

ฮักบีม vs. ฮักโปป สำหรับควบคุมความชื้น

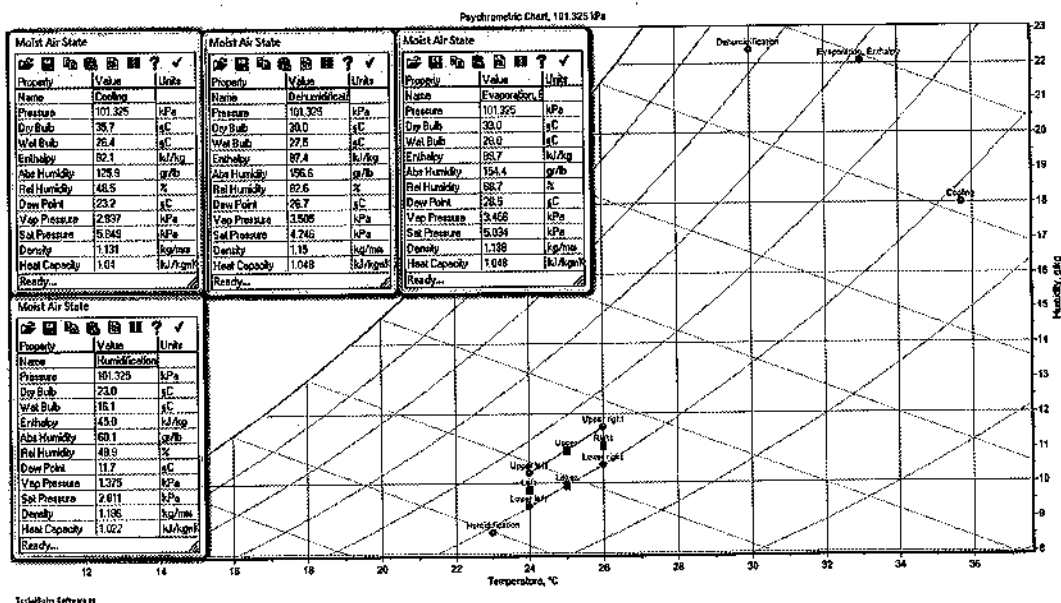
โดย นายปรเมธ ประเสริฐยิ่ง
รท.485

เนื่องจากผู้เขียนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกแบบ จัดหา ประกอบ ติดตั้ง และทดสอบระบบปรับอากาศ ควบคุมความชื้นมาเป็นเวลานานจึงได้รวบรวมประสบการณ์เรื่องการควบคุมความชื้นด้วยเครื่องปรับอากาศที่ใช้ฮักโปป รวมทั้งการใช้ฮักบีมซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ โดยจะอธิบายด้วยการใช้ตัวอย่างเพื่อให้เข้าใจถึงการออกแบบ ข้อจำกัด ข้อดีและข้อเสีย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้ออกแบบ และกำหนดความต้องการของระบบปรับอากาศสำหรับการ เสนอราคาให้เท่าเทียมกัน และสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามต้องการ

ความต้องการและข้อมูลเบื้องต้น

ยกตัวอย่างโรงงานประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีห้องที่ต้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50+5% ห้องนี้อยู่ส่วนในของอาคารจึงไม่มีภาระความร้อนจากอุณหภูมิภายนอก ค่าขนาดเกาะภายในห้องสูงสุด (จากคนงานและกิจกรรม เครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า แสงสว่าง) รวมทั้งสิ้น 150,000 วัตต์ SHF 0.97 ต้องการอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก 30% ภาระความร้อนนี้ลดลงตามการใช้เครื่องจักรจำนวนคนในกะ และอื่นๆ

ความร้อนส่วนที่สำคัญมาจากอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก รูปที่ 1. เป็นแผนภูมิไซโครเมตริกข้อมูลอุณหภูมิของอากาศ ของกรุงเทพฯจาก 2005 ASHRAE Handbook, Fundamental และอุณหภูมิห้องที่ต้องการ



รูปที่ 1. แผนภูมิไซโครเมตริกอุณหภูมิของกรุงเทพฯสำหรับการออกแบบและขอบเขตอุณหภูมิห้องที่ต้องการ

Cooling เป็นอุณหภูมิร้อนสุดที่เกิดขึ้น 0.4% ของอุณหภูมิทั้งหมด ใช้สำหรับคำนวณภาระความร้อนเมื่อห้องอยู่ติดผนังภายนอก แต่ห้องนี้ไม่มีผลจากภายนอก

Dehumidification เป็นอุณหภูมิที่มีความชื้นสูงสุดเกิดขึ้น 0.4% ของอุณหภูมิทั้งหมด ใช้สำหรับตรวจสอบภาระความร้อนและการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ

Evaporation และ Enthalpy เป็นอุณหภูมิเมื่อมีการเหยของน้ำสูงสุดและเมื่อมี Enthalpy สูงสุดที่เกิดขึ้น 0.4% ของอุณหภูมิทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งปรากฏว่าเป็นจุดเดียวกัน ควรใช้สำหรับการคำนวณหาขนาดเครื่องเป่าลมเย็นในกรณีนี้

Humidification เป็นอุณหภูมิเมื่อมีความชื้นต่ำสุดที่เกิดขึ้น 99.6% ของอุณหภูมิทั้งหมด จะเห็นได้ว่ามีความชื้นต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ฉีดไอน้ำเพิ่มความชื้นในฤดูหนาว แต่จะไม่อธิบายในบทความนี้

อุณหภูมิที่ต้องการมีขอบเขตตามรูปที่ 1. ในการออกแบบเครื่องควรใช้ค่าต่ำสุดเพื่อให้เครื่องมีขนาดใหญ่พอแต่เวลาทำงานสามารถตั้งระบบควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ที่จุดใดก็ได้

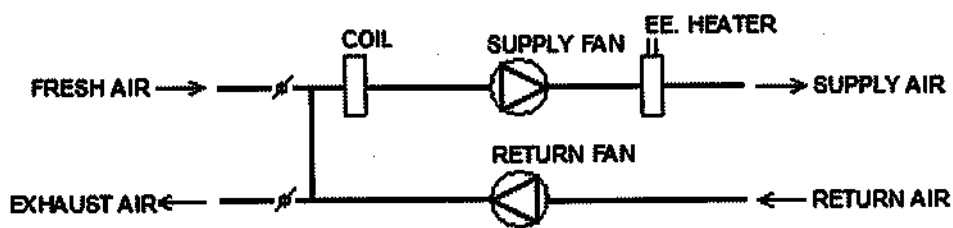
การควบคุมความชื้นเบื้องต้น

การออกแบบระบบปรับอากาศที่เกี่ยวข้องกับอากาศภายนอกอาจเป็นแบบที่มี FAU (Fresh Air Unit) และแบบที่ใช้อากาศบริสุทธิ์ผสมที่เครื่องเป่าลมเย็น FAU

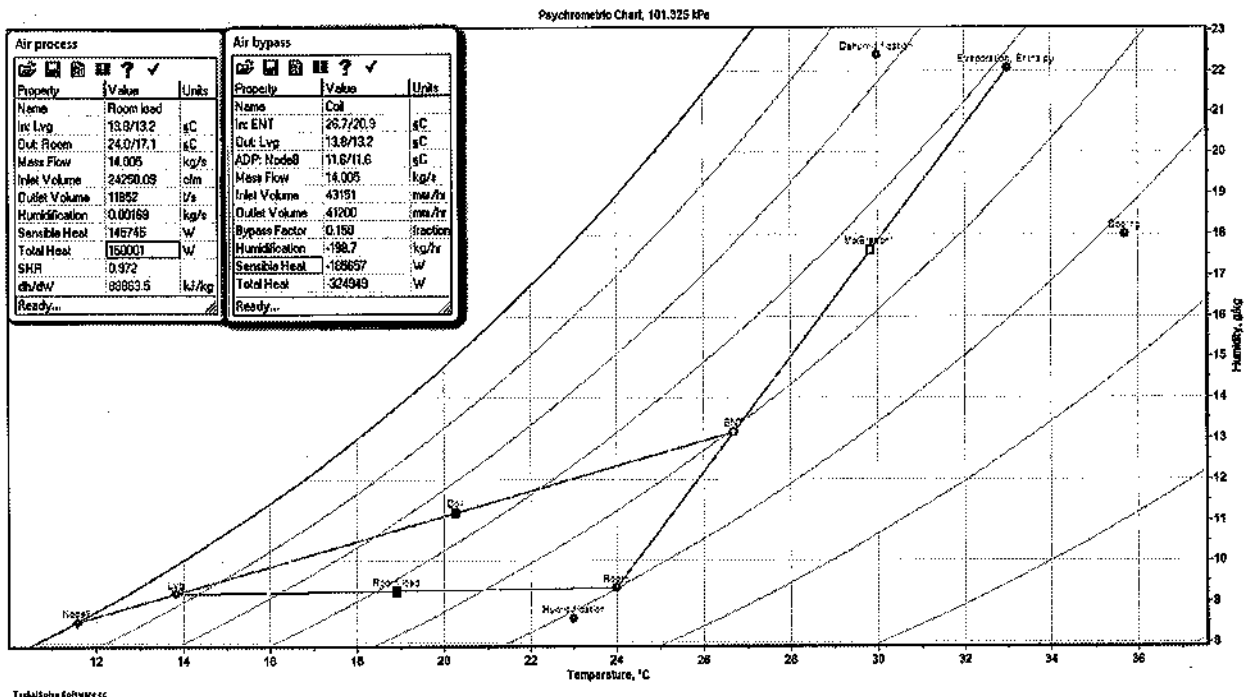
เหมาะสำหรับห้องที่ต้องการอากาศจากภายนอก 100% เช่นห้องปฏิบัติการทางปิโตรเคมีซึ่งต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันของห้อง และในกรณีที่จ่ายลมบริสุทธิ์ให้แผนกย่อยขนาดเล็ก เช่น ห้องพักโรงแรมเพื่อปรับลดความชื้นโดยจ่ายอากาศที่ความชื้นต่ำกว่าอุณหภูมิของแต่ละห้อง

ถ้าจ่ายอากาศบริสุทธิ์ให้เครื่องเป่าลมเย็นขนาดใหญ่ซึ่งแต่ละเครื่องก็ต้องมีระบบควบคุมความชื้นอีกก็เป็นการซ้ำซ้อน ในตัวอย่างนี้จึงใช้วิธีผสมอากาศที่เครื่องเป่าลมเย็นตามรูปที่ 2. ใช้ความชื้นสัมพัทธ์ควบคุมน้ำผ่านคอยล์เย็นและอุณหภูมิห้องควบคุมฮีตเตอร์ไฟฟ้า

เมื่อใช้ข้อมูลตัวอย่างเขียนลงในแผนภูมิไซโครเมตริกตามรูปที่ 3. ที่ภาวะสูงสุดของห้องและอากาศภายนอกสามารถควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นได้โดยไม่ต้องมีฮีตเตอร์ไฟฟ้า เมื่อปล่อยอากาศเย็นเข้าห้อง 24250 CFM ขนาดคอยล์เย็น 325000 W จากรูปจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนระบบควบคุมน้ำเย็นสามารถควบคุมได้ แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงภาระความร้อนภายในห้องลดลงจากอะไรก็ตาม จะทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าที่ต้องการจึงต้องใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าทดแทนภาระความร้อนที่ลดลงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิห้อง ขนาดของฮีตเตอร์ไฟฟ้าจึงต้องเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของภาระความร้อนภายในห้อง ถ้าภาระความร้อนต่ำสุด 30% ฮีตเตอร์ไฟฟ้าควรมีขนาด $150000 \times 0.7 = 105000 \text{ W}$ ค่าไฟฟ้าของฮีตเตอร์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์การทำงาน



รูปที่ 2. เครื่องเป่าลมเย็นขนาดใหญ่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 3. แผนภูมิไซโครเมตริกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ภาระความร้อนของห้องและอากาศภายนอกสูงสุด

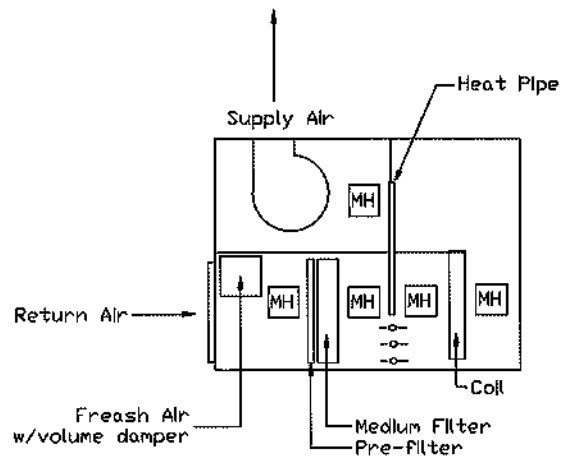
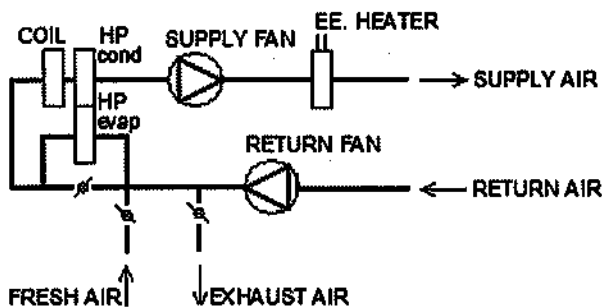
การใช้ฮีทไปป์ควบคุมความชื้น

จากตัวอย่างข้างต้นฮีทไปป์จะติดตั้งเพื่อช่วยลดการทำงานของฮีทเตอร์ไฟฟ้าเมื่อภาระความร้อนของห้องลดลง เนื่องจากฮีทไปป์ทำงานโดยธรรมชาติไม่สามารถควบคุมแรงให้ทำงานได้แต่สามารถใช้วิธีลดปริมาณลมผ่านฮีทไปป์เพื่อลดการทำงานของฮีทไปป์แทนได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านฮีทไปป์ ฮีทไปป์ล่อลมคอยล์เย็นไม่สามารถปรับการทำงานได้จึงไม่ควรอย่างยิ่งที่จะติดตั้ง

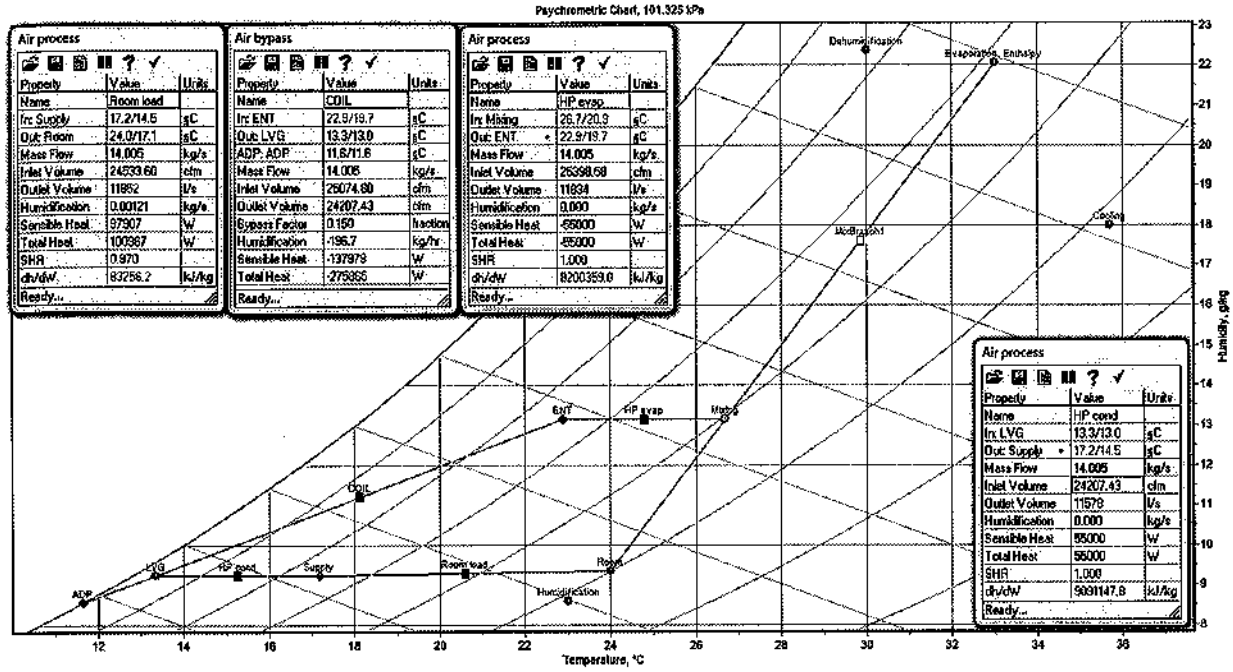
เครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทไปป์ควรเป็นตามรูปที่ 4. เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณลมผ่าน HPevap (ฮีทไปป์อีแวป) ซึ่งจะดึงความร้อนจากอากาศผสมระหว่างลม

กลับและอากาศบริสุทธิ์ (Precooled) ลดภาระของคอยล์เย็นและนำความร้อนมาอุ่นอากาศ (Preheated) ที่ HPcond (ฮีทไปป์คอนเดนเซอร์) ช่วยฮีทเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนจ่ายเข้าห้อง

ประสิทธิภาพของฮีทไปป์ประมาณ 30% ของอุณหภูมิแตกต่าง จากแผนภูมิไซโครเมตริกในรูปที่ 5. ฮีทไปป์สามารถลดภาระคอยล์เย็นได้สูงสุด 55000 W และ ลดฮีทเตอร์ไฟฟ้าได้สูงสุด 55000 W ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าต่ำสุด 75000-55000=20000 W แต่ขนาดฮีทเตอร์ไฟฟ้าควรมีขนาดเท่าเดิมเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้แม้ระบบควบคุมอากาศของฮีทไปป์จะไม่ทำงาน



รูปที่ 4. เครื่องเป่าลมเย็นควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ช่วยลดการทำงานของฮีทเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 5. แผนภูมิไซโครเมตริกเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทปั๊มช่วยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อากาศภายนอกสูงสุด

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใช้เช่นเดียวกับระบบของฮีทเตอร์ไฟฟ้าแต่ต้องเพิ่มระบบควบคุมอากาศผ่านฮีทปั๊มเข้าไปเพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของระบบได้เต็มศักยภาพซึ่งเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิอากาศภายนอกและการเปลี่ยนแปลงภาระความร้อนของห้อง

ในช่วงที่ภาระความร้อนภายในห้องลดลงเล็กน้อยโดยที่ไม่เกินความร้อนตามประสิทธิภาพของฮีทปั๊มสามารถลดลมผ่านฮีทปั๊มเพื่อควบคุมความร้อนจากฮีทปั๊มให้ทดแทนภาระความร้อนที่ลดลงโดยไม่ต้องใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้า เมื่อภาระความร้อนภายในห้องลดลงมากกว่าความสามารถของฮีทปั๊มที่ปริมาณลมสูงสุดแล้วจึงจะใช้ความร้อนจากฮีทเตอร์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศ

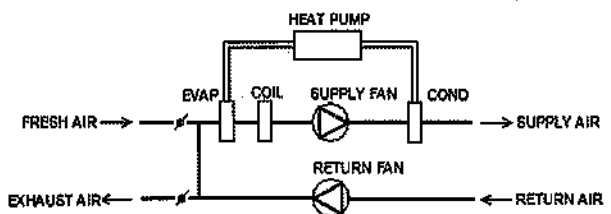
ขนาดของฮีทปั๊มจะต้องเลือกจากตอนที่ภาระความร้อนของห้องลดลงต่ำสุดเพราะที่จุดนี้จะมีอุณหภูมิแตกต่างคล่อมฮีทปั๊มต่ำสุดเพื่อความสะดวกในบทความนี้จะใช้ประสิทธิภาพคงที่ 30% ของอุณหภูมิแตกต่างในการคำนวณ

การใช้ฮีทปั๊มควบคุมความชื้น

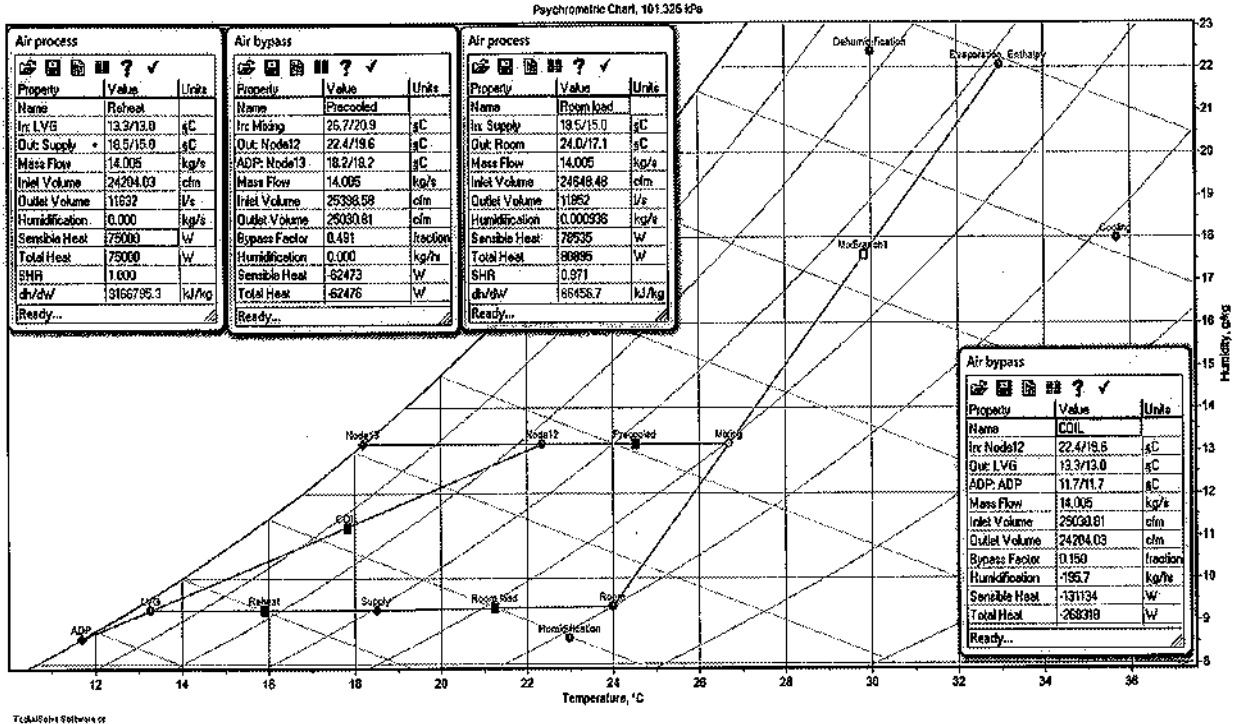
ฮีทปั๊มเป็นเครื่องจักรทางเลือกที่ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพต่ำมาทำให้มี

ศักยภาพสูงขึ้นสามารถใช้ให้ความร้อนแก่งานที่ต้องการได้ เป็นเครื่องจักรเพียงประเภทเดียวที่ให้ความร้อนได้มากกว่าพลังงานที่ใช้หลายเท่าจึงเป็นเครื่องจักรทางเลือกในการลดปัญหาโลกร้อน การแก้ปัญหาพลังงานและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

เครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทปั๊มทำหน้าที่ Precool คอยล์เย็นและ Reheat แทนฮีทเตอร์ไฟฟ้าจะมีลักษณะการทำงานตามรูปที่ 6. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เหมือนระบบที่ใช้กับฮีทเตอร์ไฟฟ้าเนื่องจากฮีทปั๊มทำงานในลักษณะปิดเปิดเหมือนกับฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาดฮีทปั๊มควรทำความร้อนสูงสุดได้เท่ากับขนาดของฮีทเตอร์ไฟฟ้า ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องมีฮีทเตอร์ไฟฟ้ายกเว้นแต่จะเผื่อไว้สำหรับทดแทนในกรณีที่ฮีทปั๊มเสีย ส่วนทางด้าน Precool นั้นถือเป็นผลพลอยได้ซึ่งจะช่วยลดค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 6. เครื่องเป่าลมเย็นควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งฮีทปั๊มช่วยลดการทำงานของคอยล์และทดแทนฮีทเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 7. แผนภูมิไซโครเมตริกเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทปั๊มควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อากาศภายนอกสูงที่สุด

จากรูปที่ 7. แผนภูมิไซโครเมตริกของระบบฮีทปั๊มควบคุมความชื้น จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศ Precool อยู่ระหว่าง 18.2-26.7°C อุณหภูมิของคอยล์ Precool จึงอยู่ที่ 15°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ Reheat อยู่ระหว่าง 13.3-18.5°C อุณหภูมิคอยล์ Reheat จึงอยู่ที่ 40°C ทำให้ COP (Coefficient of Performance) ของฮีทปั๊มด้านร้อนสูงถึง 7.0 และด้านเย็นสูงถึง 6.0 ทำให้ในรูปแบบนี้ฮีทปั๊มให้ความร้อนทดแทนฮีทเตอร์ไฟฟ้าทั้งหมดได้โดยใช้ไฟฟ้าทั้งสิ้น 10714W และช่วยลดภาระคอยล์เย็นได้ 62746W จะเห็นว่าคอยล์ Precool มีขนาดเล็ก การออกแบบคอยล์จะต้องไม่ให้เกิดการดึงน้ำและมีการผสมอากาศจึงจะได้ อุณหภูมิคอยล์ Precool อยู่ที่ 15°C

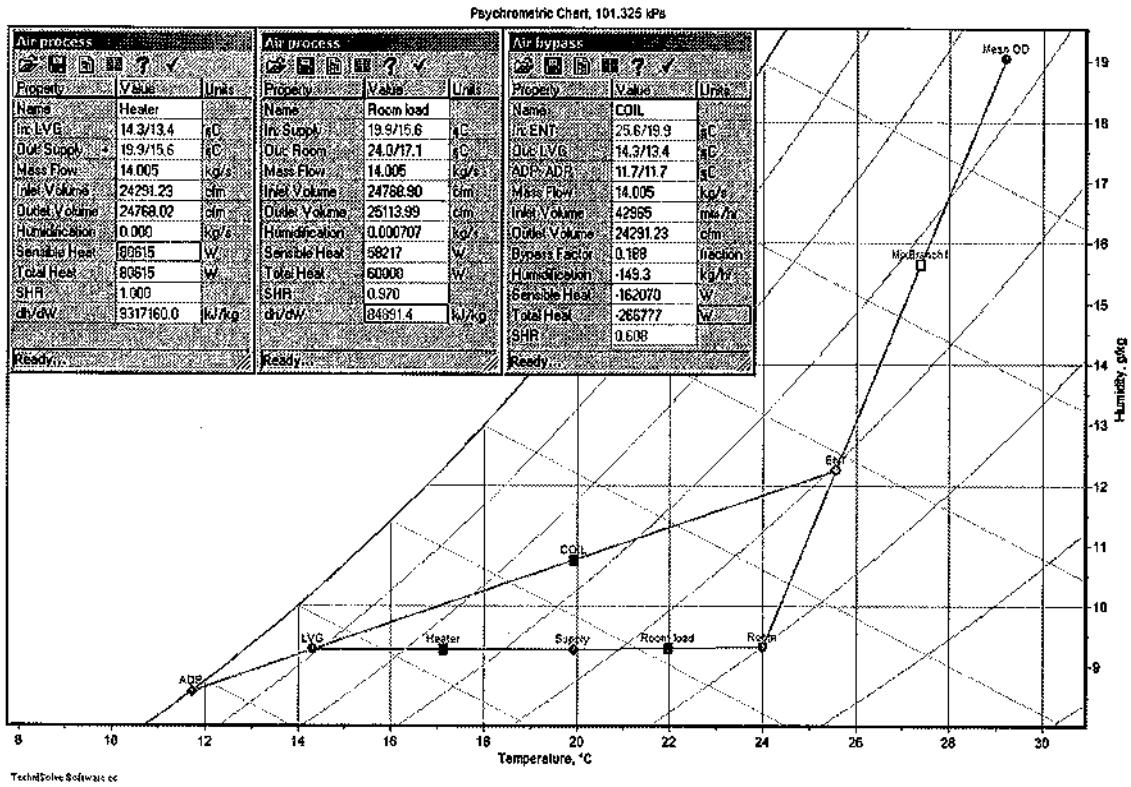
เปรียบเทียบการทำงาน

จากตัวอย่างการทำงานที่ผ่านมาเป็นการอธิบายหลักการเลือกขนาดอุปกรณ์เพื่อรองรับการทำงานที่

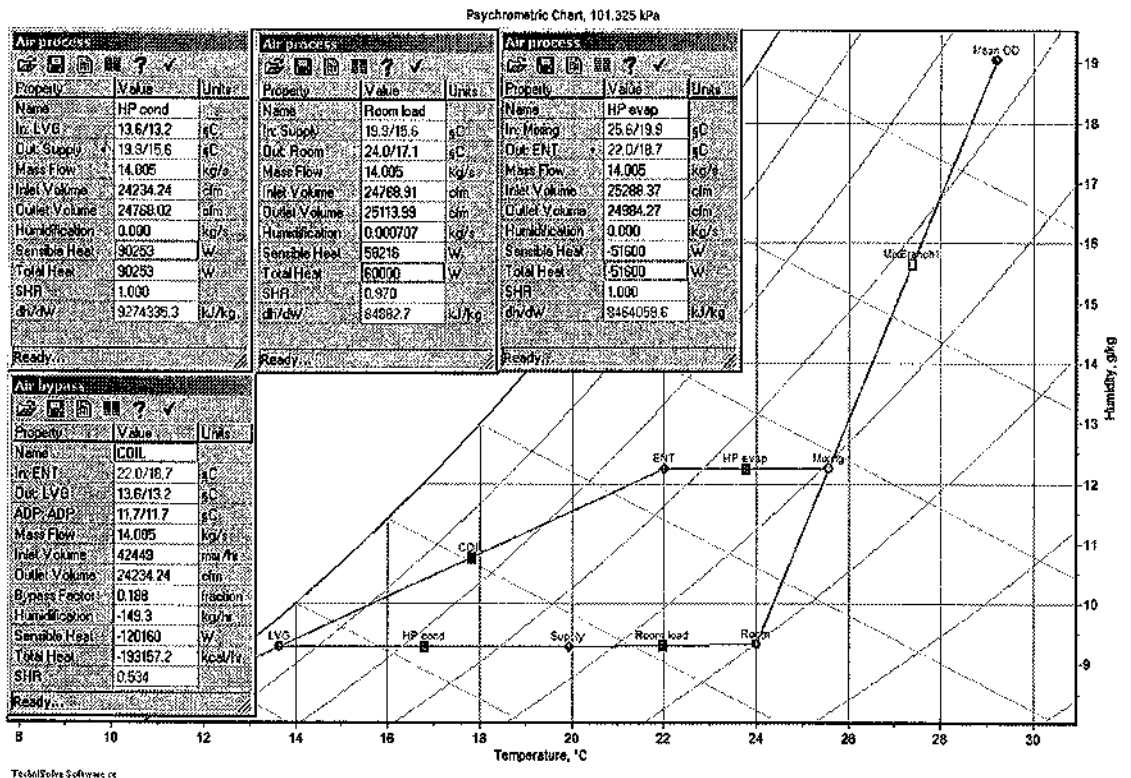
ภาระสูงสุดของทั้งอากาศภายนอกและภาระความร้อนต่างๆ ของห้อง แต่การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างระบบที่ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้า ระบบที่ใช้ฮีทปั๊ม และระบบที่ใช้ฮีทปั๊ม จะต้องคำนวณการทำงานของระบบตลอดทั้งปีที่ภาระความร้อนต่างๆ กัน โดยมีสมมุติฐานดังนี้

การเปลี่ยนแปลงภาระความร้อนของคอยล์เย็นเนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยเป็นตัวแทนของอุณหภูมิทั้งปีในการคำนวณ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของภาระความร้อนของห้องจะสมมุติให้มีการเปลี่ยนแปลงรวมทั้งปี เป็น 40, 50, 60, 70, 80, และ 90% ของภาระความร้อนสูงสุด

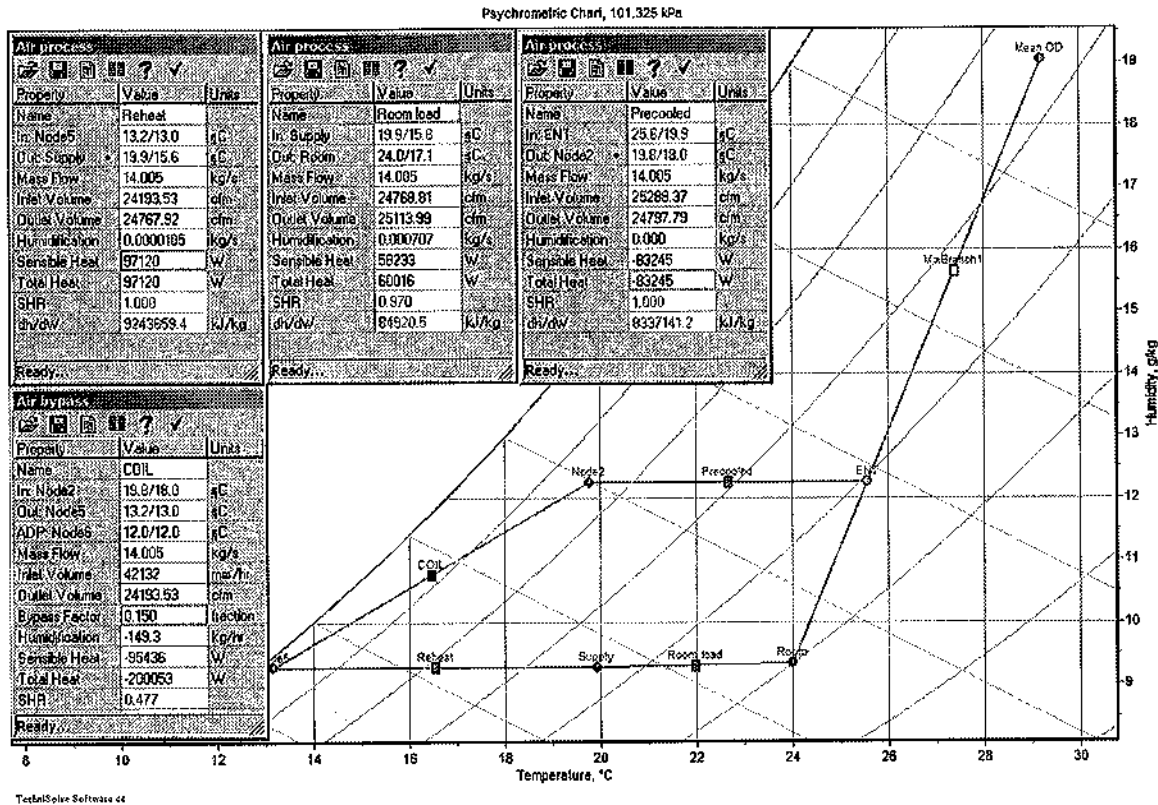
จากข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพเมื่อปี ค.ศ. 2002 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีคือ 29.16°Cdb 25.41°Cwb เมื่อนำมาเขียนลงในแผนภูมิไซโครเมตริกของฮีทเตอร์ไฟฟ้า ฮีทปั๊ม และฮีทปั๊มตามรูปที่ 8., 9., 10. เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น



รูปที่ 8. แผนภูมิไซโครเมตริกเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีตเตอร์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อากาศภายนอกเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งปี ภาวะความร้อนของห้อง 40%ของภาวะความร้อนสูงสุด



รูปที่ 9. แผนภูมิไซโครเมตริกเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทปั๊มและฮีตเตอร์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อากาศภายนอกเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งปี ภาวะความร้อนของห้อง 40%ของภาวะความร้อนสูงสุด



รูปที่ 10. แผนภูมิไซโครเมตริกเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทปั๊มควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อากาศภายนอกเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งปี ภาวะความร้อนของห้อง 40% ของภาวะความร้อนสูงสุด

ตารางที่ 1. ผลคำนวณเปรียบเทียบการทำงานของระบบปรับอากาศควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ ฮีทเตอร์ไฟฟ้า ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้า และฮีทปั๊มจากตัวอย่างการคำนวณรูปที่ 8, 9. และ 10.

	Room Load	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	Wcooling	60000	75000	90000	105000	120000	135000
Heater	Coil Capacity (W)	266777	267356	268005	269081	273538	274290
	EE. (W., COP = 3)	88926	89119	89335	89694	91179	91430
	Heater (W)	80615	66400	52050	37920	27690	13445
	Total W	169541	155519	141385	127614	118869	104875
	kWh/yr. (8000h/yr.)	1356325	1244149	1131080	1020909	950955	839000
	Operating Cost (฿/yr.)	4068976	3732448	3393240	3062728	2852864	2517000
	Investment (฿)	300000					
Heat Pipe	Coil Capacity (W)	193157	193831	227745	231159	246197	261169
	EE. (W., COP = 3)	64386	64610	75915	77053	82066	87056
	Heater (W)	38653	24438	11585	0	0	0
	Total W	103039	89048	87500	77053	82066	87056
	kWh/yr. (8000h/yr.)	824309	712387	700000	616424	656525	696451
	Operating Cost (฿/yr.)	2472928	2137160	2100000	1849272	1969576	2089352
	Saving (฿/yr.)	1596048	1595288	1293240	1213456	883288	427648
Maintenance (฿/yr.)	5000						
Investment (฿)	1720000						
Payback (yr.)	0.89	0.89	1.10	1.18	1.62	3.36	
Heat Pump	Coil Capacity (W)	200053	212714	225376	238064	254933	263397
	EE. (W., COP = 3)	66684	70905	75125	79355	84978	87799
	Heat Pump W	13874	11551	9214	6890	3762	2236
	Total W	80558	82456	84339	86245	88740	90035
	kWh/yr. (8000h/yr.)	644467	659645	674715	689957	709917	720280
	Operating Cost (฿/yr.)	1933400	1978936	2024144	2069872	2129752	2160840
	Saving (฿/yr.)	2135576	1753512	1369096	992856	723112	356160
Maintenance (฿/yr.)	25000						
Investment (฿)	1365000						
Payback (yr.)	0.50	0.62	0.79	1.10	1.53	3.22	

ตารางที่ 1 ได้มาจากการคำนวณโดยใช้ไซโครเมตริกแก่การทำงานของตัวอย่างห้องประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยของทั้งปีและเปลี่ยนภาระความร้อนของห้องไป โดยรูปที่ 8 ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าและภาระความร้อนของห้อง 40% รูปที่ 9 ใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทเตอร์ที่ภาระความร้อนของห้อง 40% ซึ่งเกินความสามารถของฮีทไปป์ที่จะให้ความร้อนจึงต้องใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าด้วย และรูปที่ 10 ใช้ฮีทปั๊มที่ภาระความร้อนของห้อง 40%

จากตารางที่ 1. ราคาเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าเพียง 300000 บาท แต่ระบบที่ใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้ามีราคามากกว่า 6 เท่าเนื่องจากเครื่องเป่าลมเย็นต้องเป็นแบบ 2 ชั้นและมีระบบควบคุมเพิ่มขึ้น นอกเหนือไปจากฮีทไปป์ที่ใหญ่แต่เนื่องจากสามารถลดค่าไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศและลดค่าไฟฟ้าฮีทเตอร์ได้ (COP เครื่องปรับอากาศ 3.0 และค่าไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า 3.0 บาท/หน่วย) ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเมื่อเทียบกับฮีทเตอร์ไฟฟ้าเพียง 0.89-3.36 ปี ส่วนเครื่องเป่าลมเย็นที่ใช้ฮีทปั๊มนั้นเนื่องจากเครื่องมี COP สูงทำให้อุปกรณ์ต่างๆ มีขนาดเล็กทำให้ราคาต่ำกว่าฮีทไปป์ได้ และทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.50-3.22 ปีเท่านั้น

บทส่งท้าย

การคำนวณในบทความนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากสมมุติฐานที่ใช้เพื่อให้การคำนวณทำได้สะดวก แต่จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถใช้ฮีทปั๊มในการควบคุมความชื้นได้อย่างดีทั้งเรื่องระยะเวลาคืนทุน และในทางปฏิบัติสามารถติดตั้งเข้ากับเครื่องเป่าลมเย็นได้ง่ายกว่าฮีทไปป์ สามารถติดตั้งเข้ากับท่อลมสำหรับงานปรับปรุงระบบปรับอากาศ

การใช้ฮีทไปป์ในปัจจุบันยังต้องปรับปรุงตั้งแต่การออกแบบ การกำหนดข้อมาตรฐานและความต้องการเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากการใช้ฮีทไปป์ หวังว่าบทความนี้จะช่วยจุดประกายความคิดและเกิดการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้มีความแม่นยำและคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น

และในท้ายที่สุดคงจะเห็นการใช้ฮีทปั๊มสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มากยิ่งขึ้นในโอกาสอันใกล้นี้