแสงอาทิตย์ ซึ่งสำหรับห้องทดลองนี้ความสามารถในการทำควมเย็นสูงสุดของพื้นมีค่าประมาณ 135 W/m²

7. สรุป

ระบบทำควมเย็นโดยการแผ่รังสีจากพื้นมีความสามารถในการทำควมเย็นประมาณ 43 W/m² และในกรณีที่พื้นห้องได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงระบบจะมีความสามารถในการทำควมเย็นสูงขึ้นมาก ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสำหรับอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องการการปรับอากาศตลอดเวลาเช่นฟิฟท์สโตร์ โชว์รูมหรือสนามบิน เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การปรับอากาศด้วยระบบ RFC ทำงานด้วยประสิทธิภาพสูงและประหยัดการใช้พลังงานมากที่สุด

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทจาร์ดีน แมททีสัน (ประเทศไทย) จำกัด ผู้ให้ความอนุเคราะห์ห้องทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Helmut Feustel. "Hydronic Radiant Cooling Systems", CBS Newsletter, 1994, pg.4
- [2] Olesen, B.W. "Possibility and limitations of Radiant Floor Cooling", ASHRAE Transactions, 1997, pp.103
- [3] Olesen, B.W. and Michel E. "Heat Exchange Coefficient Between Floor Surface and Space by Floor Cooling Theory or a Question of Diffinition" ASHRAE Transaction, 2000, pp.684
- [4] Richard D. Watson and Kirby S. Chapman, "Radiant Heating&Cooling Handbook", McGrawHill, 2002
- [5] Thomas H. Kuehn, James W. Ramsey and James L. Threlkeld, "Thermal Envirinmental Engineering 3rd", Prentice Hall, 1998