

ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบประหยัด เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปรับอากาศ

A Low Cost Heat Pipe for Reducing Relative Humidity in Air Conditioning System.



รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2218-6622, 0-1821-2183 โทรสาร 0-2252-2889, 0-2693-6754
E-Mail: richakorn@yahoo.com หรือ richakorn.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เกี่ยวกับการวิจัยท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศ ในการลดความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปรับอากาศ เป็นการทบทวนและวิจัยเพิ่มเติม จากเอกสารอ้างอิง (8.1) และ (8.2) ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศก่อนเข้า และหลังออกจากคอยล์ทำความเย็น (เครื่องระเหย) ของเครื่องปรับอากาศ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้เป็นท่อทองแดงมีครีบอลูมิเนียม มีลักษณะเหมือนคอยล์ทำความเย็นหรือคอนเดนเซอร์คอยล์ของเครื่องปรับอากาศ ประกอบด้วยคอยล์ส่วนระเหย และคอยล์ส่วนควบแน่น ซึ่งคอยล์แต่ละส่วนต่างก็มีพื้นที่ด้านหน้าและความถี่ของจำนวนครีบอลูมิเนียมเท่ากับของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทดลอง ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 14 kW (48,000 Btu/hr) ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะมี 4 แบบคือ 1 แถว, 2 แถว, 3 แถว และ 4 แถว สารทำงานที่ใช้คือ R-22 คอยล์แบบที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศนี้ได้พัฒนามานานประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงมากอยู่แล้ว มีโรงงานภายในประเทศจำนวนมากที่สามารถผลิตได้ ราคาจึงประหยัดมาก สำหรับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่สั่งจากต่างประเทศจะมีการใส่ไส้ (Wick) เข้าไปภายในท่อทำให้ยุ่งยากและราคาแพงมาก

ผลการวิจัยซ้ำเพื่อทบทวนพบว่าใกล้เคียงกับของเดิม คือสามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนจำนวนมากกลับคืนสู่ห้องปรับอากาศ โดยความร้อนเฉลี่ยที่ถ่ายเทได้ประมาณ 2.3, 2.9, 3.4 และ 4.6 kW สำหรับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 1, 2, 3 และ 4 แถวตามลำดับ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนและชื้นมาก การใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 และ 4 แถว จะมีความเหมาะสมที่สุด

ผลวิจัยเพิ่มเติม ด้านการวางมุมเอียงลาดเพื่อให้ของเหลวจากคอยล์ส่วนควบแน่นไหลไปยังคอยล์ส่วนระเหยอย่างน้อย 11.7 องศา หรือเอียงลาด 21 ต่อ 100 มุมเอียงลาดที่มากกว่านี้ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

Abstract

This article describes the research on Heat Pipe in reducing a relative humidity in an air conditioning room. The research was a review and extension of the researches in reference (8.1) and (8.2). Heat pipe is a heat exchanger to exchange heat between leaving and entering air of a cooling coil (evaporator). Finned coil heat pipe used in the research consisted of an evaporating coil and a condensing coil filled with R22 refrigerant. Each coil had a fins spacing and face area the same as the cooling coil with only a minor difference in circuiting. The research used 14 kW (48,800 Btu/h) split type air conditioner as a model. Its cooling coil was incorporated with the heat pipe coil with various rows deep. The numbers of rows were 1, 2, 3 and 4. The reasons of using finned coil air conditioner type for heat pipe are the coil has been developed for a long time with a very good heat transfer efficiency and there are a lot of local manufacturers can produce with a very economical price. The imported heat pipes with some wicks inside are complicated and expensive.

The repeated research resulted in nearly the same average heat reclaims they were 2.3, 2.9, 3.4 and 4.6 kW by 1, 2, 3 and 4 rows deep heat pipe respectively. In hot and humid country usually the 3 or 4 rows deep heat pipe would be suitable.

The research also indicated that the minimum slope required for the liquid to flow

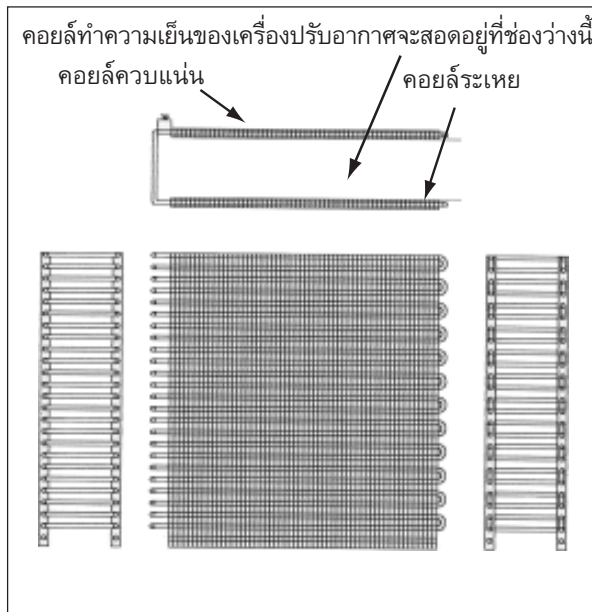
from condensing coil to evaporating coil was 21 to 100 or 11.7 degree inclination. The steeper slope had no effect on the performance.

1. บทนำ

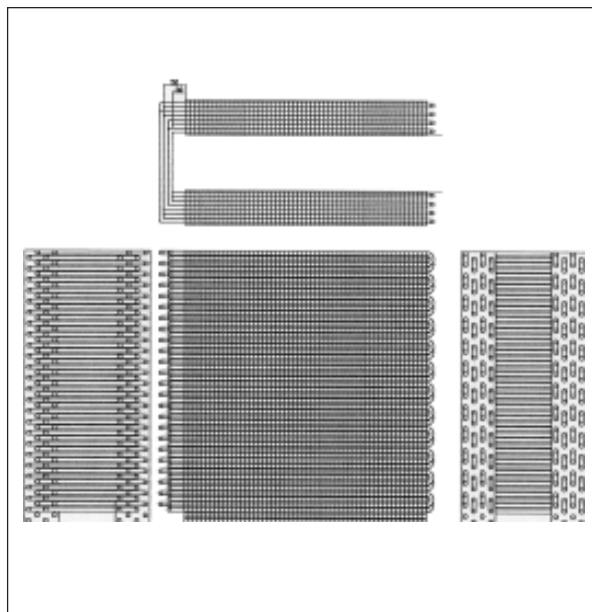
ในประเทศไทยที่มีภูมิอากาศร้อนและชื้นเช่นประเทศไทย โรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากไม่น้อยที่ต้องควบคุมทั้งอุณหภูมิและควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ นอกจากจะต้องใช้เครื่องปรับอากาศแล้วจำเป็นต้องใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าหรือสารดูดความชื้น การใช้สารดูดความชื้นก็ตาม จำเป็นต้องใช้ลมร้อนจากฮีทเตอร์หรืออากาศความดันสูงเพื่อฟื้นฟูสภาพสารดูดความชื้น ซึ่งก็คือต้องใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงหรือทางอ้อม ในขณะที่เดียวกันสารดูดความชื้นก็จะคายความร้อนเข้าห้องซึ่งก็จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องปรับอากาศ การใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะประหยัดพลังงานได้มาก

2. ลักษณะของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยวงจรรสารทำความเย็นเล็กๆ หลายๆ วงจร แต่ละวงจรประกอบด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 mm (3/8"OD) ในแนวนอนสองท่อเป็นส่วนระเหย โดยต่อปลายหนึ่งเข้าด้วยกันด้วยข้อโค้ง (U-bend) และท่อทองแดงอีกสองท่อทำเช่นเดียวกันเป็นส่วนควบแน่น ส่วนปลายทั้งสองของแต่ละส่วนต่อเข้าหากันเป็นวงจรรปิด โดยทุกวงจรทำในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นแบบ 1 แถว ส่วนรูปที่ 2 เป็นแบบ 4 แถว ซึ่งต่างก็แสดงให้ดูเพียง 12 วงจร ระยะห่างของครีบอลูมิเนียม 1.81 mm. (14 ครีบ/นิ้ว)



รูปที่ 1 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 1 แถว



รูปที่ 2 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 4 แถว

ในการติดตั้ง ต้องให้คอยล์ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ สอดอยู่ระหว่างคอยล์ควบแน่นและคอยล์ระเหย ในวงจรเดียวกัน ต้องวางให้คอยล์ส่วนควบแน่นอยู่สูงกว่าคอยล์ส่วนระเหยเสมอ โดยมีมุมเทลาดอย่างน้อย 11.7 องศา เพื่ออาศัยแรงโน้มถ่วงทำให้ของเหลวไหลกลับมาโดยไม่ต้องมีไส้ (Wick) หรือสิ่งใดๆ ซึ่งทำให้ราคาประหยัดมาก

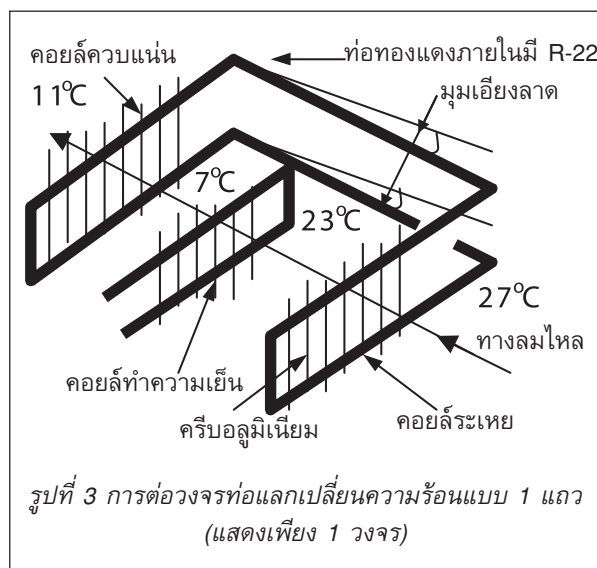
การบำรุงรักษาก็น้อย การเติมสารทำความเย็นอาร์ 22 ในแต่ละวงจร เติมให้มีส่วนที่เป็นของเหลวประมาณ 1/4 ของวงจร

การออกแบบในลักษณะนี้ ทำให้สามารถดึงท่อแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากเครื่องปรับอากาศมาทำความสะอาดได้ง่าย

3. หลักการทำงาน

ดังแสดงในรูปที่ 3 ลมกลับซึ่งมีอุณหภูมิสูง (27°C) ก่อนที่จะกลับเข้าคอยล์ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ จะผ่านคอยล์ระเหยซึ่งภายในมีของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความร้อนจะถ่ายออกจากลมกลับทำให้อุณหภูมิลดลง (23°C) ของเหลวภายในท่อจะกลายเป็นไอลอยขึ้นไปยังคอยล์ควบแน่น

ซึ่งอยู่สูงกว่า ลมเย็นที่ออกจากคอยล์ทำความเย็นซึ่งเย็น (7°C) จะนำความร้อนออกจากไอที่อยู่ภายในคอยล์ควบแน่นเข้าสู่ห้องปรับอากาศ ไอจะกลายเป็นของเหลวไหลด้วยแรงโน้มถ่วงตามมุมเอียงลาดกลับลงมายังคอยล์ระเหยซึ่งอยู่ต่ำกว่า วนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ



4. ผลที่ได้จากการวิจัย

จากการวิจัยซ้ำพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ดังที่กล่าวไว้ในบทความก่อนว่าใกล้เคียงกับที่เคยวิจัยคือประมาณ 2.3, 2.9, 3.6 และ 4.6 kW สำหรับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 1, 2, 3, และ 4 แถวตามลำดับ รายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ประสิทธิภาพท่อแลกเปลี่ยนความร้อน นิยมใช้อุณหภูมิเป็นเกณฑ์คืออัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์อุณหภูมิตกคร่อมที่คอยล์ควบแน่นหรือคอยล์ระเหยต่ออุณหภูมิตกคร่อมสูงสุด ซึ่งประสิทธิภาพเฉลี่ยจะประมาณ 19%, 24%, 29% และ 36% สำหรับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 1, 2, 3, และ 4 แถวตามลำดับ จะเห็นได้ว่าท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 4 แถวประหยัดพลังงานได้ถึง 4.6 kW ซึ่งถ้า

เปรียบเทียบกับต้องใช้ฮีตเตอร์ 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 250 วันต่อปี ก็ประหยัดพลังงานไฟฟ้าถึง 9,200 kW-h หรือประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 23,000 บาทต่อปี ส่วนการลงทุนท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรวมทั้งสารทำความเย็น R-22 ประมาณ 12,000 บาท ซึ่งถ้าสั่งซื้อจำนวนมากๆ เชื่อว่าราคาไม่ควรเกิน 8,000 บาท

การวิจัยที่แสดงในตารางที่ 1 นั้นสำหรับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทุกแบบ มุมเอียงลาดจากคอยล์ควบแน่นมายังคอยล์ระเหยจะเป็นมุมเอียง 35 องศาหรือเอียงลาด 70 ต่อ 100 คงที่ตลอด การวิจัยยังได้ทดลองวางเป็นมุมเอียงลาดต่างๆ โดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 4 แถว ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าการออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

นั้นจะต้องให้ของเหลวไหลจากคอยล์ควบแน่นไปยังคอยล์ระเหยโดยมีมุมเทลาดอย่างน้อย 11.7 องศาหรือเอียงลาด 21 ต่อ 100 อย่างไรก็ตามการวิจัยพบว่ามุมเอียงลาดที่มากกว่านี้ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

5. การประมาณอัตราความร้อนที่ได้

เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดไม่เกิน 35 kW (10 ตัน) ซึ่งมักจะออกแบบให้ลมกลับมีอุณหภูมิประมาณ 25-28°C ความเร็วลมเฉลี่ยผ่านหน้าคอยล์ทำความเย็นอยู่ระหว่าง 2 ถึง 2.3 m/s (400-450 fpm) การใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ผลิตจากท่อทองแดงขนาด 9.5 mm (3/8"OD) แบบมีครีบอลูมิเนียมที่มีระยะห่างระหว่างครีป 1.81 mm หรือ 14 ครีปต่อความยาว 1 นิ้ว ความร้อนที่คืนกลับได้ต่อพื้นที่หน้าตัดของคอยล์ประมาณ 6.5, 8.2, 10.1 และ 12.9 kW/m² สำหรับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 1, 2, 3 และ 4 แถวตามลำดับ ตัวอย่างเช่นเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็นได้ 26 kW (7.5 ตัน) พื้นที่หน้าตัดคอยล์ทำความเย็นมักจะประมาณ 0.7 ตารางเมตร เช่นถ้าใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 แถว ความร้อนที่จะได้คืนกลับประมาณ $10.1 \times 0.7 = 7 \text{ kW}$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากเอกสารอ้างอิง 8.10 และ 8.11

6. บทสรุป

สำหรับประเทศที่มีภูมิอากาศที่ร้อนและชื้นในห้องปรับอากาศที่ต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้ไม่เกิน 50% ซึ่งมักจะต้องใช้ฮีตเตอร์ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยลดขนาดฮีตเตอร์ลงได้มาก จึงประหยัดพลังงานได้มาก ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำงานได้ต้องสามารถทำให้สารทำความเย็นเหลวที่อยู่ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

ในส่วนที่เรียกว่าคอยล์ควบแน่นไหลกลับด้วยแรงโน้มถ่วงมายังส่วนที่เรียกว่าคอยล์ระเหย โดยมุมเอียงลาดต้องไม่น้อยกว่า 11.7 องศา หรือเอียงลาดไม่น้อยกว่า 21 ต่อ 100 สำหรับห้องปรับอากาศทั่วไปมักจะไม่สนใจความชื้นสัมพัทธ์ หรือไม่ต้องใช้ฮีตเตอร์ การใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนอาจจะไม่ได้ช่วยประหยัดพลังงานดังกล่าว แม้ว่าการที่ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงทำให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิห้องขึ้นได้อีกเล็กน้อยซึ่งอาจจะประหยัดพลังงานได้เล็กน้อย แต่เราก็ต้องเสียพลังงานเพิ่มขึ้นที่พัดลมอีกเล็กน้อยเช่นกัน เพื่อชดเชยความเสียหายที่เพิ่ม อันเนื่องมาจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

อย่างไรก็ตามสำหรับห้องปรับอากาศที่ต้องการลดการเกิดเชื้อราอันเนื่องมาจากอากาศชื้น การใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยได้มากทีเดียว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ที่ได้มอบทุนในการวิจัยนี้ บริษัท เทรนประเทศไทย จำกัด ได้มอบทั้งเครื่องปรับอากาศพร้อมการติดตั้งและเข้าสถานที่ทดสอบให้ และบริษัท แครี่เรียร์ ประเทศไทย จำกัด ที่มอบเครื่องปรับอากาศให้เช่นกัน และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อนุญาตให้ใช้ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ

สุดท้ายขอขอบพระคุณบริษัทบีทีไอส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยติดตั้งปรับปรุงทั้งเครื่องปรับอากาศและท่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้สามารถหมุนได้ในมุมต่างๆ เพื่อทดสอบใหม่

8. เอกสารอ้างอิง

- 8.1 กอบชัย แสงสว่าง, “การศึกษาฮีทไปป์เพื่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- 8.2 สาโรช ไหวเคลื่อน, “กรณีศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนในระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2539.
- 8.3 Engineering Sciences Data Item Number 81083, “Heat pipes-performance of two-phases closed thermosyphons”, Engineering Sciences Data Unit, London, 1981.
- 8.4 วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, “การขนส่งถ่ายพลังงานความร้อนโดยการเปลี่ยนวัฏภาค”, วารสาร Technology ฉบับที่ 74, มกราคม-กุมภาพันธ์ 2530, หน้า 50-55.
- 8.5 วันชัย โกมลภมร, “สมรรถนะของฮีทไปป์แบบไหลครบวงจร” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- 8.6 G.P. Peterson, Aa Introduction to Heat Pipes, Modeling, Testing, and Application, Department of Mechanical Engineering, Texas A & M University, Collage Station, Texas.
- 8.7 W.F. Stoecker, *Design of Thermal systems*, 3rd ed. McGraw-Hill, 1989.
- 8.8 ASHRAE 1992 Systems and Equipment Handbook
- 8.9 ASHRAE 2004 HVAC Systems and Equipment
- 8.10 Trane “Cooling and Heating Coils”
- 8.11 Bohn “Air Conditioning Coil, Engineering Manual”
- 8.12 Dunham-Bush “Wave-Fin Chilled water Coils”
- 8.13 York “Free-Flow Coils”
- 8.14 Carrier “Coiling Coil performance”
- 8.15 Westinghouse “Air Handling Units, Cooling and Heating coil Performce.

ตารางที่ 1 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ และอัตราความร้อนคืนกลับ

Table 1 : Various Heat Pipe Rows Deep and Heat Reclaim

Heat Pipe Type	Entering Pre-cool		Leaving Pre-cool		Entering Re-heat		Leaving Re-heat		Pre-cool kW	Reheat kW	Cooling kW
	CDB	%RH.	CDB	%RH.	CDB	%RH.	CDB	%RH.			
1 Row Deep	27.0	47.1	23.1	59.5	6.9	99.9	10.8	76.7	2.3	-2.4	16.2
2 Rows Deep	26.7	47.1	21.9	62.7	6.8	99.9	11.7	71.6	2.9	-3.0	15.2
3 Rows Deep	27.1	47.2	21.1	68.0	6.5	99.9	12.5	67.0	3.6	-3.7	15.6
4 Rows Deep	27.2	47.0	19.5	75.0	5.8	99.9	13.7	58.5	4.6	-4.7	15.4

ตารางที่ 2 มุมเหลาดต่างๆ เพื่อการไหลของของเหลวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และอัตราการถ่ายเทความร้อน

Table 2 : Heat Pipe Inclination Angles for Liquid Flow and The Heat Reclaim

Inclination	Entering Pre-cool		Leaving Pre-cool		Entering Re-heat		Leaving Re-heat		Pre-cool kW	Reheat kW	Cooling kW
	CDB	%RH.	CDB	%RH.	CDB	%RH.	CDB	%RH.			
6.6 Deg	26.7	48.0	25.5	51.5	8.0	99.9	9.0	94.0	0.7	-0.7	16.3
7.9 Deg	26.4	47.0	24.5	52.5	6.3	99.9	8.3	87.0	1.2	-1.2	17.1
9.1 Deg	26.3	46.9	22.0	60.5	6.2	99.9	10.2	77.0	2.6	-2.5	15.7
10.4 Deg	26.5	49.0	22.1	64.0	6.1	99.9	10.7	73.0	2.6	-2.8	16.6
11.7 Deg	26.4	51.0	19.3	78.5	6.0	99.9	13.6	60.0	4.3	-4.6	15.4
14.2 Deg	26.2	49.0	18.9	76.0	5.7	99.9	13.0	61.0	4.5	-4.4	15.0
16.8 Deg	25.9	51.0	18.1	82.0	6.1	99.9	13.9	59.0	4.7	-4.7	14.4
19.4 Deg	26.0	51.0	18.4	81.0	5.5	99.9	12.9	61.0	4.6	-4.5	15.4
21.9 Deg	25.9	50.5	18.3	79.6	6.1	99.9	13.9	59.0	4.7	-4.7	14.2
24.5 Deg	26.4	48.0	18.9	75.5	6.1	99.9	13.9	59.0	4.6	-4.7	14.2
27.1 Deg	25.9	49.3	18.5	77.5	5.6	99.9	13.1	60.0	4.4	-4.5	14.7
29.7 Deg	26.9	49.5	18.9	80.5	6.0	99.9	13.9	59.0	4.8	-4.8	15.5
32.4 Deg	26.8	51.4	19.8	78.0	5.8	99.9	13.3	60.0	4.3	-4.5	16.5
35.0 Deg	27.3	49.0	19.7	77.5	6.1	99.9	13.9	59.0	4.6	-4.7	15.9
37.7 Deg	27.1	47.5	19.5	75.0	5.8	99.9	13.5	59.0	4.6	-4.6	15.6
Average 11.7 to 37.7 Deg									4.6	-4.6	15.2