

พัฒนาการอบแห้งด้วยฮีทปั๊ม

โดย นายปรเมธ ประเสริฐยิ่ง วท.485

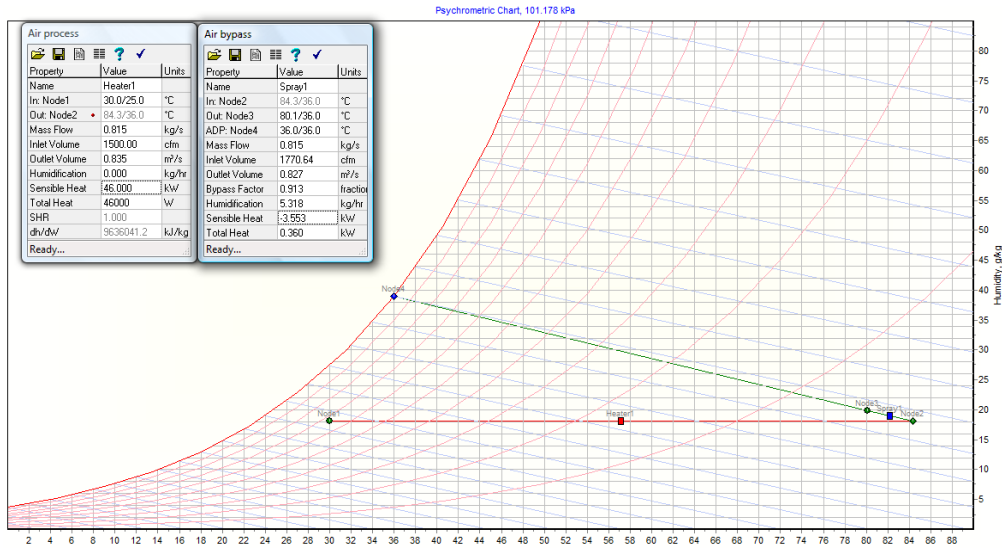
การอบแห้งเป็นกระบวนการพื้นฐานสำหรับการถนอมอาหารทั้งในอุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร และยังเป็นกระบวนการที่ใช้ในกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมต่างๆ แต่การอบแห้งในปัจจุบันมีประสิทธิภาพต่ำจึงทำให้สูญเสียพลังงานมาก นอกจากนี้จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงแล้วยังทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้เป็นก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อนในปัจจุบัน การปรับปรุงกระบวนการอบแห้งจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง การอบแห้งแบบโดยใช้ฮีทปั๊มจะทำให้กระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงมาก จึงจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการลดทั้งต้นทุนการผลิตและลดปัญหาการเกิดก๊าซเรือนกระจก

หลักการการอบแห้ง

อากาศที่แห้งหรือมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยจะสามารถรับความชื้นเข้ามาเก็บไว้ได้มากกว่าอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง วัตถุดิบที่จะอบแห้งก็จะคายน้ำให้กับอากาศในรูปของความชื้นได้ตามอุณหภูมิ และความเร็วลมที่เหมาะสม หลักการการอบแห้งที่ใช้อยู่ทั่วไปจึงใช้วิธีให้ความร้อนกับอากาศภายนอกให้มีอุณหภูมิสูงซึ่งจะทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง และส่งอากาศนี้เข้าตู้อบแห้งอย่างต่อเนื่องเพื่อมารับความชื้นจากวัตถุดิบ อากาศที่รับความชื้นแล้วจะมีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากได้คายความร้อนให้กับน้ำในวัตถุดิบ น้ำในวัตถุดิบจะให้ความร้อนนี้เปลี่ยนแปลงสถานะกลายเป็นไอ กระจายเข้าแทรกอยู่ในอากาศ ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นและถูกระบายทิ้งไปที่อุณหภูมิตู้อบแห้งนั่นเอง

เมื่ออากาศภายนอกมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงเช่นหลังจากฝนตกหรือในเวลาากลางคืน อากาศที่ได้รับความร้อนเพื่อที่จะส่งเข้าตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงตามอากาศภายนอกไปด้วย ทำให้สภาวะในการอบแห้งไม่คงที่ จึงมีผลกระทบกับเวลา คุณภาพและต้นทุนของการอบแห้ง

รูปที่ 1. แสดงสภาวะอากาศในการอบแห้งทั่วไป



รูปที่ 1. แสดงการอบแห้งใช้อากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67% อัตราการส่งอากาศ

0.815กก./วินาที ให้ความร้อน 46 kW อากาศจะมีอุณหภูมิ 84.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 5.1% และส่งเข้ารับ

ความชื้นจากวัตถุดิบ การดึงความชื้นออกจากวัตถุดิบมีลักษณะเช่นเดียวกับการฉีดน้ำเข้าไปในอากาศ ถ้าอุณหภูมิเตา

อบแห้ง 80 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ดึงออกได้เท่ากับ 5.318กก./ชั่วโมง ความร้อนที่ใช้งานเพื่อดึงความชื้นออกเท่ากับ

3.553 kW ประสิทธิภาพการอบแห้งเท่าความร้อนที่ใช้งาน/ความร้อนที่ให้กับอากาศ $3.553/46 \times 100 = 7.72\%$

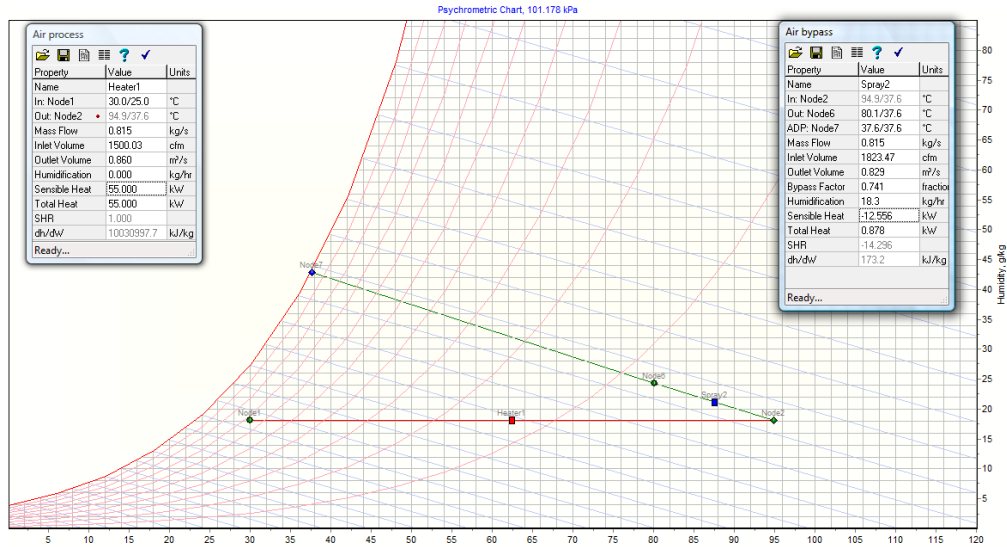
จากรูปที่ 1. เพิ่มความร้อนเป็น 55 kW อากาศเข้าเตาอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 94.9 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเตา

อบแห้ง 80 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ดึงออกเพิ่มขึ้นเป็น 18.3กก./ชั่วโมง ความร้อนที่ใช้งานเพื่อดึงความชื้นออกเท่ากับ

12.556 kW ประสิทธิภาพการอบแห้งเท่าความร้อนที่ใช้งาน/ความร้อนที่ให้กับอากาศ $12.556/55 \times 100 = 22.83\%$ ตามรูป

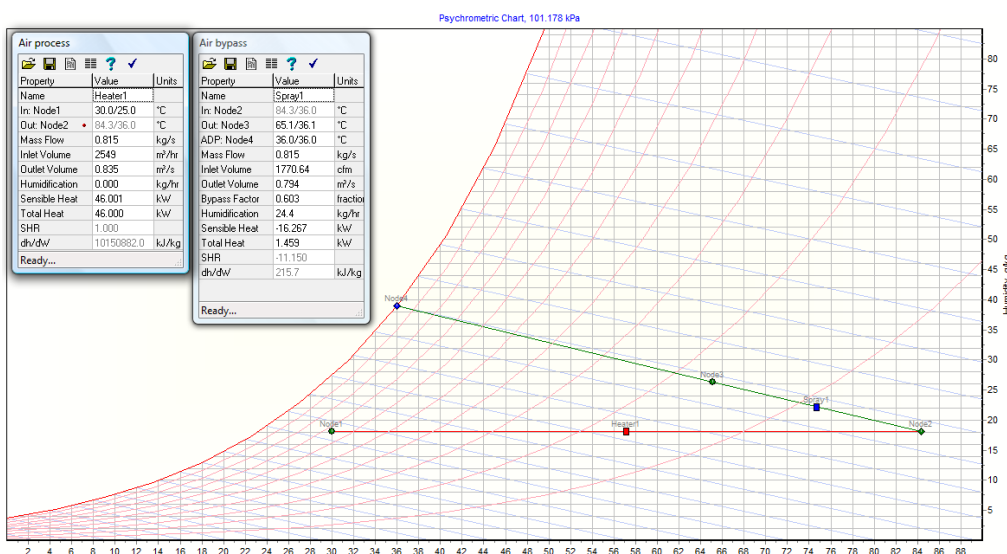
ที่ 2.

รูปที่ 2 ปรับปรุงประสิทธิภาพของการอบแห้งจากรูปที่ 1. โดยการเพิ่มความร้อน



ด้วยการหมุนเวียนอากาศภายในเตาเพิ่มเติมเพื่อให้อากาศดึงน้ำออกจากวัตถุดิบมากขึ้น สุดท้ายอุณหภูมิอากาศภายในเตาจะมีอุณหภูมิลดลงตามรูปที่ 3. ทำให้อุณหภูมิเตาลดลงเหลือ 65 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ดึงออกได้เท่ากับ 24.4 กก./ชั่วโมง ความร้อนที่ใช้งานเพื่อดึงความชื้นออกเท่ากับ 16.267 kW ประสิทธิภาพการอบแห้งเท่าความร้อนที่ใช้งาน/ความร้อนที่ให้กับอากาศ $16.267/46 \times 100 = 35.36\%$ ยิ่งลดอุณหภูมิอากาศที่ออกจากเตาอบแห้งได้มากเท่าใดประสิทธิภาพการใช้ความร้อนก็ยิ่งดีขึ้นเท่านั้น

รูปที่ 3 ปรับปรุงประสิทธิภาพของการอบแห้งจากรูปที่ 1.



ต้นทุนการอบแห้ง

จากตัวอย่างทั้ง 3 รูปข้างต้น ถ้าใช้ไฟฟ้าให้ความร้อนกับอากาศเพื่อใช้ในการอบแห้ง ประสิทธิภาพการให้ความร้อนจากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 100% เพราะสามารถให้ความร้อนกับอากาศโดยตรงได้ แต่ถ้าใช้เชื้อเพลิงอื่นที่ไม่สามารถให้ความร้อนโดยตรงได้เนื่องจากกลั่น หรือเขม่าจากการเผาไหม้จะปนเปื้อนวัตถุดิบ ก็จะมีการสูญเสียอีกทอดหนึ่งตามคุณสมบัติที่ใช้ ซึ่งเชื้อเพลิงบางชนิดจะมีอุณหภูมิไอเสียสูงมาก ประสิทธิภาพการให้ความร้อนแก่อากาศที่ใช้อบแห้งจึงมีค่าประมาณ 85%

เมื่อนำตัวเลขทั้งหมดมารวมกันตามตารางที่ 1. จะเห็นว่าอุณหภูมิแตกต่างของอากาศเข้าและทิ้งจากเตาอบเป็นตัวบอกระสิทธิภาพการอบแห้งได้อย่างหนึ่ง แต่ที่ดีที่สุดคือค่าพลังงานต่อน้ำหนักน้ำที่ดึงออกในช่องสุดท้ายของตาราง

	Air temp. diff. C	moist. Removal kg/hr	Heat applied kw	Unit Energy kw-hr/kg.rmv
รูปที่1. อุณหภูมิอากาศ84.3C/80C	4.3	5.318	46	8.65
รูปที่2. อุณหภูมิอากาศ94.9C/80C	14.9	18.3	55	3.01
รูปที่3. อุณหภูมิอากาศ84.3C/65C	19.3	24.4	46	1.89

ตารางที่ 2. ในช่องแรกเป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อน หน่วยเป็นบาทต่อความร้อน กิโลวัตต์-ชั่วโมง ช่องที่ 2 ปรับค่าประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเชื้อเพลิง 85% และไฟฟ้า 100% ช่องที่เหลือเป็นการคำนวณต้นทุนการอบแห้งของเชื้อเพลิงต่างๆตามรูปที่ 1-3 โดยใช้ค่าพลังงานต่อน้ำหนักน้ำที่ดึงออกในช่องสุดท้ายของตารางที่ 1.

Fuel	Baht/kW-hr (fuel energy)	Baht/kW-hr (adj. energy)	รูปที่1. Baht/kg.rmv	รูปที่2. Baht/kg.rmv	รูปที่3. Baht/kg.rmv
Natural Gas for CHP	0.85	1.00	8.65	3.01	1.89
for industrial boiler	1.05	1.24	10.69	3.71	2.33
LPG w/30% subsidy:3bht./kg.	0.80	0.94	8.14	2.83	1.77
Diesel	2.45	2.88	24.93	8.66	5.43
Heavy Oil	1.18	1.39	12.01	4.17	2.62
Electricity	2.80	2.80	24.22	8.42	5.28

ในทางปฏิบัตินั้นต้นทุนการอบแห้งมักจะคิดตามน้ำหนักวัตถุดิบหรือผลผลิต ยกตัวอย่างการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก จะต้องดึงน้ำออก 34.5% คำนวณต้นทุนการอบลำไย/น้ำหนักโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2. ได้ตามตารางที่ 3. ถ้าการอบแห้งที่ทำอยู่มีลักษณะเป็นรูปที่ 1 หรือรูปที่ 2 ก็สามารถปรับปรุงเป็นรูปที่ 3 ได้ หรือเป็นรูปที่ 3 อยู่ก็สามารถปรับปรุงใช้เชื้อเพลิงที่ถูกกว่าได้

ตารางที่ 3. ต้นทุนการอบแห้งลำไย/น้ำหนักวัตถุดิบ				
Fuel	Water Removed %	รูปที่1. ฿/kg.raw mat	รูปที่2. ฿/kg.raw mat	รูปที่3. ฿/kg.raw mat
Natural Gas for CHP	34.50	2.98	1.04	0.65
for industrial boiler	34.50	3.69	1.28	0.80
LPG w/30% subsidy:3bht./kg.	34.50	2.81	0.98	0.61
Diesel	34.50	8.60	2.99	1.87
Heavy Oil	34.50	4.14	1.44	0.90
Electricity	34.50	8.36	2.90	1.82

ฮีทปั๊มทำงานอย่างไร

ฮีทปั๊มคือเครื่องจักรกลที่ทำให้ความร้อนในธรรมชาติที่ปกติไม่สามารถนำมาใช้งานได้ มีศักยภาพสูงขึ้นและสามารถนำมาใช้ในการให้ความร้อนได้ จึงเป็นพลังงานที่มีคุณภาพไม่ทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาถูก

ฮีทปั๊มมีหลักการการทำงานเหมือนเครื่องปรับอากาศ แต่ออกแบบให้ดึงความร้อนจากอากาศภายนอกอาคารแทนการดึงความร้อนจากภายในห้อง ความร้อนส่วนที่ดึงมาทั้งหมดทั้งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับฮีทปั๊มถูกมาใช้ทำความร้อนแทนที่จะระบายทิ้งเหมือนเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นฮีทปั๊มจึงให้ความร้อนได้ 3-5 เท่าของพลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้ขับเคลื่อนฮีทปั๊ม มูลค่าของพลังงานจากฮีทปั๊มจะเท่ากับค่าไฟฟ้าหารด้วย 4 จึงมีมูลค่าพลังงานต่ำกว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดในด้านการให้ความร้อน นอกจากนี้ฮีทปั๊มยังให้อากาศเย็นหรือน้ำเย็นมาใช้ฟรีเนื่องจากได้ดึงความร้อนมาใช้ ถ้าสามารถนำความเย็นที่ได้ฟรีนี้มาใช้ได้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้เกือบครึ่ง

ข้อจำกัดของฮีทปั๊มคือสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้แค่ 70 เซลเซียส ดังนั้นจึงสามารถใช้เสริมเพื่อทำอุณหภูมิอากาศได้จนถึง 70 เซลเซียส แล้วจึงใช้เชื้อเพลิงอื่นทำอุณหภูมิต่อไปถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เป็นการลดต้นทุนเชื้อเพลิงลง หรืออาจใช้ฮีทปั๊มแทนในการอบแห้งทั้งหมดได้ถ้าสามารถลดอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งได้ ซึ่งในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมหลายชนิดก็สามารถจะทำได้เพราะมีข้อดีคือคุณสมบัติบางอย่างของวัตถุดิบเช่นสี เป็นต้นไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้น นอกเหนือไปจากเรื่องการประหยัดพลังงาน

ถ้ารูปที่ 3. เป็นการอบแห้งลำไย จะใช้ฮีทปั๊มอุ่นอากาศจาก 30 เซลเซียสไปจนถึง 70 เซลเซียส แล้วจึงใช้น้ำมันเตาเผาต่อจนอุณหภูมิเป็น 84.3 เซลเซียส ความร้อนที่ใช้ น้ำมันเตาเท่ากับ $(84.3-70)/(84.3-30)=.26$ ความร้อนที่ใช้ฮีทปั๊มเท่ากับ $1-.26=0.74$ ต้นทุนความร้อนที่ใช้เท่ากับ $.9 \times 0.26 + 0.74 \times 1.82/4 = 0.57$ บาท/กก.ลำไยดิบ ซึ่งถูกกว่าการใช้ น้ำมันเตาทั้งหมดเกือบครึ่ง(จากตารางที่ 3. ค่าความร้อนของน้ำมันเตา 0.90 บาท/กก.ลำไยดิบ)

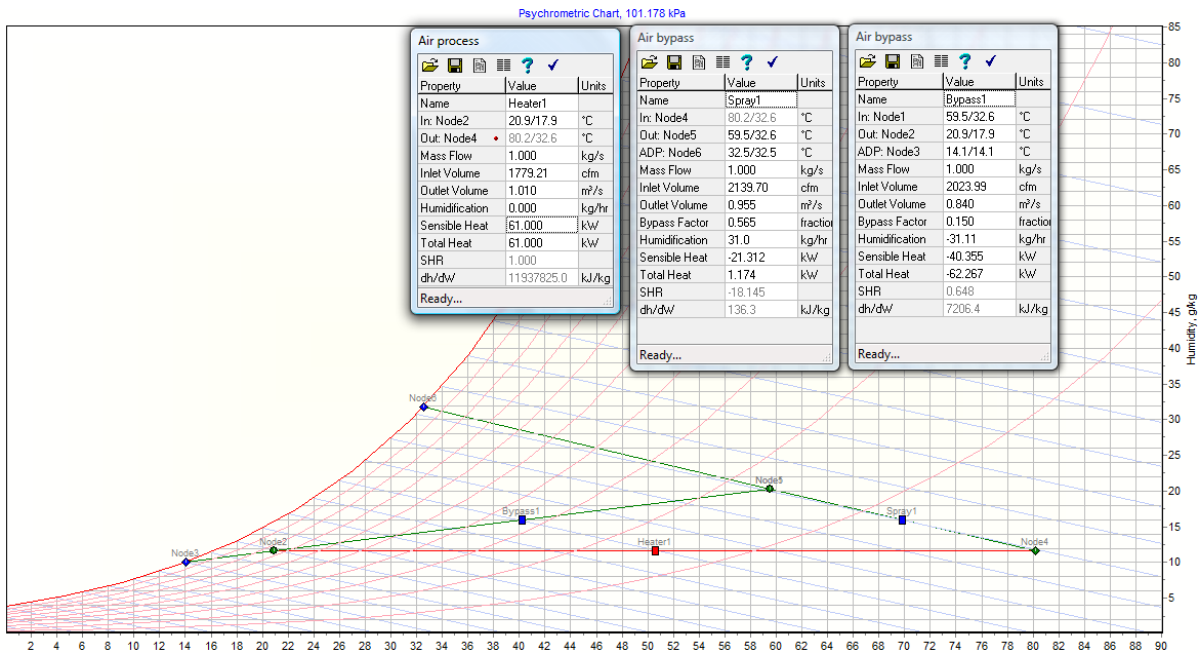
หลักการอบแห้งแบบควบคุมสภาวะอากาศ

การอบแห้งแบบควบคุมสภาวะอากาศหรือระบบปิดโดยใช้ฮีทปั๊มเป็นวิธีการที่สามารถอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เตาอบแห้งจะมีลักษณะเป็นตู้ปิด อากาศจะถูกหมุนเวียนผ่านตู้โดยไม่ทิ้งหรือเติมอากาศใหม่แต่อย่างใด จากรูปที่ 4. น้ำในอากาศจะถูกคอยล์เย็นดึงความร้อนแฝงออกไปทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเกาะที่คอยล์เย็นและไหลลงไปที่ถาดน้ำทิ้งก่อนถูกระบายออกนอกเตาอบแห้ง อัตราการดึงน้ำออก 31.11 กก./ชั่วโมง เท่ากับรูปที่ 3. และดึงความร้อนออก 62.27 kW จากนั้นอากาศส่วนนี้จะได้รับความร้อนจากคอยล์ร้อนจนมีอุณหภูมิ 80.2 เซลเซียสโดยใช้ความร้อนจากฮีทปั๊ม 61 kW เพื่อให้มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่สุด แล้วจึงปล่อยเข้าไปรับความชื้นจากวัตถุดิบในเตาอบแห้งตามรูปที่ 4. อากาศจะรับความชื้นจากวัตถุดิบจนมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นและมีอุณหภูมิต่ำลง เหลือ 59.5 เซลเซียส จากนั้นจึงวนมาคายความร้อนให้กับคอยล์เย็น จึงเป็นการหมุนเวียนความร้อนใช้สำหรับการอบแห้ง ซึ่งฮีทปั๊มใช้ไฟฟ้า 3-5 เท่าของความร้อนที่ผลิตได้ จึงใช้ไฟฟ้าเท่ากับ $61/4 = 15.25$ kW ซึ่งเป็นค่าความร้อนเท่ากับ

$15.25/31.11=0.49$ kW-hr/kg.น้ำ ในกรณีที่เป็นการอบแห้งลำไยที่ต้องดึงความชื้นออก 34.5% มีต้นทุนความร้อนเท่ากับ

$0.49 \times 2.8 \text{ Baht/kW-hr} \times 0.345 = 0.47$ บาท/kg.ลำไยดิบ

รูปที่ 4. การอบแห้งแบบควบคุมสภาวะอากาศหรือระบบปิด



การอบแห้งแบบควบคุมสภาวะอากาศหรือระบบปิดนี้มีข้อดีคือไม่ขึ้นกับสภาวะอากาศภายนอกเหมือนการ

อบแห้งแบบเปิด ซึ่งเมื่ออากาศภายนอกเปลี่ยนแปลงเช่นเมื่อฝนตกความชื้นเริ่มต้นของอากาศที่ใช้สำหรับการอบแห้งก็จะ

สูงตามไปด้วยทำให้มีผลกับระยะเวลาและคุณภาพของการอบแห้ง การอบแห้งแบบควบคุมสภาวะอากาศหรือระบบปิดจึง

สามารถควบคุมคุณภาพและระยะเวลาการอบแห้งได้อีกด้วย

ก๊าซเรือนกระจก

เนื่องจากฮีทปั๊มทำความร้อนได้ 4 เท่าของไฟฟ้าที่ใช้ การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงน้อยลงเหลือ 1/4 ของ

ก๊าซที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร้อนเท่ากัน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดในการผลิตไฟฟ้าทำให้เกิด

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตไฟฟ้า 0.51 kg./kW-hr ฮีทปั๊มจึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ

0.51/4=0.26 kg./kW-hr ความร้อนที่ใช้ ตารางที่ 4. แสดงปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการอบแห้งด้วย

เชื้อเพลิงต่างๆ จะเห็นว่าการใช้ฮีทปั๊มในการอบแห้งจะช่วยลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมาก

ตารางที่ 4.มูลค่าพลังงานและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการอบแห้ง

Fuel	Dryer 70 celcius		Dryer 100 celcius	
	Ener. cost Bht./kWh	CO2 kg./kWh	Ener. cost Bht./kWh	CO2 kg./kWh
Natural Gas for industrial boiler	6.18	1.06	8.82	1.51
LPG w/30%Subsidy: 3 Bht./kg	4.71	1.29	6.72	1.85
Diesel	14.41	1.47	20.59	2.10
Heavy Oil	6.94	1.59	9.92	2.27
Electricity	14.00	2.55	20.00	3.64

บทส่งท้าย

พลังงานที่ใช้ภายในประเทศเป็นการนำเข้าเชื้อเพลิงถึง 60 % เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าความร้อนไม่เท่ากัน มีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และการบำรุงรักษาตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างกัน นอกจากนี้ราคาของเชื้อเพลิงบางชนิดยังมีการสับสนุนในเรื่องราคาตามนโยบายของรัฐบาลอีกด้วย

การปรับปรุงประสิทธิภาพการอบแห้งจะต้องพยายามลดอุณหภูมิของอากาศที่จะต้องทิ้งให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน การอบแห้งในหลายหลายประเภทอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเกษตรไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูง เพื่อรักษาคุณค่าและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ จึงสามารถที่จะใช้ฮีทปั๊มในการอบแห้งได้

ฮีทปั๊มสามารถให้ความร้อนได้ในราคาที่ถูกลงกว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดแต่มีข้อจำกัดที่ทำอุณหภูมิสูงสุดได้เพียง 70 เซลเซียส ในกรณีที่ใช้การอบแห้งแบบเปิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 เซลเซียส ก็สามารถที่ใช้ฮีทปั๊มทำความร้อนก่อนที่จะใช้เชื้อเพลิงอื่นทำอุณหภูมิต่อซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานลงได้อย่างมากทำให้ต้นทุนการอบแห้งต่ำกว่า 0.50 บาท/กิโลกรัมของลำไยสด

การอบแห้งแบบควบคุมสภาวะอากาศหรือแบบปิดโดยใช้ฮีทปั๊มที่มีข้อดีที่สามารถอบแห้งได้โดยไม่มีผลกระทบ
จากสภาวะอากาศภายนอก สามารถควบคุมคุณภาพและเวลาการอบแห้งได้ดี และยังมีต้นทุนพลังงานต่ำสามารถอบแห้ง
ลำไยโดยต้นทุนต่ำกว่า 0.5บาท/กิโลกรัม

เมื่อฮีทปั๊มพีใช้พลังงานในการอบแห้งน้อย การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการอบแห้งจึงน้อยลงไปอย่าง
มาก(0.13กิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลวัตต์-ชั่วโมงความร้อน) จึงมีส่วนในการแก้ปัญหาเรื่องสภาวะโลกร้อนที่
มีประสิทธิภาพ