

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2 - 3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรมโนโวเทล เชียงใหม่

การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์ม Development of Oil Palm Fruit Drying System

บัญญัติ นิยมवास , สุธีระ ประเสริฐสรรพ และ ไพโรจน์ คีรีรัตน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
หาดใหญ่ สงขลา 90110
โทร/โทรสาร : 074-212893
E-Mail : fkj97@hotmail.com, psuteera@ratree.psu.ac.th, kpairaj@me.psu.ac.th

Banyat Niyomvas , Suteera Prasertsarn and Pairoj kirirat
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
Hadyai Songkla 90110, Thailand
Tel/Fax : 074-212893

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทดลองอบแห้งผลปาล์มด้วยระบบอบแห้งที่ได้รับการออกแบบใหม่ ซึ่งเป็นระบบอบแห้งที่มีถึง 2 ชั้น โดยที่ความดันอากาศในถังต่ำกว่าบรรยากาศ ถังอบชั้นบนจะใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากชั้นล่าง ระบบอบแห้งใช้ปีกไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง อบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 120 °C จากผลการศึกษาพบว่า ความชื้นผลปาล์มเริ่มต้น 29.9-41% (ฐานแห้ง) จะลดลงเหลือ 18-22.1% (ฐานแห้ง) ในเวลา 4 - 4.5 ชั่วโมง ระบบอบแห้งนี้สามารถอบแห้งผลปาล์มได้ปริมาณ 96.5 kg/h ผลปาล์มที่ได้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ

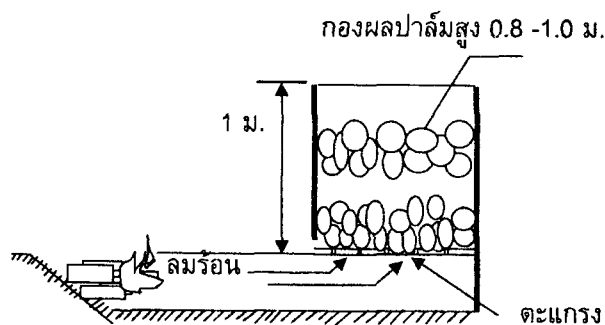
Abstract

The objective of this study is to test the new palm fruit drying system. The dryer has 2 drying chambers, which the pressure inside the dryer is below the atmosphere pressure. The upper drying chamber recovers waste heat from the lower drying chamber to predry the fruit. The furnace was design to be fuelled by rubber wood. Drying temperature is 120 °C. It was

found that the initial moisture content of 29.9-41 % (dry basis) was reduced to 18-22.1 % (dry basis) within 4-4.5 hours. The drying productivity is 96.5 kg/h.

1. บทนำ

การอบแห้งผลปาล์มเป็นขบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์ม ในสภาพปัจจุบันที่โรงงานหีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กปฏิบัติอยู่คือรับซื้อผลปาล์มร่วง ดังนั้นจึงต้องอบแห้งโดยเร็ว เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระ การอบแห้งทำในกะบะซีเมนต์ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 1 เมตร บรรจุผลปาล์มได้ครั้งละ 15 ตัน พื้นเป็นตะแกรงเหล็ก อากาศร้อนที่เข้าอบแห้งได้จากการเผาเชื้อเพลิงอาทิ ไม้ยางพารา หรือน้ำมันเตา (รูปที่ 1) การอบแห้งเช่นนี้ทำให้ในระยะแรกของการอบ ไขมันจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองปาล์มและอุณหภูมิชั้นบนยังต่ำอยู่ ซึ่งไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองแห้งไม่สม่ำเสมอกัน โดยผลปาล์มชั้นล่างอาจจะแห้งเกินไป (อาจเกรียม) ผลปาล์มที่แห้งเกินไปจะแข็งและทำให้สกัดน้ำมันออกง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่แห้งไม่สนิทจะมีน้ำปนทำให้ต้องมีกระบวนการกำจัดน้ำเพิ่มขึ้นหรือได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบการวางผลปาล์มในโรงงานแบบหีบรวม

กรรมวิธีการอบแบบนี้มีข้อเสียอันเนื่องจาก ไม่มีแรงดูดของอากาศจากด้านบนกองปาล์มทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากในระยะแรกที่กองปาล์มยังเย็นอยู่ อีกทั้งแรงต้านทานของกองปาล์มทำให้ต้องใช้พัดลมอัดลมร้อนเข้าใต้กะบอบแห้ง การให้อากาศโดยการอัดนี้ทำให้อากาศร้อนมีโอกาสรั่วไหลออกจากระบบได้ง่ายซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มต้นทุน นอกจากนั้น การอบชั้นหนาเกินไปทำให้ผลปาล์มแห้งไม่สม่ำเสมอ และมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวแล้วข้างต้น ในช่วงท้ายของการอบเมื่อผลปาล์มใกล้แห้งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมากโดยลมร้อนที่ปล่อยทิ้งจากระบบอาจจะมียุณหภูมิถึง 70°C ระบบแบบนี้มีเตาเผาเชื้อเพลิงซึ่งมักจะอยู่ระดับใต้พื้นทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพราะจำกัดอากาศเข้าสันดาป (ไม่มีอากาศปฐมภูมิ) ส่งผลให้เกิดเขม่ามาก ซึ่งจะเกาะกับผลปาล์มชั้นล่าง

ข้อเสียของวิธีปฏิบัติดังกล่าวทำให้การอบแห้งผลปาล์มจำเป็นต้องได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้ระบบที่อบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ (ใช้พลังงานต่ำ) และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ (แห้งสม่ำเสมอ) โดยจะยังคงใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่คือไม้ยางพาราหรือวัสดุเศษเหลือจากปาล์มเช่น แกนทะลาย ช่อทะลายและกลีบขั้วผล เป็นต้น

2. แนวคิดในการออกแบบ

2.1 หลักการทำงานของระบบ

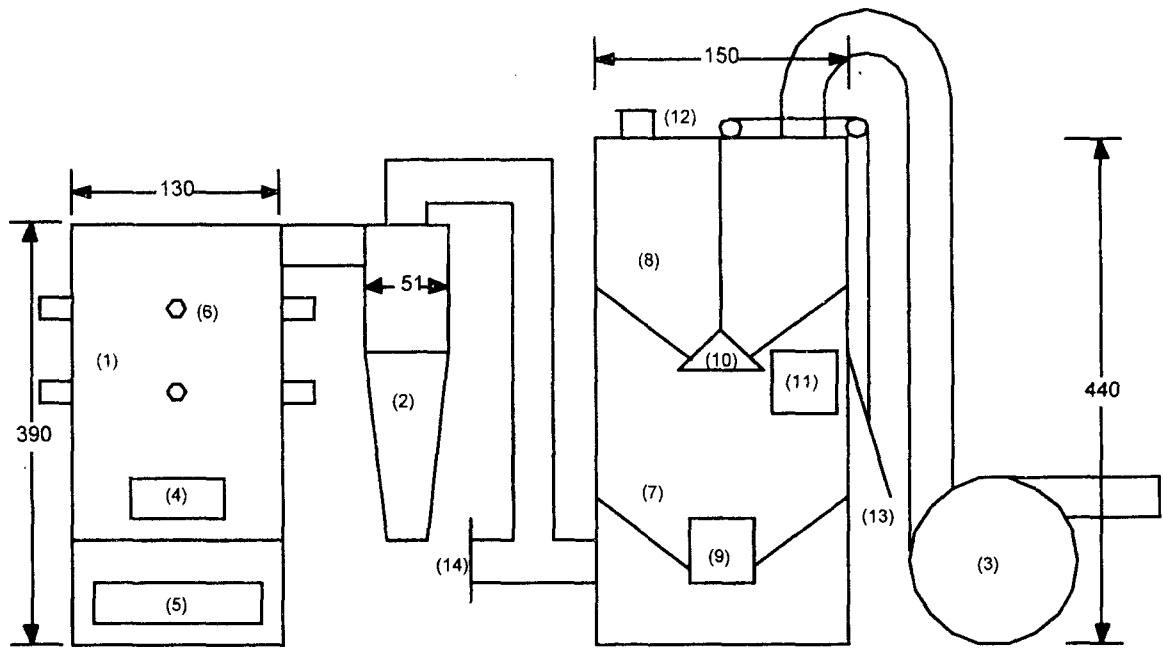
การออกแบบนี้ยึดหลักให้ได้ระบบที่ทำงานได้ง่ายมีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่ดีกว่าระบบอบแห้งแบบเดิม (ในขนาดที่เท่ากัน) โดยออกแบบแก้ไขข้อบกพร่องของระบบอบแห้งแบบเดิม โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

- เป็นระบบที่มีแรงดูดอากาศ (induced draft) เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนและมวล (ความชื้น) ได้เร็วขึ้น จะทำให้อบแห้งได้เร็วขึ้น
- อบโดยชั้นบางกว่าระบบเดิมเพื่อให้ผลปาล์มแห้งสม่ำเสมอ
- แบ่งการอบเป็น 2 ชั้นเพื่อให้ชั้นบนช่วยดึงพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนดีขึ้น
- เตาเผามีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบปัจจุบัน และควบคุมอุณหภูมิได้โดยการควบคุมอัตราการเผาไหม้ หรือผสมกับอากาศเย็น
- มีระบบตรวจวัดอุณหภูมิในห้องอบแห้ง
- มีระบบกรองเขม่าเพื่อให้อากาศอบแห้งสะอาดขึ้น
- มีระบบลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น

2.2 การออกแบบ

แบบของระบบอบแห้งแสดงได้ดังรูปที่ 2 ระบบประกอบด้วยส่วนหลัก 4 ส่วนคือ เตาเผาเชื้อเพลิง ไซโคลน ถังอบแห้ง และพัดลมดูดอากาศ ส่วนหลักทั้ง 4 นี้ต่อกันด้วยท่ออากาศ (มีพัดลมที่ปลายสุดเป็นอุปกรณ์ดูดอากาศ) เชื้อเพลิง (ปกติเป็นปึกไม้ยางพารา) เผาไหม้ในเตาเผา(1) ซึ่งควบคุมอัตราการเผาไหม้ได้โดยปรับช่องประตูอากาศปฐมภูมิ (5) และทุติยภูมิ (6) (ต้องควบคุมการเผาไหม้เพื่อควบคุมอุณหภูมิ) อากาศร้อนจะถูกกรองโดยไซโคลน (2) (กรองเขม่าขนาดโตกว่า 5 ไมครอน) แล้วจึงเข้าสู่ส่วนใต้ของถังอบแห้ง อุณหภูมิที่จุดนี้จะวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับอัตราการเผาไหม้) ในการออกแบบเตาเผาใช้ข้อมูลจาก [2,4] และไซโคลนอ้างอิงข้อมูลจาก [1,3]

ปาล์มในถังอบมี 2 ชั้น (ชั้นล่าง (8) เป็นปาล์มที่ผ่านการอบแห้งเบื้องต้นมาแล้ว ส่วนชั้นบนเป็นปาล์มสด) อากาศร้อนจะอบปาล์มชั้นล่างก่อน จากนั้นจะถูกดูดไปอบปาล์มชั้นบน ก่อนจะถูกดูดทิ้งไป เมื่อผลปาล์มชั้นล่างแห้งดีแล้ว ก็จะถูกนำออกทางประตูด้านล่าง (9) จากนั้นจะเปิดวาล์วของถังชั้นบน (11) เพื่อให้ปาล์มชั้นบนตกลงมาสู่ถังชั้นล่างเพื่ออบต่อ ในขณะที่เดียวกันกับบรรจุผลปาล์มสดสู่ถังชั้นบนโดยสกรูลำเลียง (ไม่ปรากฏในรูปที่ 2) ได้สร้างระบบอบแห้งตามที่ออกแบบไว้เพื่อทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (รูปที่3)



รูปที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบอบแห้ง

- | | |
|---|----------------------------------|
| (1) เตาเผาเชื้อเพลิง | (8) ถังอบชั้นล่าง |
| (2) ไซโคลน ชนิด long cone cyclone | (9) ประตูเพื่อเอาผลปาล์มออก |
| (3) พัดลมดูดอากาศ มอเตอร์ไฟฟ้า 3 phase ขนาด 20 Hp | (10) วาล์วถังอบชั้นบน |
| (4) ประตูปฐมภูมิ | (11) หน้าต่างดูปาล์ม |
| (5) ประตูทุติยภูมิ | (12) ช่องใส่ปาล์ม |
| (6) รูอากาศทุติยภูมิ | (13) คันชักเปิดปิดวาล์ว |
| (7) ถังอบชั้นบน | (14) ประตูอากาศเย็นภายนอกเข้าผสม |



รูปที่ 3 ระบบอบแห้งผลปาล์ม ประกอบด้วย ถังอบ เตาเผา ไซโคลน และ สายพานลำเลียง

3. วิธีการทดลองและอุปกรณ์

3.1 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดระหว่างการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดจะให้ข้อมูลการใช้พลังงานและความสามารถอบแห้งของระบบใหม่ ในการทดลองนี้จะตรวจวัด

- อัตราการใช้ไม้ฟืน
- ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของผลปาล์ม โดยที่ความชื้นเริ่มต้นนั้นจะสุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มสด ปริมาณ 500 กรัม และนำไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้า (Memmert model 400) ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 120°C ใช้เวลาอบประมาณ 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักผลปาล์มที่อบลดลงต่ำกว่า 0.01 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งโดยตาชั่งดิจิตอล (Sartorius รุ่น BP3100S พิกัด

3,100 กิโลกรัม) ความชื้นสุดท้ายก็ทำการหาเช่นเดียวกัน

- อุณหภูมิก๊าซร้อนที่ออกจากไซโคลน ที่ได้ถึงอบ ที่เหนือปาล์มชั้นล่าง ที่ออกจากถังอบชั้นบน และอุณหภูมิที่ชั้นต่างๆของผลปาล์ม วัดโดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (ยี่ห้อ Fluke ความละเอียด 0.1 °C) และใช้สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K ต่อจากจุดต่างๆมายังดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ โดยวัดจาก กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ (ยี่ห้อ Siemens D22 ความละเอียด 0.01 kWh)
- อัตราการไหลของอากาศ โดยใช้ Pitot Tube และ U -Tube Manometre

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มโดยการอุ่นเตาเผาให้ร้อนแล้วบรรจุผลปาล์มในถังทั้ง 2 ชั้น ตามปริมาณที่กำหนด (380-450 kg) ควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนโดยปรับประตูอากาศปฐมภูมิเพื่อควบคุมอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศทุกๆ 15 นาที ในระยะแรกของการอบ และขยายเวลาการตรวจวัดเป็นทุกๆ 30 นาที เมื่อสังเกตพบว่าอุณหภูมิเหนือกองปาล์มชั้นล่างมีค่าคงที่ที่ประมาณ 70-80 °C นำผลปาล์มส่วนบนของถังอบชั้นล่างมาตรวจสอบการแห้งด้วยสายตา โดยเปรียบเทียบลักษณะผิวการหดตัวของผลปาล์มกับผลปาล์มแห้งที่อบจากโรงงานหยุดเตาเผาเมื่อพบว่าผลปาล์มมีความชื้นตามต้องการ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาอัตราการผลิต และพลังงานจำเพาะ

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลอง ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1 การทดลองทั้ง 3 ครั้งนั้น ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) จึงเป็นการทดลองที่แสดงถึงสมรรถนะของระบบซึ่งสามารถอบแห้งผลปาล์มแต่ละงวดได้ในเวลา 4-4.5 ชั่วโมง ได้อัตราการผลิต 96.5 kg/h ซึ่งต่ำกว่าระบบเดิมที่กำลังการผลิต 500 kg/h สาเหตุเป็นเพราะระบบใหม่มีขนาดเล็กกว่ามาก การเปรียบเทียบที่ถูกต้องควรใช้ค่าสัมพัทธ์ซึ่งมี 2 แนวทางในการเปรียบเทียบคือ

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

การทดลองที่	ความชื้นเริ่มต้น (%db)	ความชื้นสุดท้าย (%db)	น้ำหนักปาล์ม (kg)	เวลา(h)	ไม้พิน (kg)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1	41	18	400	4	78	19
2	37.5	22	450	4.5	87	18
3	29.9	22.1	380	4.25	81	20

1. กำลังการผลิตต่อพื้นที่ต่อความหนาของชั้นอบ ซึ่งเป็นค่าที่ normalize อิทธิพลของพื้นที่ และเป็นการแสดงผลของ induced draft ในระบบอบแบบใหม่ ที่ช่วยให้การระเหยน้ำในแนวความหนาเป็นไปอย่างรวดเร็วด้วย ตัวเลขเปรียบเทียบ แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อพื้นที่ต่อความหนาของชั้นอบ

	ระบบเดิม	ระบบใหม่
กำลังการผลิต(kg/h)	500	96.5
พื้นที่กะบะ (m ²)	25	1.77
ความสูงชั้นอบ (m)	1	0.4
กำลังการผลิตnormalize (kg/m ³ -h)	20	136.5

จะเห็นว่าหากขนาดปริมาตรปาล์มในถังอบเท่ากัน ระบบใหม่สามารถให้กำลังการผลิตได้สูงกว่า 6.8 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นผลของ induced draft ที่สร้างความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การอบชั้นบางกว่าและการอุ่นผลปาล์มในถังอบชั้นบนของระบบใหม่

2. พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการผลิต

พลังงานจำเพาะ (MJ/kg-palm) แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งสะท้อนถึงค่าใช้จ่ายจากพลังงานไฟฟ้าและความร้อนซึ่งนับวันจะเป็นสัดส่วนต้นทุนที่สูงขึ้น พลังงานจำเพาะของระบบทั้ง 2 แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการผลิต

	ระบบเดิม	ระบบใหม่
กำลังการผลิต (ตัน)	15	0.41
เวลาต่อกะ (ชม)	30	4.25
ใช้น้ำมันเตา (ลิตร)	500	-
ใช้ไม้ฟืน (กก.)	-	82
ใช้ไฟฟ้า (kWh)	130	19
พลังงานจำเพาะ (MJ/kg-palm)	1.36	0.98

* ไฟฟ้า 1 kWh = 3.6 MJ

น้ำมันเตา 1 ลิตร = 39.8 MJ

ไม้ฟืน 1 กก. = 13.7 MJ (ความชื้น 30% db)

จากตารางจะเห็นว่าระบบใหม่ใช้พลังงานจำเพาะน้อยกว่าระบบเดิม 28% นอกจากนั้นระบบเดิมซึ่งใช้น้ำมันเตาซึ่งมีราคา 5.5 บาท/ลิตร หรือ 0.14 บาท/MJ เป็นเชื้อเพลิงราคาแพงกว่าไม้ฟืนซึ่งมีราคา 0.5 บาท/กก. หรือ 0.03 บาท/MJ นอกจากนั้นหากระบบเดิมเปลี่ยนมาใช้ไม้ฟืนก็จะมีต้นทุนเชื้อเพลิงสูงกว่าระบบใหม่เพราะนอกจากค่าพลังงานจำเพาะจะสูงกว่าแล้ว เตาเผาชีวมวลแบบเดิมก็ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าด้วย ระบบใหม่นี้มีข้อดีเหนือกว่าระบบเก่าคืออบแห้งได้สม่ำเสมอ สะอาดกว่าและใช้ไม้ฟืนเพียง 200 กก./ตันปาล์มสดหรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง 100 บาท/ตันปาล์มสด หากพิจารณาในประเด็นต้นทุนพลังงาน โดยกำหนดราคาพลังงานไฟฟ้า 2 บาท/kWh จะพบว่าระบบทั้ง 2 มีต้นทุนพลังงานจำเพาะใกล้เคียงกันคือ 200 บาท/ตัน ทั้งนี้เพราะระบบใหม่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kWh/ton) มากกว่า แต่ก็ได้ผลตอบแทนในรูปของอัตราการผลิตสูงกว่า อย่างไรก็ตามหากราคาน้ำมันเตาสูงขึ้น ระบบใหม่ก็จะได้เปรียบในเรื่องต้นทุนพลังงานมากขึ้น เพราะระบบเดิมนั้นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อน (น้ำมันเตา) สูงเป็น 10 เท่าของค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ระบบเดิมจึง sensitive กับราคาน้ำมันเตามาก

ระบบนี้สามารถอบผลปาล์มได้ด้วยอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอโดยอุณหภูมิชั้นล่างสูงกว่าอุณหภูมิชั้นบนประมาณ 6.8 °C ความแตกต่างตามแนวความหนาของ bed ค่อนข้างต่ำซึ่งมีผลที่ผลปาล์มจะแห้งพร้อมกัน อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆในชั้นเดียวกันต่างกันมาก(สูงสุด 38 °C) เพราะมีการรั่วที่หน้าแปลน ซึ่งยังคงเป็นจุดด้อยของระบบที่สามารถแก้ไขได้โดยออกแบบไม่ให้มีหน้าแปลน

อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้ยังน้อยกว่ากะแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

เมื่อผลปาล์มถึงล่างแห้งดีแล้วพบว่าปาล์มถึงบนมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C และความชื้นเหลืออยู่ 36.13% (ฐานแห้ง) ซึ่งหากคำนวณจากความร้อนสัมผัส (อัตราการไหลของลมร้อน 1.856 m³/s อุณหภูมิประมาณ 100 °C) จะพบว่าถึงชั้นบนช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนไว้ได้เท่ากับ 198.9 MJ (เทียบเท่าไม้ฟืน 14.5 กิโลกรัม) นอกจากนั้นการที่ปาล์มในถังบนถูกอบแห้งล่วงหน้าเช่นนี้ทำให้ระยะเวลาการอบแห้งในถังล่างสั้นลง การนำความร้อนมาใช้เพื่ออุ่นผลปาล์มที่ถึงชั้นบน และการมีความดันในถังต่ำกว่าบรรยากาศ (ช่วยให้ความชื้นกลายเป็นไอน้ำได้ง่ายขึ้นและเพิ่มอัตราการแพร่ของน้ำจากในผลปาล์ม) จึงเป็นจุดเด่นของระบบนี้ กล่าวโดยสรุป ระบบใหม่มีข้อดีกว่าระบบเดิมทั้งทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

5. สรุป

จากผลการศึกษาทำให้สรุปได้ว่า

1. ระบบอบแห้งผลปาล์มแบบใหม่เป็นระบบดูดอากาศทำให้ความดันภายในถังอบต่ำกว่าบรรยากาศช่วยให้ระเหยน้ำได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะน้ำที่กลั่นตัวที่ปาล์มชั้นบน ซึ่งมีจำนวนมากและเป็นต้นเหตุของปัญหาของคุณภาพการอบแบบเดิม อีกทั้งยังช่วยให้อากาศไหลผ่านกองปาล์มได้อย่างสม่ำเสมอ
2. ระบบถังอบ 2 ชั้น ทำให้ประหยัดพลังงานลงได้มาก เพราะปาล์มชั้นบนทำหน้าที่ recovery พลังงาน ซึ่งในการอบแบบเดิมจะปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ
3. สามารถอบผลปาล์มได้คุณภาพสม่ำเสมอมากกว่าระบบอบแห้งแบบเดิม

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ได้สนับสนุนด้านทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cavaseno, Vincent, 1980. Industrial Air Pollution Engineering, New York Chemical Engineering McGraw-Hill ,298 p.
- [2] Glinkov, M.A., 1980. A General Theory of Furnace, Moscow Mir, 286 p.
- [3] Nonhebel, G., 1972. Gas Purification Process for Air Pollution Control, London Newnes, 697 p.
- [4] S.P. Sharma, Chander Mohan, 1987. Fuel and Combustion, TaTa McGrawh-Hill Publishing Co., Ltd.