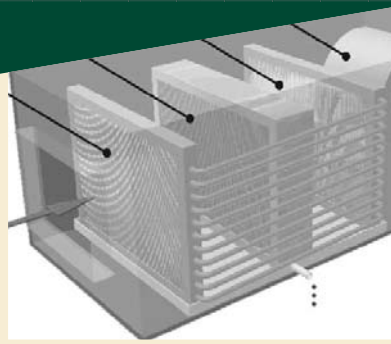
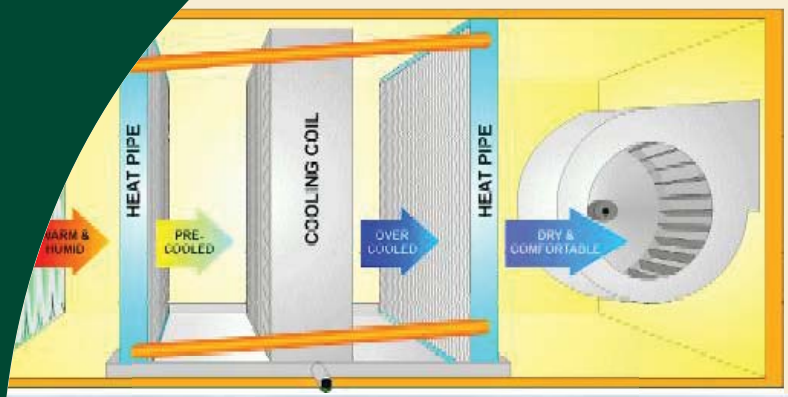
เทคโนโลยี
การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์

โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน





กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

การสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
เทคโนโลยี "การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์"

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
หลักการทำงานของเทคโนโลยี	1
การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม	2
ศักยภาพการประหยัดพลังงาน	5
สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี	6
กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี	7
กรณีศึกษา : บริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด	9

ภาคผนวก

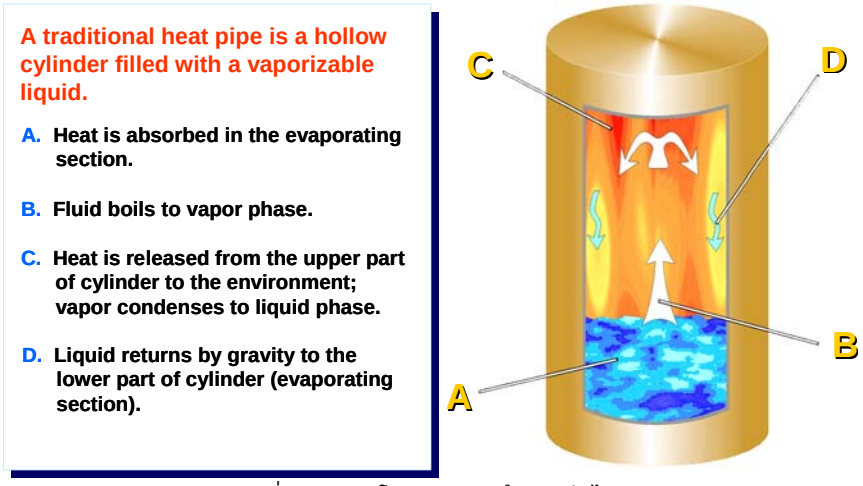
ภาคผนวก ก. รายละเอียดการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง
ภาคผนวก ข. รายละเอียดการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ (Heat Pipe Dehumidification)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

ฮีทไปป์ คือ อะไร

ฮีทไปป์คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทไปป์จะเป็นท่อโลหะที่ปิดหัวท้ายภายในเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ฟรีออน 22 หรือ 134a การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น กลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



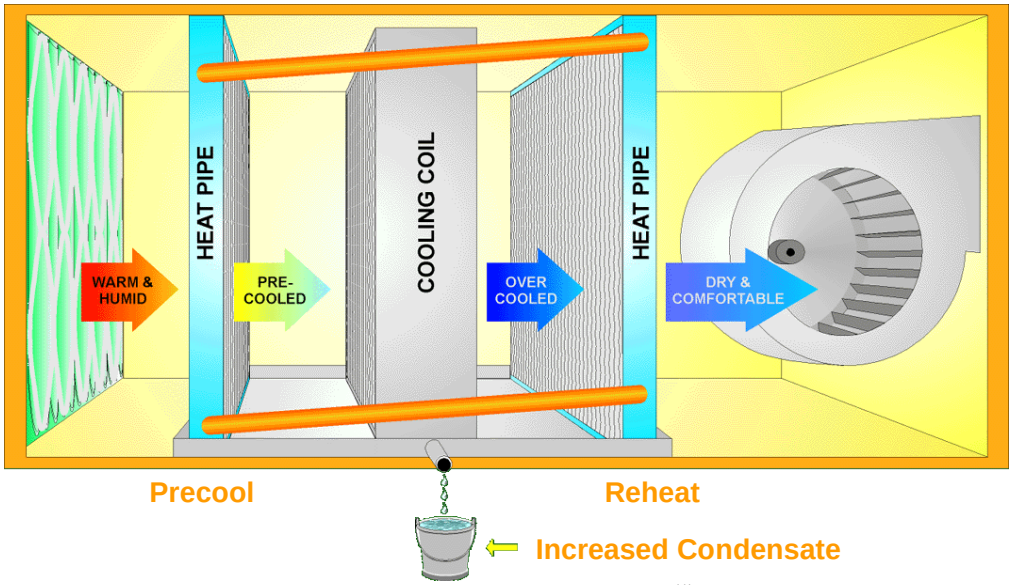
รูปที่ 1.1: แสดงโครงสร้างภายในของฮีทไปป์

การใช้ฮีทไปป์ในการลดความชื้น

ฮีทไปป์สามารถใช้ในการลดความชื้นในระบบปรับอากาศ โดยการติดตั้งฮีทไปป์คร่อมคอยล์เย็น (Cooling Coil) ของระบบปรับอากาศ ฮีทไปป์ที่ติดตั้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก เรียกว่า ส่วนให้ความเย็นเบื้องต้น (Precool Heat Pipe Section) ซึ่งอยู่ทางช่องลมเข้าก่อนที่จะผ่านคอยล์เย็น เมื่ออากาศร้อนผ่านฮีทไปป์ส่วนนี้ อากาศร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนให้แก่ฮีทไปป์ อากาศที่ผ่านไปยังคอยล์เย็นจึงมีอุณหภูมิลดลงกว่าปกติ ทำให้คอยล์เย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากไอน้ำกลั่นตัวได้มาก อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นจะเย็นกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป (Overcooled Air)

ในขณะที่ฮีทไปป์ส่วนแรกรับพลังงานจากลมร้อน สารทำความเย็นภายในตัวฮีทไปป์จะระเหยและพาความร้อนที่ได้รับจากอากาศร้อนนั้นไปยังฮีทไปป์ส่วนที่สอง (Reheat Heat Pipe Section) เมื่ออากาศจากคอยล์เย็นผ่านฮีทไปป์ส่วนที่สอง ก็จะได้รับความร้อนจากฮีทไปป์ส่วนนี้ ทำให้อากาศที่ผ่านระบบมีอุณหภูมิที่พอเหมาะ

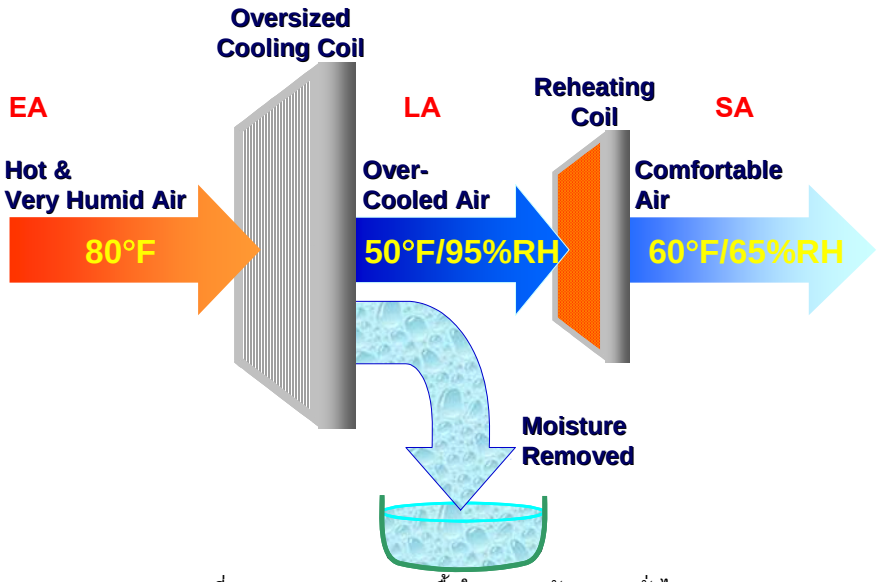
ขั้นตอนทั้งหมดเกิดขึ้นโดยไม่อาศัยพลังงานจากภายนอก และผลที่ได้คือ เครื่องปรับอากาศสามารถดึงเอาความชื้นจากอากาศได้สูงกว่าปกติ



รูปที่ 1.2: ระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ [1]

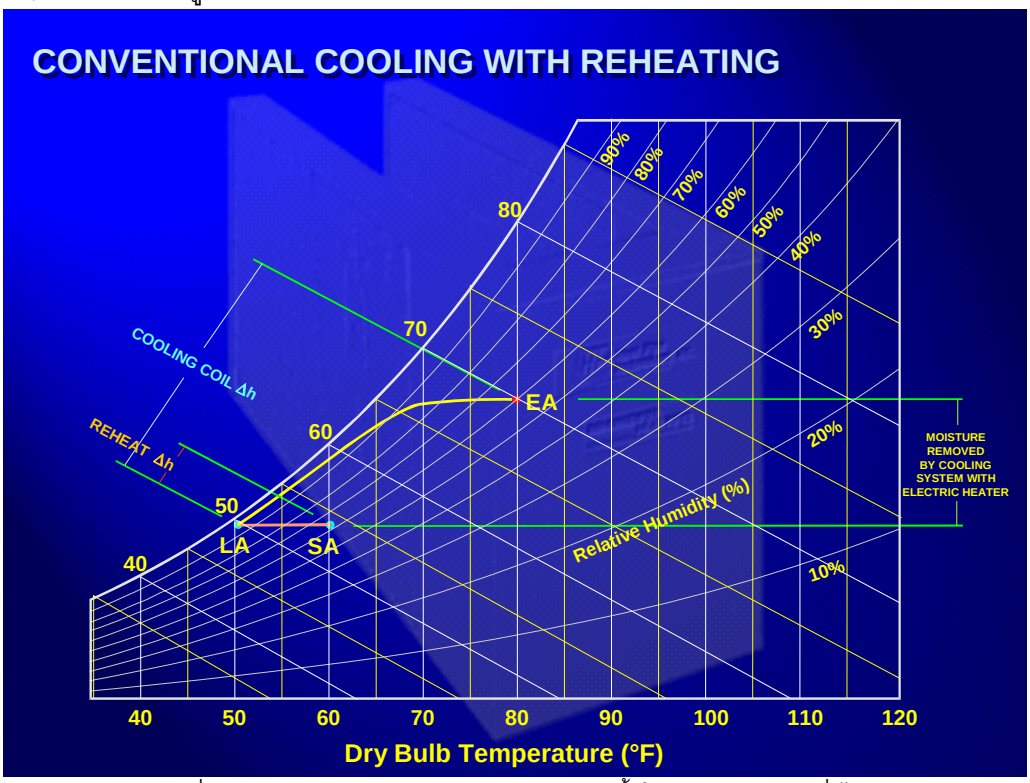
2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

การควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศโดยทั่วไปจะใช้คอยล์เย็นเพื่อทำหน้าที่ในการดึงความชื้นออกจากอากาศ โดยอากาศภายนอกที่ร้อนชื้นเมื่อผ่านคอยล์เย็นก็จะคายความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ทำให้อุณหภูมิต่ำลง ถ้าคอยล์เย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดกลั่นตัวของไอน้ำ (Dew Point) ไอน้ำบางส่วนจะคายความร้อนแฝง (Latent Heat) พร้อมทั้งควบแน่นเป็นหยดน้ำ ในกรณีนี้อากาศที่ผ่านการดึงความชื้นออกแล้วจะเย็นจัด (Overcooled Air) ไม่เหมาะสมที่จะส่งผ่านเข้าไปยังพื้นที่ทำงานได้ จึงต้องใช้ความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าหรือท่อไอน้ำ (Reheating Coil) ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้ได้อากาศที่อุณหภูมิสบาย (Comfortable Air) ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงเพื่อทำให้อากาศเย็นและร้อนในภายหลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1: แสดงการลดความชื้นในระบบปรับอากาศทั่วไป

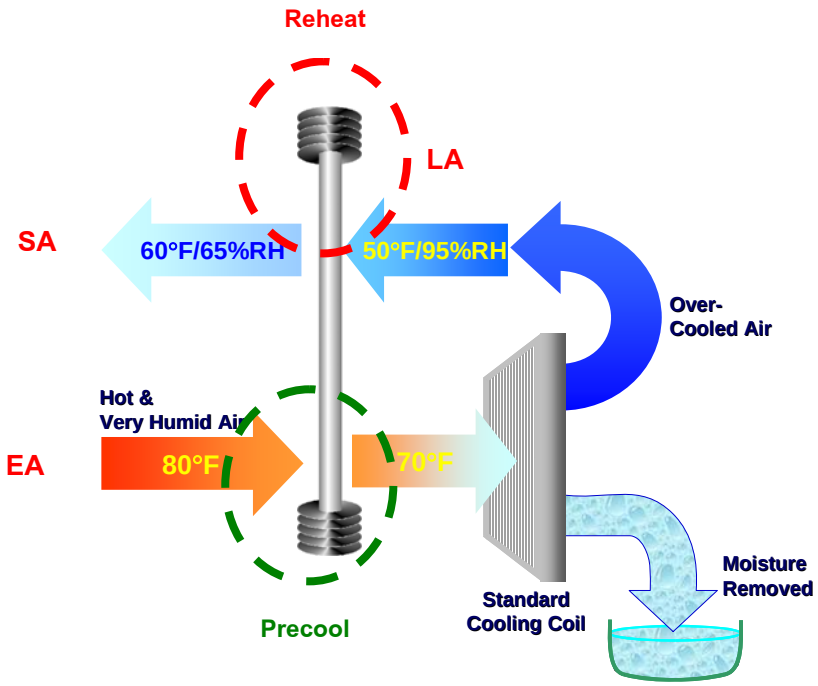
ทั้งนี้ สามารถแสดงสภาวะอากาศในกระบวนการควบคุมความชื้นซึ่งใช้คอยล์เย็นทำงานร่วมกับขดลวดความร้อนได้ดังแผนภูมิ Psychrometric ในรูป 2.2



รูปที่ 2.2: แผนภูมิ Psychrometric ของการลดความชื้นในระบบปรับอากาศทั่วไป

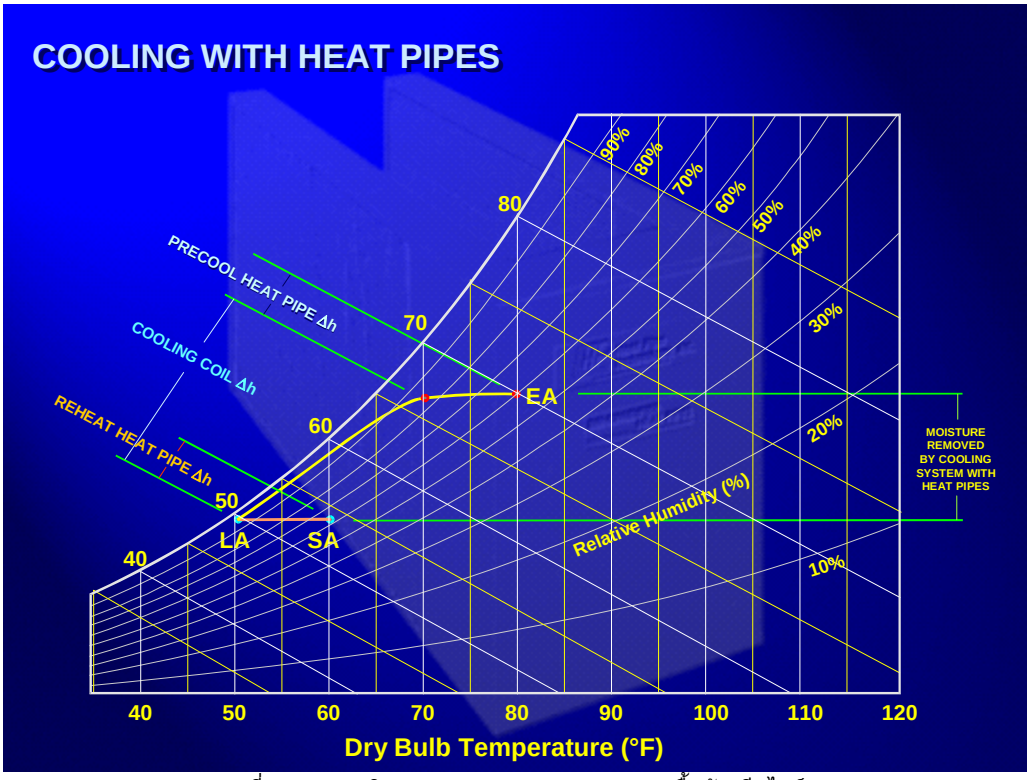
จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าในการควบคุมความความชื้นโดยใช้คอยล์เย็นทำงานร่วมกับขดลวดความร้อนจะมีการใช้พลังงานหลักที่คอยล์เย็น (Cooling Coil – จาก EA ไปสู่ LA) เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ และมีการใช้พลังงานในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศหลังผ่านคอยล์เย็น (Reheat – จาก LA ไป SA) โดยใช้ขดลวดความร้อนเพื่อให้อากาศมีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

การประยุกต์ใช้ฮีทไปป์ในกระบวนการควบคุมความชื้นโดยการติดตั้งฮีทไปป์ คร่อมคอยล์เย็นจะช่วยประหยัดพลังงานที่ขดลวดความร้อนและคอยล์เย็นลงได้ โดยฮีทไปป์จะทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิของอากาศ (Precool) โดยการดึงความร้อนออกจากอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น ทำให้อากาศที่ผ่านฮีทไปป์แล้วมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลงซึ่งเป็นการลดภาระการทำงานของคอยล์เย็นได้ พร้อมกันนี้ ฮีทไปป์จะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนที่ดึงออกจากอากาศก่อนเข้าสู่คอยล์เย็นไปใช้ในการเพิ่มอุณภูมิให้กับอากาศ (Reheat) ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำหลังผ่านคอยล์เย็นให้มีอุณหภูมิเหมาะสมทดแทนการใช้ขดลวดความร้อนแบบเดิมต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3: แสดงการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิม การติดตั้งฮีทไปป์สามารถลดความชื้นของอากาศ โดยไม่ต้องใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิอากาศให้เย็นกว่าปกติเพื่อดึงความชื้น (Overcool) และไม่ต้องใช้ไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ (Reheat) ให้เป็นไปตามที่ต้องการ ทั้งนี้ สามารถแสดงสภาวะอากาศในกระบวนการควบคุมความชื้นซึ่งใช้คอยล์เย็นทำงานร่วมกับฮีทไปป์ได้ดังแผนภูมิ Psychrometric ในรูป 2.4



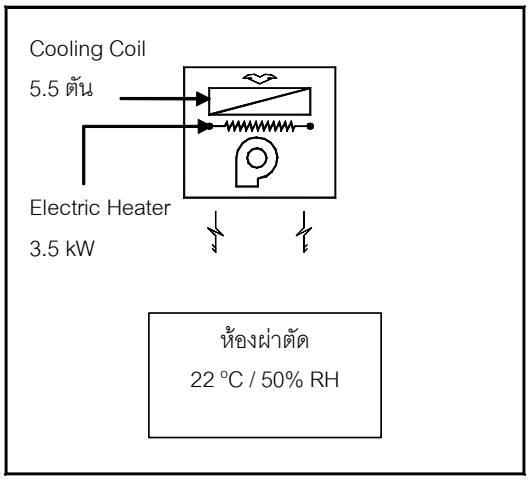
รูปที่ 2.4: แผนภูมิ Psychrometric ของการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์

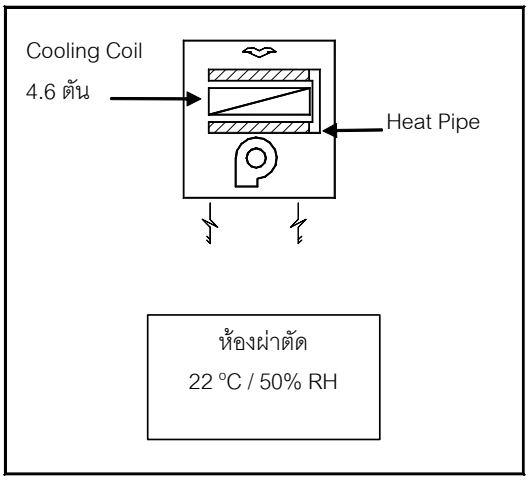
จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าฮีทไปป์จะช่วยลดการใช้พลังงานของคอยล์เย็นในการลดอุณหภูมิของอากาศในช่วง Precool และลดการใช้พลังงานของขดลวดความร้อนในช่วง Reheat ลงได้

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในต่างประเทศ และกรณีศึกษาในประเทศไทย การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถลดการใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นของอากาศที่เติมเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ได้ประมาณ 30%-50% เมื่อเทียบกับระบบลดความชื้นเดิมที่ทำให้อากาศเย็นลงกว่าปกติ (Overcool) และใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในภายหลัง (Reheat)

ทั้งนี้ศักยภาพการประหยัดพลังงานสามารถแสดงให้เห็นได้ดังกรณีตัวอย่างการติดตั้งระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์กับระบบปรับอากาศของโรงพยาบาล เพื่อต้องการควบคุมสภาวะอากาศในพื้นที่ห้องผ่าตัดให้อยู่ที่ 22 °C 50% RH โดยระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถให้ผลประหยัดเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้การทำความเย็นและการใช้ขดลวดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 3.5 kW ดังนี้





	รายละเอียด	การปรับอากาศและควบคุมความชื้น	
		ระบบเดิมที่ติดตั้ง Heater	ระบบที่ติดตั้ง Heat Pipe
PRECOOL	อากาศเข้า (°FDB/°FWB)	-	80.2 / 69.6
	อากาศออก (°FDB/°FWB)	-	70.5 / 66.6
	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Btu/h)	-	11,807 (0.98 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	-	-
COOLING COIL	อากาศเข้า (°FDB/°FWB)	80.2 / 69.6	70.5 / 66.6
	อากาศออก (°FDB/°FWB)	51 / 50	51 / 50
	ขนาดทำความเย็น (Btu/h)	66,511 (5.5 Ton)	54,704 (4.6 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	6.6	5.5
REHEAT	อากาศเข้า (°FDB/°FWB)	51 / 50	51 / 50
	อากาศออก (°FDB/°FWB)	60.8 / 54.1	60.8 / 54.1
	ขนาดทำความร้อน (Btu/h)	11,807 (0.98 Ton)	11,807 (0.98 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	3.5	-
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้รวม (kW)	**10.1**	**5.5**
	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW)	**-**	**4.6 (46%)**

พลังงานที่ประหยัดได้เท่ากับพลังงานที่ลดลงในการทำความเย็นและพลังงานที่ลดลงในการให้ความร้อนกับอากาศ ซึ่งรวมกันได้เท่ากับ 4.6 kW หรือคิดเป็นประมาณ 46% เมื่อเทียบกับระบบเดิม

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารปรับอากาศที่ต้องการควบคุมความชื้นในพื้นที่หรือกระบวนการผลิตให้อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 40%-60%RH เพื่อทดแทนระบบควบคุมความชื้นเดิมที่มีการใช้พลังงานสูง โดยสามารถออกแบบติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับคอยล์เย็นของเครื่องเติมอากาศ (Fresh Air Unit) หรือเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) ของ ระบบปรับอากาศได้ทันที และยกเลิกการใช้ขดลวดความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ

ในกรณีออกแบบติดตั้งระบบปรับอากาศใหม่ การใช้ระบบฮีทไปป์ในการลดความชื้นจะช่วยให้สามารถลดขนาดคอยล์เย็นลงได้ เนื่องจาก Cooling Load ที่ลดลง จากการ Precool อากาศด้วยฮีทไปป์

รูปที่ 4.1: แสดงการติดตั้งฮีทไปป์กับคอยล์เย็นของเครื่องเติมอากาศ

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
- โรงงานผลิตอาหาร
- โรงงานผลิตยา
- ห้องเก็บผลิตภัณฑ์
- ห้องควบคุมกระบวนการผลิต (Control Room)
- ห้องเครื่องมือสื่อสาร (Communication Room)
- ห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล
- ห้องพักของโรงแรม
- ฯลฯ

6. ราคาของเทคโนโลยี

จากข้อมูลของผู้จำหน่ายในประเทศไทย ราคาเฉลี่ยของอุปกรณ์รวมการติดตั้งของฮีทไปป์ซึ่งติดตั้งกับคอยล์เย็นของเครื่องส่งลมเย็นหรือเครื่องเติมอากาศของระบบปรับอากาศ จะอยู่ที่ประมาณ 15,000 บาทต่อตันความเย็น โดยมีอายุใช้งานประมาณ 20 ปี (ฐานข้อมูลปี 2551)

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

ข้อมูลจากกรณีศึกษาในต่างประเทศ และกรณีศึกษาการติดตั้งใช้ระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ในประเทศไทย เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณไม่เกิน 1 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากฮีทไปป์เป็นท่อปิดและไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็นออกสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผู้ผลิตส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็น R-134a ทดแทน R-22 ในการผลิตฮีทไปป์ เพื่อให้เป็นไปตามพิธีสารมอนทรีออลในการควบคุมปริมาณการใช้สารทำความเย็นที่มีผลต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

กรณีศึกษาการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์

ชื่อสถานประกอบการ : บริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด

ประเภทอุตสาหกรรม : อุตสาหกรรมอาหาร – ผลิตหมากฝรั่ง และ ลูกอม

เทคโนโลยีเชิงลึก : การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์

เทคโนโลยีเดิม : การลดความชื้นโดยใช้กงล้อดูดความชื้น ซึ่งใช้ความร้อนจากไอน้ำในการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

สภาวะอากาศที่ต้องการควบคุม	:	อุณหภูมิ 22 +- 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 45 +- 3 (% RH)	
ระยะเวลาในการติดตั้งเทคโนโลยี	:	6	เดือน
ชนิดของพลังงานที่ประหยัดได้	:	พลังงานความร้อน และ พลังงานไฟฟ้า	
ผลประหยัดพลังงาน	:	6,203,692.48	เมกะจูลต่อปี
ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	:	1,978,007.96	บาทต่อปี
เงินลงทุน	:	3,642,464	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	:	1.84	ปี

กรณีศึกษา : บริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด

1) ความเป็นมาและข้อมูลพื้นฐาน

โรงงานบริษัท แคดเบอรี่ อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด ได้สมัครเข้าร่วมโครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ (การสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน) โดยได้ดำเนินการติดตั้งเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ (Heat Pipe Dehumidification) ทดแทนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นแบบ Solid Desiccant ซึ่งใช้ความร้อนจากขดลวดไอน้ำในกระบวนการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

2) สภาพการดำเนินการก่อนและหลังปรับปรุง

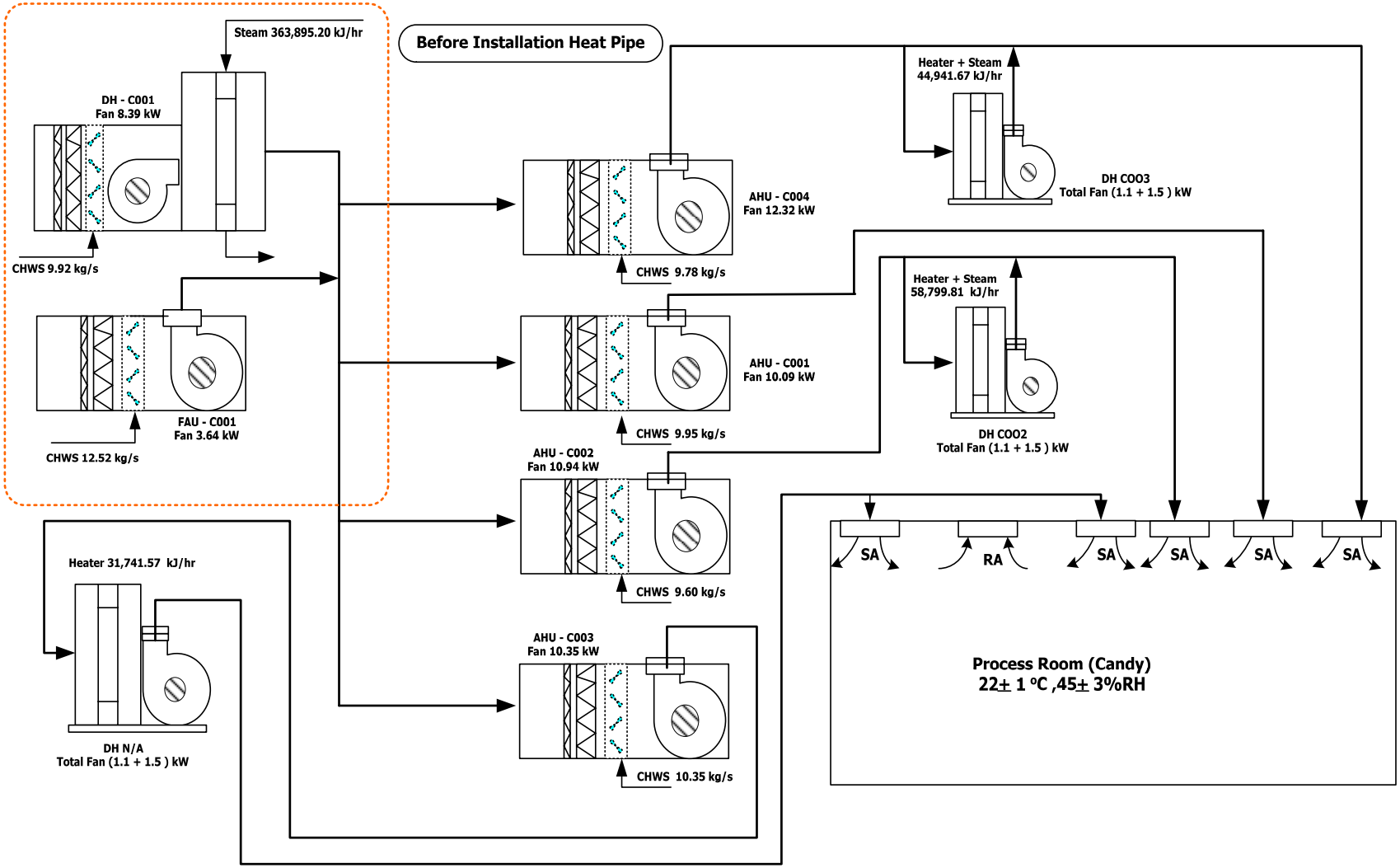
2.1) สภาพการดำเนินการก่อนการปรับปรุง

ในกระบวนการผลิตลูกอมของโรงงานบริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด มีการเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่ผลิตอยู่ตลอดเวลาที่มีการผลิต โดยมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในพื้นที่ผลิตไว้ที่ 22 +- 1 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพันทธ์ร้อยละ 45 +- 3 ทั้งนี้ ก่อนดำเนินการปรับปรุง โรงงานมีการใช้งานเครื่องเติมอากาศจำนวน 2 ชุด เพื่อเติมอากาศให้กับบริเวณการผลิตลูกอมดังกล่าว โดยมีการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ดูดความชื้นแบบ Solid desiccant สำหรับเครื่องเติมอากาศเพียงหนึ่งชุด และนำลมเย็นที่ได้จากเครื่องเติมอากาศทั้งสองมาผสมกันก่อนที่จะจ่ายผ่านเข้าสู่เครื่องส่งลมเย็นและเครื่องลดความชื้นเพื่อปรับสภาวะอากาศขั้นสุดท้ายก่อนส่งเข้าในบริเวณพื้นที่ทำงานต่อไป (โปรดดูไดอะแกรมของเครื่องจักรอุปกรณ์ก่อนการปรับปรุงประกอบ)

เครื่องเติมอากาศทั้งสองชุดมีรายละเอียดพิกัดการทำงานแสดงได้ดังนี้

1.	เครื่องเติมอากาศ (FAU – C001) ไม่มี Desiccant		
	พิกัดการทำความเย็น	457,838	Btu/h
	ปริมาณลม	4,353	CFM
2.	เครื่องเติมอากาศพร้อมเครื่องลดความชื้น solid desiccant/steam coil (DH-C001)		
	พิกัดการทำความเย็น	848,565	Btu/h
	ปริมาณลม	7,647	CFM
	ความร้อนที่ใช้สำหรับเครื่องลดความชื้น (ไอน้ำ)	579,195	kJ/h

- ไดอะแกรมของเครื่องจักรอุปกรณ์เดิมก่อนปรับปรุง



- **รูปเครื่องจักร/อุปกรณ์เดิมก่อนการติดตั้ง**

รูปที่ 1 เครื่องเติมอากาศ FAU-C001 ก่อนปรับปรุง

รูปที่ 2 เครื่องเติมอากาศพร้อมเครื่องลดความชื้นแบบ Solid Desiccant/Steam Coil : DH – C001

2.2 ดัชนีการใช้พลังงานฐานก่อนการปรับปรุง (Baseline Energy Index)

จากการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศเดิมก่อนปรับปรุง พบว่ามีการใช้พลังงานอยู่สองส่วน คือ พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไอน้ำให้กับเครื่องลดความชื้นที่ใช้ความร้อนจากไอน้ำในการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแบบ Solid Desiccant และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นในระบบเติมอากาศและปรับอากาศของพื้นที่ทำงานของห้องผลิตลูกอม ซึ่งต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 1 (โปรดดูไดอะแกรมของเครื่องจักรอุปกรณ์เดิมก่อนปรับปรุงประกอบ)

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศก่อนปรับปรุง

รหัสอุปกรณ์	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ kWh	พลังงานไฟฟ้าขั้นต้น MJ/h	พลังงานความร้อน MJ/h	รวม MJ/h
1. การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ FAU-COO1 และ DH-COO1				
FAU-COO1	43.16	345.28	-	345.28
DH-COO1	45.02	360.16	363.90	724.05
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (1)	88.18	705.44	363.90	1,069.33
2. การใช้พลังงานของเครื่อง AHU-COO1 ถึง COO4				
AHU-COO1	44.52	356.16	-	356.16
AHU-COO2	44.36	354.88	-	354.88
AHU-COO3	47.26	378.08	-	378.08
AHU-COO4	46.27	370.16	-	370.16
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (2)	182.41	1,459.28	-	1,459.28
3. การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้นอากาศ DH-COO2 ถึง N/A				
DH-COO2	2.6	20.8	58.799	79.599
DH-COO3	2.6	20.8	44.941	65.741
DH-N/A	2.6	20.8	31.741	52.541
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (3)	7.8	62.4	135.481	197.881
รวมทั้งหมด (1) + (2) + (3)	**270**	**2,227.12**	**499.38**	**2,726.50**

ดัชนีการใช้พลังงานฐาน = พลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดต่อชั่วโมงการทำงาน

= 2,726.50 เมกะจูลต่อชั่วโมง

ดัชนีการใช้พลังงานของระบบก่อนปรับปรุง = 2,726.50 เมกะจูลต่อชั่วโมง

การใช้พลังงานฐานก่อนการปรับปรุง (Baseline Energy Consumption)

ก่อนดำเนินการปรับปรุงระบบเติมอากาศสำหรับพื้นที่ผลิตลูกอมของโรงงานบริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนรวมดังนี้

รวมการใช้พลังงานความร้อน **= พลังงานความร้อนที่ใช้ทำไอน้ำ (DH-C001,C002,C003)**
= 3,344,561.28 MJ/yr
= 3,170.20 MMBtu/ปี

คิดเป็นค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการผลิตพลังงานความร้อนต่อปี **= 3,170.20 x 299.20**
= 948,523.92 บาท/

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า **= พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001 + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C001 + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4**

= 308,680 + 321,983 + 118,842 + 1,304,596
= 2,054,102 kWh/yr

รวมการใช้ค่าไฟฟ้า **= ค่าไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001 + ค่าไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C001 + ค่าไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + ค่าไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4**

= 855,044.48 + 891,893.02 + 329,193.45 + 3,613,731.81
= 5,689,862.76 บาทต่อปี

ตารางที่ 2 สรุปผลการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

รายละเอียด	เชื้อเพลิง (MMBtu/ปี)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	พลังงานที่ใช้ต่อปี (เมกะจูล/ปี)
การใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไอน้ำ	3,170.20	-	3,344,561.28
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทั้งหมด	-	2,054,102	7,394,767.49
รวมปริมาณการใช้พลังงาน	**3,170.20**	**2,054,102**	**-**

การใช้พลังงานขั้นต้นก่อนการปรับปรุง

เนื่องจากระบบเติมอากาศของโรงงานบริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด มีการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าร่วมกันในระบบ ดังนั้น ในการคำนวณการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง จะแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานขั้นต้น โดยใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.45

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง	=	7,394,767.49	เมกะจูล/ปี
คิดเป็นพลังงานขั้นต้น	=	7,394,767.49 / 0.45	เมกะจูล/ปี
	=	16,432,816.64	เมกะจูล/ปี
พลังงานความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ	=	3,344,561.28	เมกะจูล/ปี
รวมการใช้พลังงานขั้นต้นก่อนการปรับปรุง	**=**	**16,432,816.64 + 3,344,561.28**	
	=	**19,777,377.92**	**เมกะจูล/ปี**

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก่อนปรับปรุง

รายละเอียด	เชื้อเพลิง (บาท/ปี)	ไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายพลังงาน (บาท/ปี)
ค่าใช้จ่ายสำหรับก๊าซธรรมชาติ	948,523.92	-	948,523.92
ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทั้งหมด	-	5,689,862.76	5,689,862.76
รวมค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	**948,523.92**	**5,689,862.76**	**6,638,386.68**

2.3 วิธีการปรับปรุงและรายละเอียดเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ติดตั้งใหม่

- **วิธีการปรับปรุง**

โรงงานได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องเติมอากาศพร้อมฮีทไปป์ จำนวน 2 ชุด เพื่อทดแทนการใช้เครื่องเติมอากาศ (FAU-C001) และ เครื่องเติมอากาศที่ติดตั้ง solid desiccant (DH-C001) ทั้งนี้ เพื่อลดการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแบบ Solid desiccant เดิม และลดการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในระบบปรับอากาศ ดังมีรายละเอียดเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ติดตั้งใหม่ แสดงได้ดังนี้

- **รายละเอียดเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ติดตั้งใหม่**

1. เครื่องเติมอากาศพร้อมฮีทไปป์ เครื่องที่ 1 (FAU -01 w/HP) มีขนาดพิกัดดังนี้

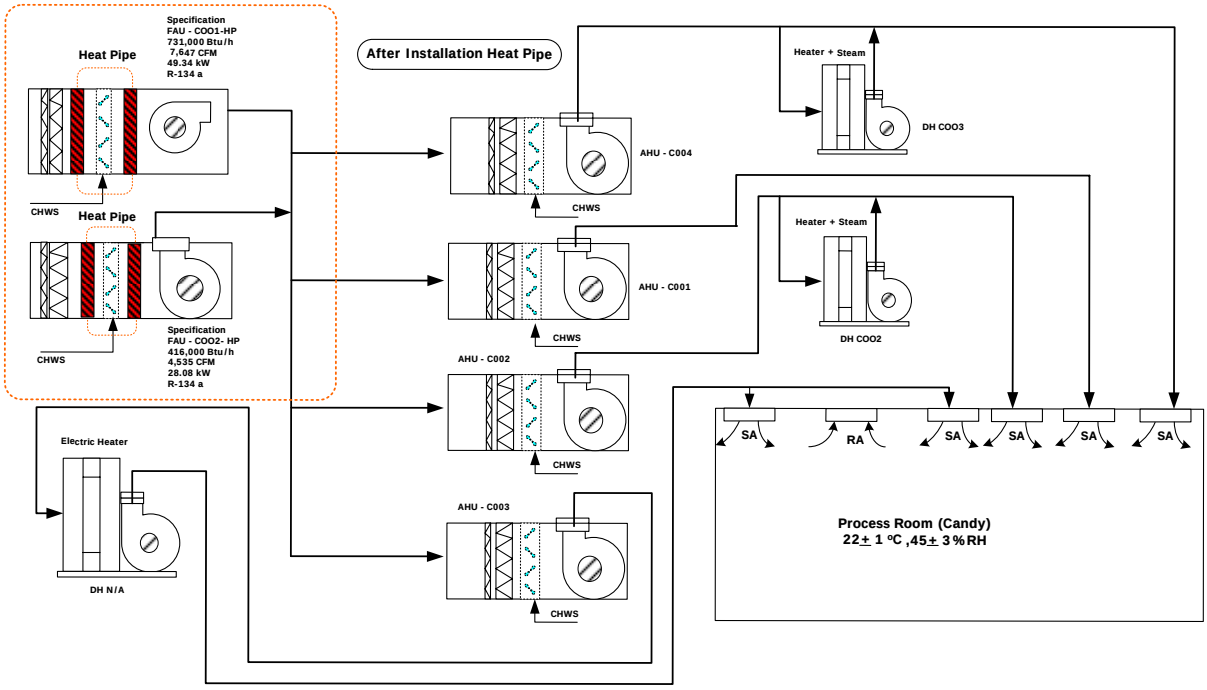
พิกัดทำความเย็น	416,000	Btu/h
ปริมาณลม	4,353	CFM
ชนิดสารทำความเย็น	R-134a	
อัตราการใช้ไฟฟ้า (คิดที่ 0.81 kW/ton)	28.08	kW

2. เครื่องเติมอากาศพร้อมฮีทไปป์ เครื่องที่ 2 (FAU - 02 w/HP) มีขนาดพิกัดดังนี้

พิกัดทำความเย็น	731,000	Btu/h
ปริมาณลม	7,647	CFM
ชนิดสารทำความเย็น	R-134a	
อัตราการใช้ไฟฟ้า (คิดที่ 0.81 kW/ton)	49.34	kW

ทั้งนี้ โรงงาน ได้ดำเนินการเปลี่ยนใช้เครื่องเติมอากาศพร้อมฮีทไปป์ จำนวน 2 ชุด เพื่อทดแทนเครื่องเติมอากาศเดิมจำนวน 2 ชุด โดยยังคงใช้งานเครื่องส่งลมเย็น เดิมจำนวน 4 เครื่อง (AHU C001,2,3 และ 4) และเครื่องลดความชื้นเดิมจำนวน 3 เครื่อง (DH-C002,3 และ N/A) เพื่อปรับสภาวะอากาศขั้นสุดท้ายก่อนจ่ายเข้าสู่พื้นที่ผลิตลูกอมต่อไป โดยมีแผนผังระบบเติมอากาศใหม่แสดงได้ดังนี้

- แผนผังระบบเติมอากาศ ซึ่งติดตั้งฮีทไปป์ไว้ภายในเครื่องเติมอากาศ จำนวน 2 เครื่อง



การดำเนินการและการติดตั้ง

โรงงานบริษัท แคดเบอรี่ อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด เริ่มดำเนินโครงการติดตั้งเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ในเดือนมิถุนายน 2551 และดำเนินการติดตั้งแล้วเสร็จในเดือนพฤศจิกายน 2551 รวมระยะเวลาการดำเนินการทั้งสิ้น 6 เดือน สำหรับรูปภาพแสดงการติดตั้งใช้งานเครื่องลดความชื้นด้วยฮีทไปท์ แสดงได้ดังต่อไปนี้

รูปที่ 3 เครื่องเติมอากาศ ซึ่งติดตั้งฮีทไปป์ เครื่องที่ 1

รูปที่ 4 เครื่องเติมอากาศซึ่งติดตั้งฮีทไปป์ เครื่องที่ 2

รูปที่ 5 แสดง ฮีทไปป์ ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเครื่องเติมอากาศ

2.4 ดัชนีการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (Post Energy Index) และผลประหยัดพลังงานของเทคโนโลยี

ภายหลังการติดตั้งเครื่องเติมอากาศซึ่งมีการติดตั้งฮีทไปป์แล้วเสร็จ ได้มีการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง สำหรับระบบเติมอากาศทั้งระบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งพบว่า ระบบเติมอากาศที่ปรับปรุงใหม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในพื้นที่ผลิตได้ตามข้อกำหนดของโรงงานที่ 22 +- 1 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพันทธ์ร้อยละ 45 +- 3 โดยเครื่องเติมอากาศซึ่งติดตั้งฮีทไปป์ทั้ง 2 ชุด มีการใช้พลังงานลดลงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศชุดเดิม สำหรับเครื่องส่งลมเย็น (AHU-C001 ถึง C004) และเครื่องลดความชื้น (DH-C002, 003, N/A) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เดิม ทำหน้าที่ในการปรับสภาวะอากาศขั้นสุดท้ายก่อนจ่ายเข้าพื้นที่การผลิตมีการใช้พลังงานลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอากาศที่ผ่านเครื่องลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีใช้ระบบเดิมซึ่งใช้ขดลวดความร้อน ทั้งนี้สามารถแสดงผลการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงของระบบเติมอากาศ ได้ดังนี้

ตารางที่ 4 การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศหลังการปรับปรุง

เครื่อง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ kWh	พลังงานขั้นต้น MJ/hr	พลังงานความร้อน MJ/hr	รวม MJ/hr
การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ FAU-COO1 HP และ FAU-COO2 HP				
FAU-COO1 HP	26.06	208.48	-	208.48
FAU-COO2 HP	16.06	128.48	-	128.48
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (1)	42.12	336.96	-	336.96
การใช้พลังงานของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4				
AHU-COO1	30.04	240.32	-	240.32
AHU-COO2	40.76	326.08	-	326.08
AHU-COO3	43.04	344.32	-	344.32
AHU-COO4	52.60	420.80	-	420.80
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (2)	166.44	1,331.52	-	1,331.52
การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้นอากาศ DH-COO2, COO3, N/A				
DH-COO2	4.54	36.32	48.25	84.57
DH-COO3	4.42	35.36	39.93	75.29
DH-N/A	1.61	12.88	25.50	38.38
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (3)	10.57	84.56	113.68	198.24
รวมทั้งหมด	**219.13**	**1,753.04**	**113.68**	**1,866.73**

ดังนั้น

ดัชนีการใช้พลังงานของระบบหลังปรับปรุง = 1,866.73 เมกะจูลต่อชั่วโมง

ตารางที่ 5 ตัวแปรควบคุมการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

ตัวแปรควบคุมการใช้พลังงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
- อุณหภูมิและความชื้นภายในห้องผลิตลูกอม (ออกจากเครื่องเติมอากาศ)	23.8 °C / 54%RH	22 °C / 40.6%RH
- Humidity Ratio	9.97 g/kg(a)	6.69 g/kg(a)
- อุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเครื่องเติมอากาศ (ก่อนเข้าเครื่องเติมอากาศ)	32.5°C / 50.5%RH	27.9°C / 42.8%RH
- Humidity Ratio	15.60 g/kg(a)	10.08 g/kg(a)
ค่าสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น (kW/ton)	0.85	0.85

2.5 การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (Post Energy Consumption) และผลประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานของสถานประกอบการ

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (Post Energy Consumption)

ภายหลังการปรับปรุง พบว่า โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนลดลง โดยผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนหลังการปรับปรุง สำหรับระบบเติมอากาศของโรงงานแสดงได้ดังนี้

รวมการใช้พลังงานความร้อน = พลังงานความร้อนที่ใช้ทำไอน้ำ สำหรับเครื่องลดความชื้น DH-COO2,O3
= 630,663.36 เมกะจูลต่อปี
= 597.79 MMBtu/ปี

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001-HP + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C002-HP + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4
= 186,381 + 114,861 + 126,257 + 1,190,379
= 1,617,878 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

รวมค่าพลังงานไฟฟ้า = ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001-HP + ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C002-HP + ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4
= 516,275.70 + 318,165.30 + 349,730.89 + 3,297,349.50
= 4,481,521.40 บาทต่อปี

ทั้งนี้ สามารถสรุปผลการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานหลังการปรับปรุง ได้ตามรายละเอียดแสดงในตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 6 : ผลการใช้พลังงานหลังปรับปรุง

รายละเอียด	เชื้อเพลิง (MMBtu/ปี)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	พลังงานที่ใช้ต่อปี (เมกะจูล/ปี)
1. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่อง FAU-C001-HP	-	186,381	670,972.03
2. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่อง FAU-C002-HP	-	114,861	413,500.03
3. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่อง DH-C002, COO3, N/A	-	126,257	454,523.90
4. การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่อง AHU-COO1 ถึง COO4	-	1,190,379	4,285,363.97
5. การใช้เชื้อเพลิงของเครื่อง DH-COO2 และ COO3	597.79	-	630,663.36
รวมปริมาณการใช้พลังงาน	**597.79**	**1,617,878**	**-**

ตารางที่ 7 : ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานหลังปรับปรุง

รายละเอียด	เชื้อเพลิง (บาท/ปี)	ไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายพลังงาน (บาท/ปี)
1. ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของ FAU-C001-HP	-	516,275.70	516,275.70
2. ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของ FAU-C002-HP	-	318,165.30	318,165.30
3. ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครื่อง DH-C002, COO3, N/A	-	349,730.89	349,730.89
4. ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครื่อง AHU-COO1 ถึง COO4	-	3,297,349.50	3,297,349.50
5. ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของเครื่อง DH-COO2 และ COO3	178,857.32	-	178,857.32
รวมค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	**178,857.32**	**4,481,521.40**	**4,660,378.72**

ตารางที่ 8 : ผลประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน

รายละเอียด	เชื้อเพลิง NG		ไฟฟ้า (kWh/ปี)	พลังงานรวม (เมกะจูล/ปี)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ปี)	ดัชนีการใช้พลังงาน (เมกะจูล/ชั่วโมง)
	(MMBtu/ปี)	(บาท/ปี)				
การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	3,170.20	948,523.92	2,054,102	19,777,377.92	6,638,386.68	2,726.50
การใช้พลังงานหลังปรับปรุง	597.79	178,857.32	1,617,878	13,573,685.44	4,660,378.72	1,866.73
ผลประหยัด	**2,572.41**	**769,666.60**	**436,224**	**6,203,692.48**	**1,978,007.96**	**859.77**

ผลประหยัดพลังงานของเทคโนโลยี

ดัชนีการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง = 2,726.50 เมกะจูล/ชั่วโมง

ดัชนีการใช้พลังงานหลังปรับปรุง = 1,866.73 เมกะจูล/ชั่วโมง

คิดเป็นร้อยละผลประหยัดพลังงานของเทคโนโลยี เท่ากับ

$$= \frac{(\text{ดัชนีการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง} - \text{ดัชนีการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง}) * 100}{\text{ดัชนีการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง}}$$

$$= \frac{(2{,}726.50 - 1{,}866.73) \times 100}{2{,}726.50}$$

$$= \mathbf{31.53\%}$$

ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน และผลตอบแทนการลงทุน

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งสิ้น	3,642,464	บาท
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี	1,978,007.96	บาท/ปี
คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน	1.84	ปี

ภาคผนวก ก รายละเอียดการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

จากการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศเดิมก่อนปรับปรุง พบว่ามีการใช้พลังงานอยู่สองส่วน คือ พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไอน้ำให้กับเครื่องลดความชื้นที่ใช้ความร้อนจากไอน้ำในการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแบบ Solid Desiccant และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นในระบบเติมอากาศและปรับอากาศของพื้นที่ทำงานของห้องผลิตลูกอม ซึ่งต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศทั้งหมด แสดงได้ดังตาราง ก 1 (โปรดดูไดอะแกรมของเครื่องจักรอุปกรณ์เดิมก่อนปรับปรุงประกอบ)

ตาราง ก.1 การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศก่อนปรับปรุง

รหัสอุปกรณ์	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ kWh	พลังงานไฟฟ้าขั้นต้น MJ/h	พลังงานความร้อน MJ/h	รวม MJ/h
1. การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ FAU-COO1 และ DH-COO1				
FAU-COO1	43.16	345.28	-	345.28
DH-COO1	45.02	360.16	363.90	724.05
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (1)	88.18	705.44	363.90	1,069.33
2. การใช้พลังงานของเครื่อง AHU-COO1 ถึง COO4				
AHU-COO1	44.52	356.16	-	356.16
AHU-COO2	44.36	354.88	-	354.88
AHU-COO3	47.26	378.08	-	378.08
AHU-COO4	46.27	370.16	-	370.16
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (2)	182.41	1,459.28	-	1,459.28
3. การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้นอากาศ DH-COO2 ถึง N/A				
DH-COO2	2.6	20.8	58.799	79.599
DH-COO3	2.6	20.8	44.941	65.741
DH-N/A	2.6	20.8	31.741	52.541
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (3)	7.8	62.4	135.481	197.881
รวมทั้งหมด (1) + (2) + (3)	**270**	**2,227.12**	**499.38**	**2,726.50**

ดัชนีการใช้พลังงานฐาน = พลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดต่อชั่วโมงการทำงาน
= 2,726.50 เมกะจูลต่อชั่วโมง

ดัชนีการใช้พลังงานของระบบก่อนปรับปรุง = 2,726.50 เมกะจูลต่อชั่วโมง

การใช้พลังงานฐานก่อนการปรับปรุง (Baseline Energy Consumption)

รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของระบบเติมอากาศสำหรับพื้นที่ผลิตลูกอมของโรงงานบริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด แสดงได้ดังนี้ (โปรดดูไดอะแกรมของเครื่องจักรอุปกรณ์เดิมก่อนปรับปรุงประกอบ)

รายละเอียดข้อมูลในการคำนวณ

- จำนวนชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน
- จำนวนวันทำงาน 298 วันต่อปี
- ราคาค่าพลังงานไฟฟ้า 2.77 บาทต่อหน่วย

พลังงานความร้อนที่ใช้ทำในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้งานที่เครื่องลดความชื้น

ปริมาณความร้อนที่ต้องการของเครื่องลดความชื้น

DH-COO1	= 363.90	เมกะจูลต่อชั่วโมง
DH-COO2	= 58.799	เมกะจูลต่อชั่วโมง
DH-COO3	= 44.941	เมกะจูลต่อชั่วโมง

ดังนั้นรวมปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ที่เครื่องลดความชื้นทั้งหมดเท่ากับ 467.64 เมกะจูลต่อชั่วโมง

คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ต้องการทั้งหมดในหนึ่งปีเท่ากับ
= 467.64 เมกะจูลต่อชั่วโมง x 24 ชั่วโมงต่อวัน x 298 วันต่อปี
= 3,344,561.28 เมกะจูลต่อปี

โรงงานใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ซึ่งค่าความร้อนของ NG มีค่าเท่ากับ 1,055 เมกะจูล/MMBtu

คิดเป็นปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้ต่อปี **= 3,344,561.28 / 1,055**
= 3,170.20 MMBtu/ปี

โรงงานซื้อก๊าซธรรมชาติมาใช้ในราคา 299.20 บาทต่อMMBtu

คิดเป็นค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ต่อปี **= 3,170.20 x 299.20**
= 948,523.92 บาท/ปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001

กำลังไฟฟ้าของพัดลม	= 3.64	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น (ที่เครื่องทำน้ำเย็น)	= 39.52	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= (3.64 + 39.52) x 24 x 298	
	= 308,680	กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 308,680 x 2.77	

= 855,044.48 บาทต่อปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C001

กำลังไฟฟ้าของพัดลม	= 8.39	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น (ที่เครื่องทำน้ำเย็น)	= 36.63	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= (8.39 + 36.63) x 24 x 298	
	= 321,983	กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 321,983 x 2.77	
	= 891,893.02	บาท/ปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A

กำลังไฟฟ้าของ DH-COO2	= 2.6	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าของ DH-COO3	= 2.6	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าของ DH-N/A	= 2.6	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าสำหรับ Heater ไฟฟ้าของเครื่อง DH-N/A	= 31.74 / 3.6 = 8.82	กิโลวัตต์
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	= 16.62	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 16.62 x 24 x 298	
	= 118,842	กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 118,842 x 2.77	
	= 329,193.45	บาท/ปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4

กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO1	= 44.52	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO2	= 44.36	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO3	= 47.26	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO4	= 46.27	กิโลวัตต์
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	= 182.41	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 182.41 x 24 x 298	
	= 1,304,596	กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 1,304,596 x 2.77	
	= 3,613,731.81	บาท/ปี

ผลรวมการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ และพลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำความเย็นในระบบปรับอากาศต่อปีสำหรับระบบเติมอากาศของโรงงาน แสดงได้ดังนี้

รวมการใช้พลังงานความร้อน = พลังงานความร้อนที่ใช้ทำไอน้ำ (DH-C001,C002,C003)
= 3,344,561.28 MJ/yr
= 3,170.20 MMBtu/ปี

คิดเป็นค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการผลิตพลังงานความร้อนต่อปี = 3,170.20 x 299.20
= 948,523.92 บาท/ปี

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001 + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C001 + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4

= 308,680 + 321,983 + 118,842 + 1,304,596
= 2,054,102 kWh/yr

รวมการใช้ค่าไฟฟ้า = ค่าไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001 + ค่าไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C001 + ค่าไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + ค่าไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4

= 855,044.48 + 891,893.02 + 329,193.45 + 3,613,731.81
= 5,689,862.76 บาทต่อปี

การใช้พลังงานขั้นต้นก่อนการปรับปรุง

เนื่องจากระบบเติมอากาศของโรงงานบริษัท แคดเบอรี อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด มีการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าร่วมกันในระบบ ดังนั้น ในการคำนวณการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง จะแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานขั้นต้น โดยใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.45

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง	=	7,394,767.49	เมกะจูล/ปี
คิดเป็นพลังงานขั้นต้น	=	7,394,767.49 / 0.45	เมกะจูล/ปี
	=	16,432,816.64	เมกะจูล/ปี
พลังงานความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ	=	3,344,561.28	เมกะจูล/ปี
รวมการใช้พลังงานขั้นต้นก่อนการปรับปรุง	**=**	**16,432,816.64 + 3,344,561.28**	
	=	**19,777,377.92**	**เมกะจูล/ปี**

ภาคผนวก ข รายละเอียดการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ภายหลังการติดตั้งเครื่องเติมอากาศซึ่งมีการติดตั้งฮีทไปป์แล้วเสร็จ ได้มีการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง สำหรับระบบเติมอากาศทั้งระบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งพบว่า ระบบเติมอากาศที่ปรับปรุงใหม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในพื้นที่ผลิตได้ตามข้อกำหนดของโรงงานที่ 22 +- 1 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพันทธ์ร้อยละ 45 +- 3 โดยเครื่องเติมอากาศซึ่งติดตั้งฮีทไปป์ทั้ง 2 ชุด มีการใช้พลังงานลดลงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศชุดเดิม สำหรับเครื่องส่งลมเย็น (AHU-C001 ถึง C004) และเครื่องลดความชื้น (DH-C002, 003, N/A) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เดิม ทำหน้าที่ในการปรับสภาวะอากาศขั้นสุดท้ายก่อนจ่ายเข้าพื้นที่การผลิตมีการใช้พลังงานลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอากาศที่ผ่านเครื่องลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีใช้ระบบเดิมซึ่งใช้ขดลวดความร้อน ทั้งนี้สามารถแสดงผลการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงของระบบเติมอากาศ ได้ดังนี้

ตาราง ข.1 การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศหลังการปรับปรุง

เครื่อง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ kWh	พลังงานขั้นต้น MJ/hr	พลังงานความร้อน MJ/hr	รวม MJ/hr
การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ FAU-COO1 HP และ FAU-COO2 HP				
FAU-COO1 HP	26.06	208.48	-	208.48
FAU-COO2 HP	16.06	128.48	-	128.48
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (1)	42.12	336.96	-	336.96
การใช้พลังงานของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4				
AHU-COO1	30.04	240.32	-	240.32
AHU-COO2	40.76	326.08	-	326.08
AHU-COO3	43.04	344.32	-	344.32
AHU-COO4	52.60	420.80	-	420.80
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (2)	166.44	1,331.52	-	1,331.52
การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้นอากาศ DH-COO2, COO3, N/A				
DH-COO2	4.54	36.32	48.25	84.57
DH-COO3	4.42	35.36	39.93	75.29
DH-N/A	1.61	12.88	25.50	38.38
คิดเป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (3)	10.57	84.56	113.68	198.24
รวมทั้งหมด	**219.13**	**1,753.04**	**113.68**	**1,866.73**

ดังนั้น

ดัชนีการใช้พลังงานของระบบหลังปรับปรุง = 1,866.73 เมกะจูลต่อชั่วโมง

ตาราง ข.2 ตัวแปรควบคุมการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

ตัวแปรควบคุมการใช้พลังงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
- อุณหภูมิและความชื้นภายใน ห้องผลิตลูกอม (ออกจากเครื่องเติมอากาศ)	23.8 °C / 54%RH	22 °C / 40.6%RH
- Humidity Ratio	9.97 g/kg(a)	6.69 g/kg(a)
- อุณหภูมิและความชื้นภายใน ห้องเครื่องเติมอากาศ (ก่อนเข้าเครื่องเติมอากาศ)	32.5°C / 50.5%RH	27.9°C / 42.8%RH
- Humidity Ratio	15.60 g/kg(a)	10.08 g/kg(a)
ค่าสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น (kW/ton)	0.85	0.85

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (Post Energy Consumption) และผลประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานของสถานประกอบการ

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (Post Energy Consumption)

ภายหลังการปรับปรุง พบว่า โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนลดลง โดยผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนหลังการปรับปรุง สำหรับระบบเติมอากาศของโรงงานแสดงได้ดังนี้

รายละเอียดข้อมูลในการคำนวณ

- จำนวนชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน
- จำนวนวันในการทำงาน 298 วันต่อปี
- ราคาค่าไฟฟ้า 2.77 บาทต่อหน่วย

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001-HP (DH-C001) - เครื่องใหม่

กำลังไฟฟ้าของพัดลม	= 6.44	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น (ที่เครื่องทำน้ำเย็น)	= 19.62	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= (6.44 + 19.62) x 24 x 298	
	= 186,381	กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= 186,381 x 2.77	
	= 516,275.70	บาท/ปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C002-HP (FAU-C001) - เครื่องใหม่

กำลังไฟฟ้าของพัดลม	= 3.83	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น (ที่เครื่องทำน้ำเย็น)	= 12.23	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	= (3.83 + 12.23) x 24 x 298	
	= 114,861	กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = 114,861 x 2.77
= 318,165.30 บาท/ปี

พลังงานความร้อนที่ใช้ทำไอน้ำ

ปริมาณความร้อนที่ต้องการของเครื่องลดความชื้น เพื่อปรับสภาวะอากาศภายหลังจากผ่านเครื่องเติมอากาศ และเครื่องส่งลมเย็น ก่อนเข้าสู่พื้นที่การผลิต

DH-COO2 (เครื่องเดิม) = 48.25 เมกะจูลต่อชั่วโมง

DH-COO3 (เครื่องเดิม) = 39.93 เมกะจูลต่อชั่วโมง

ดังนั้นรวมปริมาณความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 88.18 เมกะจูลต่อชั่วโมง

คิดเป็นความร้อนที่ต้องการทั้งหมด = 88.18 x 24 x 298
= 630,663.36 เมกะจูลต่อปี

ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติ 1,055 MJ/MMBtu

คิดเป็นปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้ต่อปี = 630,663.36 / 1,055
= 597.79 MMBtu/ปี

ราคาก๊าซธรรมชาติ 299.20 บาทต่อ MMBtu

คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับก๊าซธรรมชาติต่อปี = 597.79 x 299.20
= 178,857.32 บาท/ปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A - เครื่องเดิม

กำลังไฟฟ้าของ DH-COO2 = 4.54 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าของ DH-COO3 = 4.42 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าของ DH-N/A = 1.61 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับ Heater ไฟฟ้าของ DH-N/A = 25.5 / 3.6 = 7.08 กิโลวัตต์

คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด = 17.65 กิโลวัตต์

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = 17.65 x 24 x 298
= 126,257 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = 126,257 x 2.77
= 349,730.89 บาท/ปี

พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4

กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO1 = 30.04 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO2 = 40.76 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO3 = 43.04 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าของ AHU-COO4 = 52.60 กิโลวัตต์

คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด = 166.44 กิโลวัตต์

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = 166.44 x 24 x 298
= 1,190,379 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = 1,190,379 x 2.77
= 3,297,349.50 บาท/ปี

รวมการใช้พลังงานความร้อน = พลังงานความร้อนที่ใช้ทำไอน้ำ สำหรับเครื่องลดความชื้น DH-COO2,O3
= 630,663.36 เมกะจูลต่อปี
= 597.79 MMBtu/ปี

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001-HP + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C002-HP + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4

= 186,381 + 114,861 + 126,257 + 1,190,379
= 1,617,878 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

รวมค่าพลังงานไฟฟ้า = ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C001-HP + ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ FAU-C002-HP + ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้น DH-C002, COO3, N/A + ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น AHU-COO1 ถึง COO4

= 516,275.70 + 318,165.30 + 349,730.89 + 3,297,349.50
= 4,481,521.40 บาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง

(1) Heat Pipe Technology Inc. 2002. Wrap-Around Dehumidifier Heat Pipes, available URL: http://www.heatpipe.com/

(2) บริษัท เนเชอรัล กรีน อินโนเวชั่น จำกัด 2541. What are Heat Pipes, เอกสารประกอบการนำเสนอ

(3) Heat Pipe Technology, Inc. Why Heat Pipes? Case Summaries, available URL: http://www.heatpipe.com/

(4) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรณีศึกษา 013 การใช้ฮีทไปป์เพื่อประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, มิถุนายน 2547

(5) บริษัท เนเชอรัล กรีน อินโนเวชั่น จำกัด. ระบบปรับอากาศและระบบควบคุมความชื้นสำหรับโรงแรมกับการประหยัดพลังงาน, เอกสารประกอบการนำเสนอ

(6) บริษัท เนเชอรัล กรีน อินโนเวชั่น จำกัด. ระบบปรับอากาศและระบบควบคุมความชื้นสำหรับห้องผ่าตัดกับการประหยัดพลังงาน, เอกสารประกอบการนำเสนอ

ดำเนินโครงการโดย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

17 ถนนพระราม 1 เชิงสะพานกษัตริย์ศึก แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 0-2223-0021-9, 0-2222-4102-9

โทรสาร 0-2225-3785, 0-2226-3943

www.dede.go.th

E-mail : dede@dede.go.th

บริหารโครงการโดย

BRIGHT
management consulting
company limited

บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด

1 อาคารฟอร์จูนทาวน์ ชั้น 15 ถนนรัชดาภิเษก แขวง/เขต ดินแดง กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0-2642-1270 โทรสาร 0-2642-1242

www.bright-ce.com

E-mail : contact@bright-ce.com