รหัสโครงการ SUT7-703-54-12-63

รายงานการวิจัย

การศึกษาต้นแบบการลดความชื้นกากมันสำปะหลังโดยใช้ระบบอบแห้งแบบโรตารี่

(A study on the prototype of cassava pulp dehydration using a rotary drying system)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-703-54-12-63

รายงานการวิจัย

การศึกษาต้นแบบการลดความชื้นกากมันสำปะหลังโดยใช้ระบบอบแห้งแบบโรตารี่

(A study on the prototype of cassava pulp dehydration using a rotary drying system)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

วีรชัย อาญูหาญ	พรรษา ลิบลับ	ทิพย์สุภินทร์ หินซุย
ณัฐพงษ์ ประภาการ	สุภัทร หนูแย้ม	สาวิตรี คำหอม
ธนธัช มุขขันธ์	ปภัส ชนะโรค	ธราวุธ บุญน้อม
ศรัลย์ ปานศรีพงษ์	นัยวัฒน์ สุขทั่ง	วิเชียร ดวงสีเสน
กิตติยาภรณ์ รองเมือง	กฤษกร รับสมบัติ	ปัญญา หันตุลา
กงจักร ลมวิชัย	เฉลิมขวัญ อริยะวงศ์	สืบพงษ์ ใบแย้ม
	เกียรติศักดิ์ ใจโต	

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2556

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2554 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 1 ปี ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผู้ร่วมวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการร่วมทดสอบ รวบรวมข้อมูล และสนับสนุนข้อมูลที่จำเป็นในการทำรายงานการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค
หัวหน้าโครงการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการเพิ่มคุณค่าของกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการลดความชื้น และมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดเวลาและพื้นที่จากวิธีลดความชื้นแบบดั้งเดิม(การตากบนลานปูน) โดยแนวทางในการดำเนินงานคือ (1) การศึกษาความสามารถในการลดความชื้นแบบตากแห้งบนลานปูน และ (2) การศึกษาการลดความชื้นผ่านกระบวนการทางกล และทางความร้อนโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ และเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

จากการศึกษาพบว่ากากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง(บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด) มีความชื้นเริ่มต้น 81.10% (w.b.) ในพื้นที่ 1 งาน(400 ตารางเมตร) สามารถตากกากมันสำปะหลังได้ 17,100 กิโลกรัม ได้กากมันสำปะหลังแห้งปริมาณ 3,665 กิโลกรัม ที่ความชื้น 11.82% (w.b.) หลังจากตากเป็นเวลา 12 วัน โดยแต่ละวันมีการกลับกอง 8 ครั้ง

ส่วนการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ พบว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ซึ่งมีความชื้น 68.5 % (w.b.) จำนวน 40 กิโลกรัม (หรือคิดเป็น 14% ของถังอบ) สามารถถูกลดความชื้นให้เหลือ 13.8 % (w.b.) ได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ได้นี้คิดเป็น 61.23 % ของปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งทั้งหมด ส่วนที่เหลือ (38.77 %) ซึ่งเป็นกากมันสำปะหลังแห้งที่ลอดผ่านรูตะแกรง จะต้องถูกนำไปอบลดความชื้นเพิ่มเติมอีกครั้ง จากการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า การลงทุนสร้างสายการผลิตตั้งแต่ เครื่องลดความชื้นกากมันสำปะหลังด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์ สายพานลำเลียง และเครื่องอบแห้ง มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี โดยมีอัตราผลตอบแทนการลงทุน 16.10%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ABSTRACT

This research is concerned with the increase value of cassava pulp, which is by-product from starch manufacturing industry, by means of moisture removal. The main aim is to reduce the huge time and space generally required by the traditional method (drying on cement floor). The research procedures consists of: (1) study of cassava pulp drying on cement floor and (2) study of cassava pulp drying based on mechanical and thermal methods using an extruder and a rotary screen dryer, respectively.

Results showed that cassava pulp obtained from starch manufacturing factory (Korat Flour Industry Co., Ltd.) had an average initial moisture content of 81.10% (w.b.). Approximately 17,100 kg of wet cassava pulp required 400 m^2 of cement floor and the dried cassava pulp of 3,665 kg at 11.82% (w.b.) moisture content was attained after 12 day. On each day, the cassava pulp was turned 8 times.

The drying of cassava pulp using a rotary screen dryer showed that 40 kg (accounting for 14% of the total rotary chamber volume) of extruded pulp at 68.5% (w.b.) moisture content was dried to 13.8% (w.b.) moisture content within 1.5 hour. About 61.23% of the total dried pulp remained in the rotary chamber, while the rest fell to the bottom of the dryer and needed to be dried again. An economic cost analysis of the whole process, including an extruder, belt conveyor and rotary screen dryer indicated that the payback period is 5 years at 16.10% rate of return.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
3 ขอบเขตของการวิจัย	2
4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
1 กากมันสำปะหลัง	3
2 การอบแห้ง	4
3 จลนศาสตร์การอบแห้ง	5
4 ความชื้นวัสดุ	7
5 การหาปริมาณความชื้น	8
6 ชนิดของการอบแห้ง	9
7 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ โรตารี่	9
บทที่ 3 เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย	
1 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่	11
1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง	11
1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์	11
1.1.2 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง	11
1.2 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่สำหรับลดความชื้นกากมันสำปะหลัง	13
1.3 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่	15
1.3.1 วัสดุและอุปกรณ์	16
1.3.2 การประเมินสมรรถนะ	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2 การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลาน	17
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	18
2.2 การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลาน	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
1 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่	20
1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง	20
- การหาค่าความชื้น	20
- การหาค่าความหนาแน่น	21
- สมบัติทางความร้อน	21
- การศึกษาลักษณะปรากฏของกากมันสำปะหลัง	22
1.2 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่สำหรับลดความชื้นกากมันสำปะหลัง	22
1.3 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่	23
2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	26
3 การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลาน	29
บทที่ 5 บทสรุป	
บทสรุป	35
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ประวัติผู้วิจัย	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกากมันสำปะหลัง 3

ตารางที่ 2-2 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง 9

ตารางที่ 3-1 ตารางสภาวะที่ใช้ใน การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลาน 18

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองหาค่าความชื้นเปียกของกากมันสำปะหลังสด 20

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังแบบผ่านการลดความชื้นทางกล 21

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองค่าความหนาแน่น 21

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าองค์ประกอบโดยประมาณของกากมันสำปะหลัง 21

ตารางที่ 4-5 ผลการทดลองการอบแห้งกากมันสำปะหลัง 24

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองอบแห้งกากมันสำปะหลัง 26

ตารางที่ 4-7 ประมาณการค่าจ่ายในการลงทุนระบบการอบแห้งกากมันสำปะหลัง 28

ตารางที่ 4-8 คุณสมบัติแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเหง้ามันสำปะหลัง 29

ตารางที่ 4-9 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้ 30

ตารางที่ 4-10 ระยะเวลาการอบแห้งและผลผลิตต่อพื้นที่ 32

ตารางที่ 4-11 ผลการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานบนพื้นที่ 1 งาน 33

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 Schematic of the food drying phenomenon 4

รูปที่ 2-2 การลดลงของความชื้นวัสดุ 6

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างกากมันก่อนอบและหลังอบ 12

รูปที่ 3-2 การทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ 13

รูปที่ 3-3 ถังทรงกระบอกหมุนที่ปรับปรุงแล้ว 14

รูปที่ 3-4 ระบบขับเคลื่อน 14

รูปที่ 3-5 ชุดควบคุมความร้อน 15

รูปที่ 3-6 เครื่องอบแห้งที่ออกแบบและปรับปรุงใหม่ 15

รูปที่ 3-7 กากมันสำปะหลังที่อบแห้งโดยไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้นทางกล 16

รูปที่ 3-8 การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานคอนกรีตขนาดใหญ่ 17

รูปที่ 3-9 ผังการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานคอนกรีต 18

รูปที่ 3-10 ผังการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานคอนกรีต 19

รูปที่ 3-11 การเก็บข้อมูลความชื้น 19

รูปที่ 3-12 คลุมผ้าใบในช่วงกลางคืนไม่มีแสงแดด 19

รูปที่ 3-13 เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ 19

รูปที่ 4-1 กากมันสำปะหลังสด(a)และกากมันสำปะหลังอัดรีดจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์(b) 22

รูปที่ 4-2 กากมันสำปะหลังส่วนที่ผ่านตะแกรง 22

รูปที่ 4-3 กากมันสำปะหลังส่วนที่ยังคงค้างภายในถัง 23

รูปที่ 4-4 กากมันสำปะหลังที่ผ่านรูตะแกรง 24

รูปที่ 4-5 กากมันสำปะหลังที่ค้างในถังอบ 25

รูปที่ 4-6 ค่าพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 25

รูปที่ 4-7 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์วันที่ 28 พฤศจิกายน ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2555 30

รูปที่ 4-8 ลักษณะความเสียหายที่เกิดจากการตากลานที่ความหนา 4 และ 6 เซนติเมตร ไม่กลับกอง 31

รูปที่ 4-9 ลักษณะความชื้นที่ลดลงตากแบบกลับกอง 32

รูปที่ 4-10 ลักษณะความชื้นที่ลดลงตากแบบไม่กลับกอง 32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์

q_c	Heat transfer
n_w	Mass transfer
HHV	ค่าปริมาณความร้อน
%Ash	Ash
%VM	Volatile matter
%FC	ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอน
SEC	Specific Energy Consumption (MJ/kg_{water})
HHV_{LPG}	Higher heating value liquefied petroleum gas (kJ/kg)
W_{loss}	น้ำหนักน้ำที่หายไประหว่างลดความชื้น (kg)
IRR	Internal Rate Return
h_g	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
k_g	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
M_w	ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก
M_d	ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง
w.b.	Wet basis (มาตรฐานเปียก)
d.b.	Dry basis (มาตรฐานแห้ง)
ρ_b	ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m3)
DR	Drying Rate

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานมีความสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศ และในปัจจุบันประเทศไทยกำลังมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงมากขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการขนส่ง แต่เนื่องจากแนวโน้มราคาพลังงานจากน้ำมัน ก๊าซ และถ่านหิน มีแนวโน้มราคาสูงขึ้นและมีปริมาณที่ลดลง พลังงานทางเลือกจึงได้รับการสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวล ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก ซึ่งหากมองไปที่พืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของไทย เช่น ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง จะพบว่ามีของเหลือใช้ และผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนหลากหลาย เมื่อทำการโฟกัสลงมายังพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะจังหวัดนครราชสีมาจะพบว่าจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) หัวมันสดที่ได้จะแปรรูปเป็นแป้ง มันเส้น และมันอัดเม็ด ในอุตสาหกรรมแป้งนั้นจะมีผลพลอยได้คือ เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง โดยหัวมันสำปะหลังสดหนึ่งตันจะให้ปริมาณเปลือกมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง ประมาณ 30 kg และ 60 kg ตามลำดับ ในปัจจุบันเปลือกมันสำปะหลังนี้จะถูกนำไปปลูกเห็ดและทำเป็นอาหารสัตว์ ส่วนกากมันสำปะหลังซึ่งมีส่วนประกอบ (น้ำหนักแห้ง) ได้แก่ แป้ง เส้นใย โปรตีน ไขมัน และ เถ้า ในอัตราส่วน 56%, 35.9%, 5.3%, 0.1% และ 2.7% ตามลำดับ กากมันสำปะหลังที่ออกมาจากโรงงานจะมีความชื้นสูง หรือ ประมาณ 60-70%w.b. และเป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก เนื่องจากมีข้อเสียก็คือ มีกลิ่นเหม็นซึ่งรบกวนกับชุมชนที่อยู่รอบข้าง ในปัจจุบันได้มีการใช้เอนไซม์สองชนิด คือ pectinase และ cellulose ในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแป้ง ทำให้ได้กากมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งน้อยลง ซึ่งหากนำกากมันสำปะหลังนี้มาทำให้แห้ง สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หรือนำไปใช้ในเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ ปัจจุบันการลดความชื้นกากมันสำปะหลังยังใช้วิธีการตากบนพื้นคอนกรีตขนาดใหญ่ในช่วง 8 เดือนที่ไม่มีฝนตก แต่ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน ซึ่งส่วนใหญ่ฝนจะตกหนักก็จะทำให้ตากไม่ได้ ทำให้เกิดปัญหาในการจัดการ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อนำมาลดความชื้นกากมันสำปะหลังจะก่อให้เกิดศักยภาพในการนำกากมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ต่อไปอย่างมาก

2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบในการผลิตวัตถุดิบกากมันสำปะหลังแห้งสำหรับผลิตพลังงานทดแทนด้วยระบบอบแห้งแบบโรตารี่

2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการลงทุนอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่กับการตากลาน

3 ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบ สร้าง/พัฒนาเครื่องอบแห้งกากมันสำปะหลังแบบโรตารี่ และทำการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะโดยใช้กากมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าการลงทุนกับการศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังแบบตากลานคอนกรีตขนาดใหญ่ โดยดูจากค่าอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ(Internal Rate of Return) และค่าอัตราส่วนผลประโยชน์สุทธิการลงทุน(Net Benefit Investment Ratio)

4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ทราบคุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งกากมันสำปะหลัง

4.2 สามารถหาแนวทางในการพัฒนาเครื่องอบแห้งกากมันสำปะหลังเพื่อใช้ทดแทนการตากลานซึ่งต้องใช้พื้นที่มาก

4.3 เป็นทางเลือกในการจัดการกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น เอทานอล เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1 กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้หลายชนิดเช่น การนำไปเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ นำไปสกัดแป้งเพื่อการผลิตเอทานอล เป็นต้น ในปัจจุบันมูลค่าทางการค้าของกากมันสำปะหลังยังคงมีมูลค่าสูงอยู่ ซึ่งจากสถิติการนำเข้า-ส่งออกของสำนักงานเศรษฐกิจทางการเกษตร พบว่าในช่วงปี 2550-2555 มีแนวโน้มมูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ดังแสดงใน**ตารางที่ 2-1** โดยปี 2550 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 1,379 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปียกเว้นปี 2552 และในปี 2555 พบว่ามีมูลค่าสูงถึงประมาณ 2,500 ล้านบาท ซึ่งยังไม่รวมข้อมูลการส่งในเดือนธันวาคม ซึ่งถือได้ว่าเป็นสินค้าที่สร้างรายได้เข้าประเทศที่สูงและน่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง

ตารางที่ 2-1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกากมันสำปะหลัง(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556)

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2550	407,327,195	1,379,040,874.00
2551	331,775,883	1,562,585,940.00
2552	434,953,394	1,059,531,847.00
2553	537,272,055	1,614,298,142.00
2554	421,532,426	1,969,455,887.00
2555*	552,482,433	2,465,588,921.00

หมายเหตุ * ไม่รวมข้อมูลเดือนธันวาคม

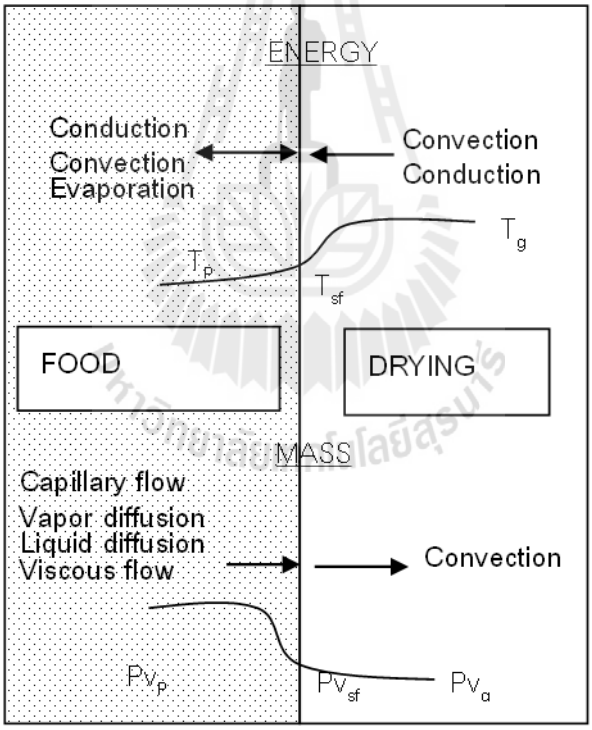
กากมันสำปะหลังที่ออกมาจากโรงงานจะมีความชื้นสูง หรือ ประมาณ 60-70%w.b. และเป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก เนื่องจากมีข้อเสียก็คือ เน่าเสียได้ง่าย ทำให้มีกลิ่นเหม็นรบกวนกับชุมชนที่อยู่รอบข้าง ในปัจจุบันได้มีการใช้เอนไซม์สองชนิด คือ pectinase และ cellulose ในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแป้ง ทำให้ได้กากมันที่มีปริมาณแป้งน้อยลง ซึ่งหากนำกากมันสำปะหลังนี้มาทำให้แห้ง สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ โดยการทำแห้งกากมันสำปะหลังในปัจจุบันยังใช้วิธีการตากบนพื้นคอนกรีตขนาดใหญ่ในช่วง 8 เดือนที่ไม่มีฝนตก แต่ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน ซึ่งส่วนใหญ่ฝนจะตกหนักก็จะทำให้ตากไม่ได้ ทำให้เกิดปัญหาในการจัดการ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อนำมาลดความชื้นกากมันสำปะหลังจะก่อให้เกิดศักยภาพในการนำกากมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ต่อไปอย่างมาก

2 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้งเป็นการดึงความชื้นซึ่งก็คือปริมาณน้ำออกจากเนื้อวัสดุโดยมีจุดประสงค์เพื่อความเหมาะสมต่อการเก็บรักษาคือสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และประหยัดเนื้อที่เนื่องจากการอบแห้งทำให้มีปริมาตรและน้ำหนักที่ลดลง การอบแห้งโดยทั่วไปมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังการอบแห้ง ทั้งในเรื่องของสี กลิ่นและรสชาติ ระหว่างการอบแห้งมีกระบวนการถ่ายเทเกิดขึ้นคือ การถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกไปยังผิวหน้าของวัสดุอาหาร และ การถ่ายเทมวลจากข้างในไปยังผิวของวัสดุอาหาร เนื่องมาจากการถ่ายเทความชื้นสู่สิ่งแวดล้อม**รูปที่ 2-1** พลังงานถ่ายเทสู่วัสดุอบแห้งโดย

2.1 การพาความร้อน เกิดขึ้นเมื่อพลังงานสำหรับการระเหยได้รับจากกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ ดังเช่น การอบแห้งแบบถาด, belt-conveyor, flash, fluid-bed และ spray drying

2.2 การนำความร้อน เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสัมผัสกับผิวร้อนดังในกรณีของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหรือ rotary dryer



รูปที่ 2-1 Schematic of the food drying phenomenon

ที่มา Guillermo et al. (1997)

การส่งผ่านความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นโดยการนำเนื่องจาก internal gradient ของอุณหภูมิและมีเพียงเล็กน้อยที่เกิดจากการพาเนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้น การเคลื่อนที่ความชื้นของวัสดุอาหารอาจเกิดขึ้นจากกลไกการถ่ายเทที่ต่างกันคือ

- Capillary flow เนื่องจาก gradients ของ capillary suction pressure
- การแพร่กระจายของเหลวเนื่องจาก gradient ของความเข้มข้น
- การแพร่กระจายของไอเนื่องจาก partial vapor-pressure gradients
- Viscous flow เนื่องจาก total pressure gradient ซึ่งมีสาเหตุมาจากความดันภายนอกหรืออุณหภูมิที่สูง

การถ่ายเทมวลจากผลิตภัณฑ์ไปสู่สิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นหลักๆ เนื่องจากการพาความร้อนเนื่องมาจากความแตกต่างของ partial vapor pressure ที่ boundary layer ในบริเวณรอยต่อของอากาศและผลิตภัณฑ์ การระเหยโดยตรงเกิดขึ้นเมื่อความดันไอในผิวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ อย่างเช่นในกรณีนี้ของ vacuum drying และ freeze drying

การอบแห้งแบบการพาความร้อน สภาวะขอบสำหรับ heat flux q_c และอัตราการระเหย n_w จะอยู่ในรูป

$$\text{Heat transfer} \longrightarrow q_c = h_g(T_{sf} - T_g) \quad (1)$$

$$\text{Mass transfer} \longrightarrow n_w = k_g(P_{vsf} - P_{va}) \quad (2)$$

เมื่อ h_g คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

k_g คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

T_{sf} คือ อุณหภูมิพื้นผิวผลิตภัณฑ์

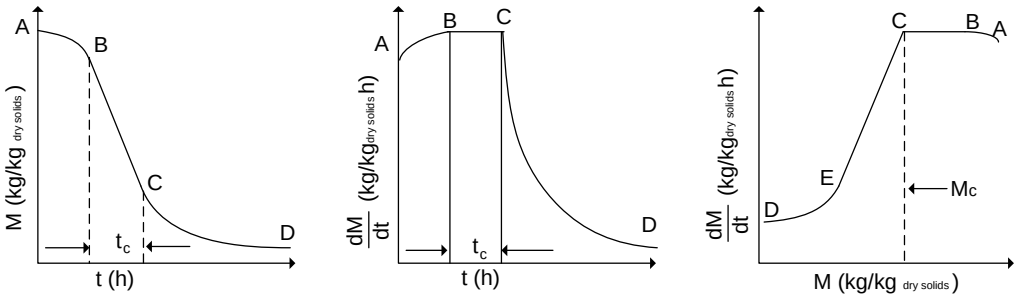
T_g คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง

P_{vsf} คือ water vapor partial pressure of surface

P_{va} คือ water vapor partial pressure of air

3 จลนศาสตร์การอบแห้ง (Drying kinetics)

การอบแห้งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยพฤติกรรมการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกจากวัสดุ เมื่อสมมติให้ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศเหนือผิวของวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการและมีการถ่ายเทความร้อนสู่วัสดุโดยการพาความร้อน การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตลอดระบวนการอบแห้งแสดงใน**รูปที่ 2-2** โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 3 ช่วงคือ



รูปที่ 2-2 การลดลงของความชื้นวัสดุ
ดัดแปลงจาก Brennan et al. (1990)

ช่วง A-B ช่วงนี้เป็นช่วงสภาวะที่ผิวของวัสดุเข้าสู่สมดุลกับอากาศเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการอบแห้ง ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทสู่ผิววัสดุจนถึงค่า ๆ หนึ่งซึ่งมีความสมดุลระหว่างผิววัสดุกับอากาศ

ช่วง B-C ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่(constant rate period of drying) ช่วงนี้ผิววัสดุยังคงชุ่มไปด้วยน้ำซึ่งจะถูกนำออกจากผิววัสดุด้วยการระเหยซึ่งอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวของการอบแห้ง อัตราการถ่ายเทมวลมีความสมดุลกับอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง

ช่วง C-D ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง(falling rate period) เนื่องจากปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่มาสู่ผิวด้านนอกลดลง ณ จุด C ใน รูปที่ 2-2 อัตราการอบแห้งเริ่มลดลงความชื้นของวัสดุที่จุดนี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ โดยปกติช่วงอัตราการอบแห้งลดลงประกอบไปด้วยสองช่วงคือ ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 1 (C-E) ช่วงนี้ผิวของวัสดุจะแห้งและอัตราการอบแห้งลดลง ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 2 (E-D) ช่วงนี้ระนาบของการระเหยจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุและผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น อัตราการไหลของอากาศ มีค่าน้อยลง เมื่อพิจารณาตลอดกระบวนการอบแห้งจะพบว่าช่วงของการอบแห้งลดลงเป็นช่วงหลักที่เกิดขึ้น

อัตราการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปที่ใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วนั้นมีปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ

- ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ถ้าสภาพทางธรรมชาติของวัสดุเอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำภายในเนื้อวัสดุและเอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำออกจากวัสดุ เช่น วัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนโมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสามารถเคลื่อนที่ออกมาได้ง่ายทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

- ขนาดและรูปร่างของวัสดุ วัสดุที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรมาก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนให้ทั่วชิ้นวัสดุทำให้การระเหยน้ำออกจากเนื้อวัสดุดีขึ้น อัตราการอบแห้งจึงเร็วขึ้น

- ปริมาณและการจัดเรียงวัสดุ วัสดุที่นำมาจัดเรียงซ้อนกันหลายๆ ชั้นในถาด ทำให้ปริมาณของวัสดุต่อถาดมากเกินไปจะทำให้วัสดุที่อยู่บริเวณตรงกลางได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงทำให้บริเวณนั้นมีอัตราการอบแห้งที่ช้า การจัดเรียงที่เหมาะสมควรทำการจัดเรียงเป็นแบบชั้นบางเพื่อให้วัสดุได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

- อุณหภูมิของอากาศร้อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับวัสดุมีมากทำให้การถ่ายเทความร้อนสู่น้ำในเนื้อวัสดุได้ดีจึงทำให้น้ำในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่และระเหยได้เร็วขึ้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้นแต่ก็ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

- ความชื้นของอากาศร้อน หากความชื้นของอากาศร้อนมีค่ามากจะมีผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากเนื้อวัสดุได้ยาก

- ความดันของบรรยากาศ การอบแห้งโดยทั่วไปมักทำที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ ถ้าหากมีการลดความดันของบรรยากาศในขณะทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะทำให้จุดเดือดของน้ำลดลง ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้เหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่เสื่อมคุณภาพได้ง่ายเนื่องจากความร้อน เครื่องอบแห้งมีการลดความดันในสภาวะการอบแห้งเช่น เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบลูกกลิ้ง(Vacuum drum drier) เป็นต้น

- ความเร็วลมร้อน ถ้าความเร็วของลมร้อนมีค่ามากจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าวัสดุได้ดีขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

- คุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของวัสดุ คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งคือ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน และการแพร่ความร้อน ส่วนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่นจริง ความหนาแน่นปรากฏ และสัดส่วนช่องว่างอากาศในกองวัสดุ

4 ความชื้นวัสดุ

ปริมาณความชื้นของวัสดุจะอธิบายอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียก จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ โดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \qquad (3)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง ซึ่งจะใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจาก dry matter ของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้งดังนั้นจึงง่ายในการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้น ความชื้นมาตรฐานแห้งหาได้จาก

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} \tag{4}$$

จากสมการ (3) และ (4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้งดังนี้

$$M_d = \frac{W_w}{1 - W_w} \tag{5}$$

และ

$$M_w = \frac{W_d}{1 + W_d} \tag{6}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.) อัตราส่วน

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.) อัตราส่วน

W_w คือ มวลของความชื้น

W_d คือ มวลแห้งของวัสดุ

5 การหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้นสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีหลัก คือ วิธีโดยตรง(direct method) และวิธีโดยอ้อม (indirect method) วิธีโดยตรงจะเป็นการนำความชื้นออกจากวัสดุและทำการวัดปริมาณความชื้นนั้นวิธีที่เป็นพื้นฐานในการหาค่าความชื้นคือ 1)Oven method 2)Infra-red lamp method 3)Brown Duvel method ส่วนวิธีโดยอ้อมนั้นจะเป็นการใช้คุณสมบัติอื่นของวัสดุมาที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเลคตริก (dielectric) วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ค่าที่ได้มีความถูกต้องต่ำเนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบกับค่าวิธีพื้นฐาน ตัวอย่างของการหาความชื้นโดยอ้อมคือ 1)Resistance method 2)Capacitance method 3)Chemical method 4)Relative Humidity method

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6 ชนิดของการอบแห้ง

อุตสาหกรรมหลายชนิดจำเป็นที่จะต้องมีกระบวนการอบแห้งร่วมด้วยเช่นอุตสาหกรรมไม้ อุตสหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตการเกษตร และอุตสาหกรรมอาหารเป็นต้น การเลือกใช้ชนิดของเครื่องอบแห้งนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ประการเช่น ลักษณะทางกายของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง การประหยัดพลังงาน ต้นทุนและการคืนทุน (Ryozo et al.,1994) การจำแนกลักษณะของเครื่องอบแห้งออกเป็นกลุ่มหลักตามลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังแสดงใน**ตารางที่ 2-2**

ตารางที่ 2-2 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง

Mode of Heat Transfer	Dryers	
	Batch operation	Continuous operation
Convection	Kiln dryer	Tunnel dryer
	Cabinet dryer	Conveyor dryer
	Heat pump dryer	Spray dryer
		Fluidized bed dryer
		Heat pump dryer
Conduction	Heat-shelf dryer	Drum dryer
	Agitated pan dryer	
Radiation	Infrared dryer	
Internal generation of heat	Microwave oven	Dielectric continuous dryer
		Microwave tunnel
Mixed	Shelf dryer	Rotary dryer

ที่มา สมบัติ (2529)

7 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ ตัวเครื่องอบแห้งจะทำด้วยถังทรงกระบอกหมุนวางเอียงกับแนวราบเล็กน้อย วัสดุไหลเข้าทางปลายด้านสูงแล้วไหลออกที่ปลายด้านต่ำของถัง ภายในตัวถังจะมีแผ่นครีบทำหน้าที่ตักวัสดุจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบนแล้วไหลตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงพร้อมๆ กับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในขณะเดียวกันลมร้อนจะไหลเข้ามาในถังเพื่อทำหน้าที่ลดความชื้นจากตัววัสดุ ในขณะที่วัสดุไหลตกลงมา ทำให้การถ่ายเทความร้อนและความชื้นเป็นอย่างรวดเร็ว (สมชาติ, 2540) สำหรับลักษณะการไหลของอากาศอบแห้งนั้นสามารถแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบไหลตาม (Co-current flow) โดยวัสดุและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกัน และแบบไหลสวนทาง (Counter-current flow) อากาศอบแห้งจะไหลสวนทิศกับการไหลของวัสดุ การเลือกใช้ลักษณะการไหลของอากาศแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยวัสดุที่ไวต่อความเสียหายเนื่องจากความร้อน

ควรจะเลือกใช้การไหลแบบตาม แต่หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในเชิงความร้อนการอบแห้งแบบไหลสวนทางจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

พิพัฒน์(2548) ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน พบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ อัตราการหมุนของถัง ความเร็วลม อัตราการป้อนพริก และความลาดเอียงของถัง โดยสภาวะที่เขาแนะนำว่าเหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งคือ 140°C อัตราการไหลอากาศ 1 m/s อัตราการหมุนของถัง 6 rpm อัตราการป้อนพริก 0.5 kg/min ความลาดเอียงของถัง 0.3° ซึ่งจะสามารถลดความชื้นพริกจำนวน 9 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 78-84 %w.b. ให้เหลือ 15%w.b. โดยใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง

ไพบูลย์(2533) ได้ทำการอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุนพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งขึ้นอยู่กับมวลข้าวโพดที่ค้างอยู่ในเครื่องอบแห้ง(hold-up) โดยเมื่อปริมาณข้าวโพดเพิ่มขึ้นความสิ้นเปลืองพลังงานจะน้อย โดยทั่วไปมวลที่ค้างอยู่ในถังควรมีค่าประมาณ 10-15% ของปริมาตรถัง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความชื้นของข้าวโพดด้วยโดยมีความสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นลดลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ที่ทำการพัฒนาขึ้นซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง 2) การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่สำหรับลดความชื้นกากมันสำปะหลัง 3) การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่หลังการปรับปรุงเครื่องแล้ว

ส่วนที่สองเป็นการศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลานเพื่อประมาณการต้นทุนในด้านพลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง โดยจะทำการศึกษาจากอัตราการผลิตต่อพื้นที่ลานตากและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงความคุ้มค่าของการทำแห้งกากมันสำปะหลัง

1 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง

คุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลังนั้นมีความสำคัญ และมีผลต่อกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น การ อบแห้ง และการลำเลียง ดังนั้นในการปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่สำหรับลดความชื้นกากมันสำปะหลังจึงจำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของกากมันสำปะหลังเพื่อประโยชน์ในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆประกอบไปด้วย ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ลักษณะปรากฏ การจับตัวของกากมันสำปะหลัง ค่าองค์ประกอบโดยประมาณของกากมันสำปะหลัง และค่าความร้อนของกากมันสำปะหลัง

1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- กากมันสำปะหลังที่ได้จากการลดความชื้นด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์
- ตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Binder) (สำหรับหาค่าความชื้น)
- โถดูดความชื้น (OH-35 S/N 0902911-07)
- เครื่องชั่งสองตำแหน่ง (Sartorius, ED32025-CW)
- ภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน (เพื่อหาค่าความหนาแน่น)

1.1.2 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง

- การหาค่าความชื้นความชื้นกากมันสำปะหลังสามารถทำได้โดยใช้วิธีการหาความชื้นทางตรงด้วยการอบแห้งตัวอย่างกากมันสำปะหลัง (รูปที่ 3-1) ด้วยตู้อบแบบลมร้อน(Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 103° C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง(อบจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างคงที่) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกากมันสำปะหลังด้วยตาชั่งละเอียด ±0.0001 จากนั้นคำนวณหาความชื้นของกากมันสำปะหลังโดยใช้

กากมันสำปะหลังก่อนอบ

กากมันสำปะหลังหลังอบ

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างกากมันก่อนอบและหลังอบ

- ค่าองค์ประกอบโดยประมาณของกากมันสำปะหลัง การวิเคราะห์ในที่นี้ จะประกอบไปด้วยค่าร้อยละปริมาณเถ้า(Ash, %Ash) ซึ่งใช้การวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM ED1102-84 ค่าร้อยละปริมาณสารระเหย(Volatile matter, %VM) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM EE872-82 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอน(%FC) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่าง %ash และ % VM ดัง**สมการที่ 7**

$$\%FC = 100 - \%Ash - \%VM \tag{7}$$

- ค่าปริมาณค่าความร้อนของกากมันสำปะหลัง(HHV) ค่าปริมาณความร้อนของกากมันสำปะหลังทำการวิเคราะห์โดยใช้มาตรฐาน ASTM EE711-87

- การหาค่าความหนาแน่น ค่าความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังจะอยู่ในรูปของความหนาแน่นปรากฏ(bulk density) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งสำหรับการอบแห้งกากมันสำปะหลัง ค่าความหนาแน่นปรากฏเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของกากมันสำปะหลังทำได้โดยการหาอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของกากมันสำปะหลัง โดยใช้ภาชนะที่ทราบปริมาณแน่นอนตาม**สมการที่ (8)**

$$\rho_b = \frac{m}{V} \tag{8}$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)

m คือ มวลของกากมันสำปะหลังในภาชนะ (kg)

V คือ ปริมาตรของภาชนะ (m^3)

รูปที่ 3-2 การทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ

- **การศึกษาลักษณะปรากฏของกากมันสำปะหลัง**เมื่อออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ คุณสมบัติทั่วไปของกากมันสำปะหลัง ประกอบไปด้วย ลักษณะอนุภาคของกากมันสำปะหลัง การจับตัวกันของกากมันสำปะหลังเมื่อออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ พร้อมทั้งคุณลักษณะด้านสี (Colors) ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติดังกล่าวทดสอบโดยการสังเกตุด้วยตาเปล่า และการสัมผัสด้วยมือเปล่าเพื่อเป็นการบ่งบอกคุณลักษณะที่ปรากฏของกากมันสำปะหลังสดเบื้องต้น

1.2 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่สำหรับลดความชื้นกากมันสำปะหลัง

เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการปรับปรุงครั้งนี้ได้นำเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ที่ใช้ในการอบแห้งวัสดุชีวมวลมาเป็นต้นแบบในการปรับปรุงโดยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่เดิมมีลักษณะเป็นห้องอบแห้งทรงลูกบาศก์หุ้มฉนวนโดยภายในเป็นถังทรงกระบอกทึบหมุนเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 cm ยาว 120 cm ขนาด 0.5 m^3 และป้อนลมร้อนเข้าภายในถังทรงกระบอกทึบนั้นด้วยพัดลมอัดแรงดัน ซึ่งลมร้อนที่ได้เกิดจากห้องเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG และลมร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะผสมกับลมร้อนที่วนจากภายในห้องอบ การป้อนวัตถุดิบจะป้อนที่ด้านบนโดยถังทรงกระบอกที่หมุนจะมีช่องป้อนวัตถุดิบและถ่ายวัตถุดิบออกสามารถเปิดปิดได้ ในการอบวัตถุดิบจะอบเป็นกะเมื่อวัสดุแห้งถึงจะนำออกจากถังทรงกระบอก และป้อนวัตถุดิบใหม่เข้าไป

จากการศึกษาลักษณะปรากฏ และความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการลดความชื้นทางกล (Extrusion) ซึ่งจะนำมาลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่นั้นทำให้สามารถนำมาเป็นแนวทางเพื่อปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยทำการปรับปรุงดังนี้

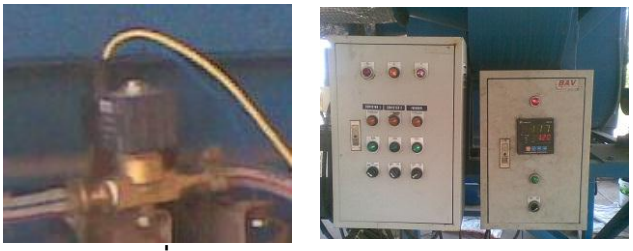
ส่วนของถังทรงกระบอกหมุนเนื่องจากถังทรงกระบอกหมุนเดิมมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกทึบเมื่อถังหมุนขณะอบจะทำให้กากมันสำปะหลังบางส่วนที่เป็นเส้นใยจับตัวกันเป็นก้อนจึงทำการเปลี่ยนจากเหล็กทึบเป็นตะแกรงขนาดรู 3 mm **(รูปที่ 3-3)** ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 cm ยาว 120 cm ความจุ 0.5 m^3 และภายในถังได้เพิ่มจำนวนใบโรยขึ้นเพื่อการส่งถ่ายความร้อนสู่วัสดุที่ดีขึ้นเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีความชื้นสูง

รูปที่ 3-3 ถังทรงกระบอกหมุนที่ปรับปรุงแล้ว

ระบบขับเคลื่อนของเครื่องเดิมมีกำลังขับที่น้อยจึงได้เพิ่มขนาดมอเตอร์เพิ่มเนื่องจากความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงจึงทำให้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และติดตั้งชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์(INVERTER) เพื่อลดหรือเพิ่มความเร็วรอบให้เหมาะสมกับการอบแห้ง **(รูปที่ 3-4)**

รูปที่ 3-4 ระบบขับเคลื่อน

ชุดควบคุมความร้อนได้เปลี่ยนชุดควบคุมความร้อนโดยใช้วาล์วไฟฟ้า(solenoid valve) แบบปกติปิด และระบบควบคุมอุณหภูมิ**(รูปที่ 3-5)**



รูปที่ 3-5 ชุดควบคุมความร้อน

เมื่อทำการปรับปรุงแล้วจะได้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ที่ปรับปรุงใหม่ดัง**รูปที่ 3-6**

รูปที่ 3-6 เครื่องอบแห้งที่ออกแบบและปรับปรุงใหม่

1.3 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

เครื่องอบแห้งโรตารี่ต้นแบบจะถูกทดสอบความสามารถในการอบแห้งโดยการอบแห้งกากมันสำปะหลังเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งโดยปัจจัยที่ทำการพิจารณาคือ ปริมาณกากมันสำปะหลังในถังอบ ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง เมื่อได้ข้อมูลการทดสอบแล้ว จะทำการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง จากอัตราการอบแห้ง ในส่วนของพลังงาน ประเมินการใช้พลังงานด้วยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) พร้อมๆ กับการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งจะทำการเก็บข้อมูลการทำแห้งกากมันสำปะหลัง โดยวิธีการตากลานเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงความคุ้มค่าของการทำแห้งกากมันสำปะหลังทั้งสองแบบ

จากการทดสอบเบื้องต้นโดยนำกากมันสำปะหลังสดซึ่งออกจากกระบวนการผลิตแป้งมาทำการอบแห้งโดยไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้นทางกล(Extrusion) ปรากฏว่ากากมันสำปะหลังที่ได้ออกมามีสองส่วนคือส่วนที่ผ่านตะแกรงยังมีความชื้นสูงและส่วนที่ค้างภายในตะแกรงซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดใหญ่ขนาดประมาณ 10 cm และยังมีความชื้นสูง**(รูปที่ 3-7)** โดยที่ผิวภายนอกของก้อนกลมนี้มีลักษณะแห้งแต่ความชื้นภายในยังสูงทำให้เมื่อจัดเก็บจะเกิดเชื้อรา ดังนั้นก่อนการอบห้องจึงได้ใช้กระบวนการรีดน้ำ (Dewatering) ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ลดปริมาณน้ำในกากมันสำปะหลังเบื้องต้น ก่อนการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

กากมันสำปะหลังค้างภายในตะแกรง

กากมันสำปะหลังที่ผ่านตะแกรง

รูปที่ 3-7 กากมันสำปะหลังที่อบแห้งโดยไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้นทางกล(Extrusion)

1.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- กากมันสำปะหลังที่ได้จากการลดความชื้นด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์
- เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว
- เครื่องชั่ง (METTLER TOLEDO MTL พิกัด 1500 kg)
- หัวเผาแก๊ส
- มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องหาความชื้นแบบอินฟาเรด (Kett, FD610)

1.3.2 การประเมินสมรรถนะ

- การประเมินสมรรถนะของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโรตารี่ต้นแบบ จะทำการประเมินจาก อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) โดยคิดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h **สมการที่ (9)**

$$DR = \frac{m_{pi} - m_{pf}}{t} \quad (9)$$

เมื่อ m_{pi} คือน้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)

m_{pf} คือน้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (kg)

t คือเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

- ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) คือ ค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kg โดยพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลังมี 3 ส่วนดังนี้

ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน**สมการที่ (10)**

$$Energy = \frac{HHV_{LPG} \times M_{LPG}}{t \times 3600} \quad (10)$$

เมื่อ Energy คือ พลังงานที่เข้าไปในระบบ (kW)

HHV_{LPG} คือ ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)

M_{LPG} คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิง (kg)

t คือเวลาในการอบแห้ง (hr)

ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากมอเตอร์ต้นกำลังต่างๆ (kW)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการลดความชื้นของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) (MJ/kg_{water})

ดังนั้นความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption) หาได้จาก **สมการที่ (11)**

$$\text{Specific Energy Consumption, SEC} = \left[\frac{T_{Energy} \times t \times 3600}{W_{loss}} \right] + \text{SEC-Extruder} \qquad (11)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg_{water})

T_{Energy} คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (kW)

t คือ เวลาในการอบแห้ง (hr)

W_{loss} คือ น้ำหนักน้ำที่หายไประหว่างลดความชื้น (kg)

SEC-Extruder คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ = 0.32 MJ/kg_{water}

2 การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลาน

โดยทั่วไปกากมันสำปะหลังสดที่ออกจากกระบวนการผลิตของโรงงานแป้งมันสำปะหลังจะมีผู้รับซื้อจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในปริมาณมากเพื่อนำไปทำแห้งด้วยวิธีการตากลานคอนกรีตขนาดใหญ่โดยการตากกากมันสำปะหลังจะทำการเกลี่ยกองกากมันสำปะหลังให้ทั่วพื้นที่ลานตาก พร้อมทั้งมีการกลับกอง 6-10 ครั้งต่อวันด้วยรถไถทางการเกษตรขนาดใหญ่ **(รูปที่ 3-8)** เมื่อกากมันสำปะหลังความชื้นลดลงต่ำกว่า 15 %w.b. ก็จะนำไปจำหน่ายหรือจัดเก็บต่อไป

กองกากมันสำปะหลัง

การเกลี่ยและกลับกองกากมันสำปะหลัง

รูปที่ 3-8 การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานคอนกรีตขนาดใหญ่

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

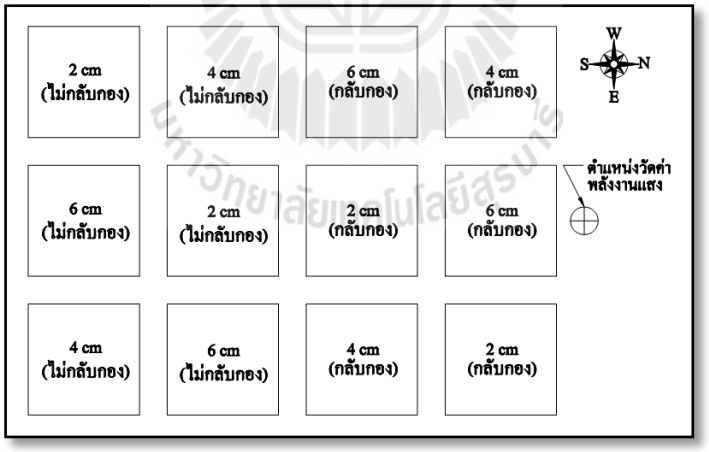
- กากมันสำปะหลังสดที่ได้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง
- เครื่องหาความชื้นแบบอินฟาเรด (Kett, FD610)
- เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (KIMO, SL200X)
- ไม้บรรทัดวัดความหนากองกากมันสำปะหลัง
- อุปกรณ์กลับกองกากมันสำปะหลัง

2.2 การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลาน

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของการตากกากมันสำปะหลังบนลานตากคอนกรีตขนาดใหญ่ พบว่าการตากในลานขนาดใหญ่ไม่สามารถควบคุมความหนาของกากมันสำปะหลังได้ดั้งนั้นการศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานจึงได้ทำการศึกษาด้วยวิธีการจำลองการตากเหมือนการตากแบบลานปูนทั่วไปโดยใช้ลานปูนบริเวณศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นพื้นที่ในการทำการศึกษาโดยใช้ปัจจัยในการศึกษาสองปัจจัยดังแสดงใน **ตารางที่ 3-1** คือความหนา กลับและไม่กลับกอง โดยวางผังการทดลองดังแสดงใน**รูปที่ 3-9, รูปที่ 3-10** พร้อมทั้งวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณที่ทำการศึกษาไปด้วย

ตารางที่ 3-1 ตารางสภาวะที่ใช้ใน การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลาน

ลำดับที่	ความหนา	วิธีการ
1	2 cm	กลับกอง
2	2 cm	ไม่กลับกอง
3	4 cm	กลับกอง
4	4 cm	ไม่กลับกอง
5	6 cm	กลับกอง
6	6 cm	ไม่กลับกอง



รูปที่ 3-9 ผังการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานคอนกรีต

รูปที่ 3-10 ผังการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานคอนกรีต

การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลความชื้นโดยการสุ่มเก็บ 5 จุด ต่อ 1 วิธีการ แล้วนำมาหาค่าความชื้นโดยเครื่องหาความชื้นแบบอินฟาเรด **(รูปที่3-11)** นำค่าความชื้นที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและบันทึกข้อมูล โดย 1 วัน จะเก็บข้อมูล 5 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 2 ชั่วโมง เริ่มเก็บข้อมูลเวลา 9.00 – 17.00 น. ช่วงเวลา 17.00 – 9.00 น. ของอีกวัน(ช่วงกลางคืนไม่มีแสงแดด) จะใช้ผ้าใบพลาสติกคุมเพื่อกันไม่ให้รับความชื้นจากน้ำค้าง **(รูปที่3-12)** ตากกากมันสำปะหลังจนความชื้นคงที่(ต่ำกว่า 15%w.b.)

การเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์**(รูปที่3-13)** ซึ่งมีฟังชั่นบันทึกข้อมูลภายในเครื่อง เมื่อสิ้นสุดการเก็บข้อมูลภายใน 1 วันจะนำเครื่องมาส่งข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์เพื่ออ่านค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆ

รูปที่ 3-11 การเก็บข้อมูลความชื้น

รูปที่ 3-12 คลุมผ้าใบในช่วงกลางคืนไม่มีแสงแดด

รูปที่ 3-13 เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง คือ กากมันสำปะหลัง มาศึกษาและออกแบบวิธีการลดความชื้นโดยอาศัยหลักการทางความร้อน(อบแห้งแบบโรตารี่) เพื่อลดเวลาและพื้นที่ในการลดความชื้นจากวิธีปกติ(การตากบนลานปูน) โดยนำกากมันที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นทางกล(เอ็กซ์ทรูชัน) เบื้องต้นเพื่อลดพลังงานในการอบแห้ง

การศึกษาการลดความชื้นกากมันสำปะหลัง จะประกอบด้วยการทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่หลังการปรับปรุงเครื่องแล้ว และการศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลานเพื่อประมาณการต้นทุนในด้านพลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง โดยจะทำการศึกษาจากอัตราการผลิตต่อพื้นที่ลานตากและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

1 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง

- **การหาค่าความชื้น** ความชื้นกากมันสำปะหลังแบบเปียก **ตารางที่ 4-1** และแบบผ่านการลดความชื้นทางกล (เอ็กซ์ทรูชัน) **ตารางที่ 4-2**

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองหาค่าความชื้นเปียกของกากมันสำปะหลังสด

ตัวอย่าง	น้ำหนักจาน(g)	น้ำหนักจาน + กากมันก่อนอบ (g)	น้ำหนักจาน + กากมันหลังอบ (g)	น้ำหนักกากมันก่อนอบ (g)	น้ำหนักกากมันหลังอบ (g)	น้ำหนักน้ำที่หายไป (g)	ความชื้น (%w.b.)
1	9.77	29.82	13.95	20.05	4.18	15.87	79.15%
2	9.94	29.98	14.15	20.04	4.21	15.83	78.99%
3	9.70	29.76	14.02	20.06	4.32	15.74	78.46%
4	9.25	29.28	13.48	20.03	4.23	15.80	78.88%
5	10.14	30.17	14.41	20.03	4.27	15.76	78.68%

*ความชื้นแบบเปียกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 78.83 % มาตรฐานเปียก

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังแบบผ่านการลดความชื้นทางกล

ตัวอย่าง	น้ำหนักจาน(g)	น้ำหนักจาน + กากมันก่อนอบ (g)	น้ำหนักจาน + กากมันหลังอบ (g)	น้ำหนักกากมันก่อนอบ (g)	น้ำหนักกากมันหลังอบ (g)	น้ำหนักน้ำที่หายไป (g)	ความชื้น (%w.b.)
1	9.12	14.16	10.53	5.04	1.41	3.63	72.00
2	9.67	14.67	11.33	5.00	1.66	3.35	66.90
3	9.93	14.95	11.63	5.02	1.70	3.32	66.10
4	9.94	14.94	11.50	5.00	1.56	3.44	68.80
5	9.70	14.72	11.34	5.02	1.64	3.38	67.40
6	9.25	14.26	10.76	5.01	1.51	3.50	69.80

*ความชื้นแบบเปียกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 68.50 % มาตรฐานเปียก

- การหาค่าความหนาแน่นผลการวัดและคำนวณความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังเป็นไปตาม **ตารางที่ 4-3**

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองหาความหนาแน่นกากมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	น้ำหนักกล่อง (g)	น้ำหนักกล่อง + น้ำหนักกากมัน (g)	น้ำหนักกากมัน (g)	ความหนาแน่น kg/m^3
1	101.30	275.70	174.40	565.87
2	101.50	284.60	183.10	594.09
3	101.30	272.36	171.06	555.03

*ค่าความหนาแน่นเปียกเฉลี่ยเท่ากับ 571.66 kg/m^3 ภาชนะบรรจุปริมาตรเท่ากับ 0.00031 m^3

- คุณสมบัติทางความร้อนจากการศึกษาเพื่อหาคุณสมบัติทางความร้อนของกากมันสำปะหลังพบว่ากากมันสำปะหลังมีค่าความร้อนและค่าองค์ประกอบโดยประมาณดังแสดงใน **ตารางที่ 4-4**

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและค่าองค์ประกอบโดยประมาณของกากมันสำปะหลัง*

Sample	Proximate Value			HHV (kJ/kg)
	%VM	%Ash	%FC	
กากมันแห้งตากฤดูแล้ง	83.39	5.40	11.21	14,668
กากมันแห้งรวม	78.93	6.80	14.63	14,466
กากมันแห้งตากฤดูฝน	78.65	10.95	10.39	14,083

* ตัวอย่างกากมันสำปะหลังจาก บริษัทอุตสาหกรรมแป้งโคราชจำกัด นครราชสีมา

- **การศึกษาลักษณะปรากฏของกากมันสำปะหลังเมื่อออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์**

ลักษณะทั่วไปของกากมันสำปะหลังเมื่อออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ คือมีความหมาด ร่วน แตกตัวได้ง่ายขึ้น และไม่จับตัวเป็นก้อน ดัง**รูปที่ 4-1(b)** ซึ่งจะแตกต่างจากกากมันสำปะหลังสด **(รูปที่ 4-1(a))** ที่มีลักษณะชื้นมากและจับตัวกันเป็นก้อน จากลักษณะปรากฏของกากมันสำปะหลังอัดรีดจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่ากากมันสำปะหลังอัดรีดจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เหมาะที่จะนำมาลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

(a) (b)

รูปที่ 4-1 กากมันสำปะหลังสด **(a)** และ กากมันสำปะหลังอัดรีดจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ **(b)**

1.2 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่สำหรับลดความชื้นกากมันสำปะหลัง

เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ที่ได้รับการปรับปรุงใหม่มีลักษณะเป็นห้องอบแบบทรงสี่เหลี่ยมภายในมีถังตะแกรงทรงกระบอกหมุนภายในถังมีใบโรย 8 แถวโดยใช้ความร้อนจากลมร้อนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จากแก๊สในการทดลองครั้งนี้จะใช้แก๊สหุงต้ม(LPG) เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากทราบค่าความร้อนที่แน่นอนทำให้วิเคราะห์ค่าพลังงานได้ง่ายขึ้น การป้อนกากมันสำปะหลังจะป้อนจากด้านบนของเครื่องเมื่อทำการอบแห้งแล้วจะได้กากมันสำปะหลังสองส่วนคือ ส่วนที่ผ่านตะแกรง **(รูปที่ 4-2)** ได้แต่ยังมีความชื้นสูงอยู่แต่ลักษณะของกากมันสำปะหลังจะไม่จับตัวกันแล้วสามารถที่จะนำไปอบแห้งด้วยถังอบแห้งแบบทรงกระบอกทึบแบบเดิมได้ ส่วนที่ยังคงค้างภายในถัง **(รูปที่ 4-3)** มีความชื้นต่ำกว่า 15 %w.b. ซึ่งสามารถนำไปจัดเก็บได้

รูปที่ 4-2 กากมันสำปะหลังส่วนที่ผ่านตะแกรง

รูปที่ 4-3 กากมันสำปะหลังส่วนที่ยังคงค้างภายในถัง

1.3 การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่

ในการทดลองอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบโรตารี่โดยใช้กากมันสำปะหลังที่ได้จากการลดความชื้นด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ จำนวน 40 kg คิดเป็น 14% ของถังอบ พบว่าสามารถทำการลดความชื้นกากมันสำปะหลัง จาก 68.5 % w.b. จนเหลือความชื้น 13.8 % w.b. ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งคิดเป็น 61.23 % ของกากมันสำปะหลังแห้งทั้งหมด อีก 38.77 % เป็นกากมันสำปะหลังแห้งที่ลอดผ่านรูตะแกรงซึ่งจะต้องนำไปลดความชื้นเพิ่มเติมโดยใช้พลังงานในการลดความชื้นอีก 20.18 MJ

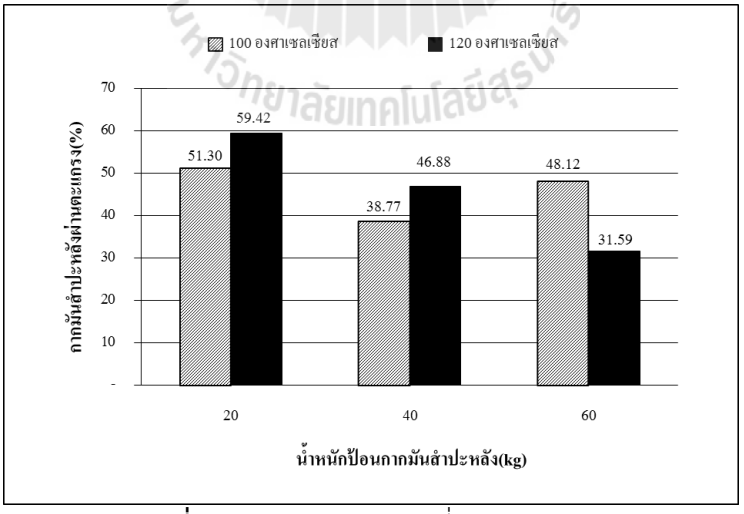
เนื่องจากในขณะที่กากมันสำปะหลังอยู่ในเครื่องอบแห้งกากมันสำปะหลังจะถูกโรยให้สัมผัสกับลมร้อนด้วยครีบโรยดังนั้นกากมันสำปะหลัง จึงสามารถสัมผัสกับลมร้อนได้ทั่วถึงและเนื่องจากภายในเครื่องอบแห้งมีการเดินท่ออากาศร้อนซึ่งได้รับความร้อนจากการเผาไหม้แก๊ส เมื่อกากมันสำปะหลังตกสัมผัสกับท่ออากาศร้อนก็จะได้รับความร้อนจากการนำความร้อนด้วยอีกทางหนึ่งทำให้ความชื้นในกากมันสำปะหลังระเหยได้เร็วขึ้น และด้วยถังอบทรงกระบอกทำด้วยตะแกรงจึงทำให้เกิดการระบายอากาศชื้นได้ดี แต่ลักษณะกากมันสำปะหลังที่ผ่านการการลดความชื้นด้วยเอกซ์ทรูชั่นมีบางส่วนที่เป็นผงทำให้ผงเหล่านั้นร่วงผ่านจากรูตะแกรงได้

จากการทดสอบลดความชื้นกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ด้วย อุณหภูมิอากาศร้อน 100 ºC และ 120 ºC และ น้ำหนักการป้อนกากมันสำปะหลังที่ 20, 40 และ 60 kg เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดในการอบเพื่อนำมาเป็นแนวทางการสร้างเครื่องอบแห้งกากมันสำปะหลังเพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไปด้วยการขยายสัดส่วนจากเครื่องอบแห้งต้นแบบเป็นเครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรม ซึ่งผลจากการทดสอบ **(ตารางที่4-5)** พบว่าที่น้ำหนักป้อนกากมันสำปะหลังที่ 20 และ 40 kg ใช้เวลาในการอบน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการอบที่น้ำหนักป้อนกากมันสำปะหลัง 60 kg

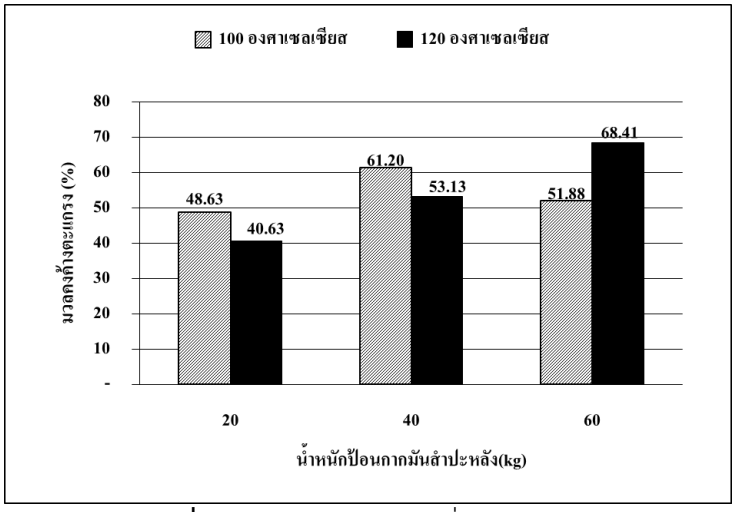
ตารางที่ 4-5 ผลการทดลองอบแห้งกากมันสำปะหลัง

อุณหภูมิ °C	น้ำหนักกากมันสำปะหลังสด(kg)	น้ำหนักกากมันสำปะหลัง(kg)		ความชื้นเฉลี่ย %w.b.		ระยะเวลาในการอบแห้ง(hr)
		ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	
100	20	6.2	2.9	53.66	6.10	1.50
	40	11.2	9.4	54.17	13.80	1.50
	60	21.4	12.3	54.26	14.20	3.00
120	20	6.7	2.6	44.66	2.50	1.50
	40	12.7	7.3	51.87	5.10	1.50
	60	10.3	13.4	44.43	7.50	3.00

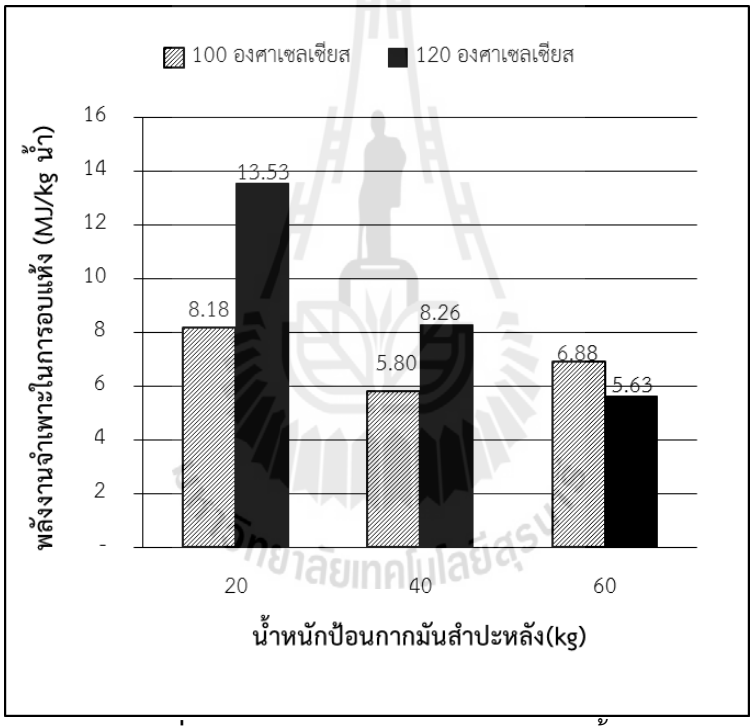
จากตารางการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งได้โดยจะเห็นว่าปัจจัยทางความร้อนและปริมาณการป้อนกากมันสำปะหลังมีส่วนทำให้เส้นใยของกากมันสำปะหลังลอดผ่านรูตะแกรงได้เมื่ออุณหภูมิสูงดังสังเกตได้จาก**รูปที่4-4** เมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงอัตราการร่วงจะสูงกว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำกว่า ซึ่งกากมันสำปะหลังเหล่านี้จะมีเวลาสัมผัสกับลมร้อนได้น้อยทำให้ยังคงมีความชื้นที่สูงทำให้ต้องนำกลับมาลดความชื้นอีกครั้ง แต่ในขณะที่กากมันสำปะหลังที่ค้างในถังอบสามารถที่จะนำไปเก็บรักษาได้ซึ่งความชื้นที่คงเหลือจะต่ำกว่าความชื้นจัดเก็บโดยอัตราส่วนมวลคงค้างก็แปรผกผันกับเส้นใยของกากมันที่ลอดผ่านรูตะแกรง**(รูปที่4-5)** ส่วนค่าพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณกากมันสำปะหลังในถังอบเช่นกันจาก**รูปที่4-6** จะเห็นว่าเมื่อมีกากมันสำปะหลังในถังอบในปริมาณที่เหมาะสมให้อุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการระเหยน้ำจะน้อยนั่นก็คือการใช้พลังงานในการอบแห้งที่น้อยและเหมาะสมกว่าสภาวะอื่นๆด้วย



รูปที่4-4 กากมันสำปะหลังที่ผ่านรูตะแกรง



รูปที่4-5 กากมันสำปะหลังที่ค้างในถังอบ



รูปที่4-6 ค่าพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ

ผลจากการทดลองเพื่อทำการประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโรตารี่ต้นแบบซึ่งมีปริมาตรถังอบ 0.5 m^3 ในเทอมของอัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่าเครื่องอบแห้งสามารถทำการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังได้ในอัตรา 12.9 kg/hr และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 5.80 MJ/kg เมื่อมีปริมาณกากมันสำปะหลังอยู่ในถัง 14% หรือ 40kg ที่ความหนาแน่น 571.66 kg/m^3 และค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อประเมินสมรรถนะการอบแห้งแสดงใน**ตารางที่ 4-6**

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองอบแห้งกากมันสำปะหลัง

รายการ	ข้อมูล
- น้ำหนักกากมันสำปะหลัง (kg)	40
- ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	68.50
- ความชื้นสุดท้าย (%wb)	13.08
- เวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด (h)	1.5
- อุณหภูมิอากาศอบแห้งขาเข้าเฉลี่ย (°C)	100
- อัตราการผลิตกากมันสำปะหลังสด (kg/hr)	26.67
- ค่าความร้อนของแก๊ส (kJ/kg)	50,220
- ค่าพลังงานความร้อนจากแก๊ส (MJ)	95.42
- ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	2.0
- ค่าพลังงานไฟฟ้า (MJ)	10.8
- ค่าพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ (MJ/kg_{water})	5.80

หมายเหตุ ผลการคำนวณในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลตลอดการทดลอง

2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่แสดงใน**ตารางที่ 4-7** และจากตารางการวิเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลัง**ตารางที่ 4-8** สามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยมีรายละเอียดและเงื่อนไขต่างๆ ของการคำนวณดังนี้

- ต้นทุนการสร้างระบบอบแห้งรวม 5,630,000.00 บาท
- สามารถอบแห้งกากมันสำปะหลังได้ 6 ตันต่อวัน (ความชื้น 15% w.b.)
- จำนวนกากมันสำปะหลังสดที่ต้องใช้ 16 ตันต่อวัน (คิดที่ความชื้น 68.5%w.b.)
- ราคากากมันสำปะหลังสดอยู่ที่ราคา 0.5 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาหน้าโรงงานแป้งมัน)
- ราคากากมันสำปะหลังแห้งกิโลกรัมละ 3.00 บาท
- ทำการอบแห้งสัปดาห์ละ 6 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้นทำงานปีละ 312 วัน
- อัตราการใช้ไฟฟ้ารวมเฉลี่ยต่อชั่วโมงเท่ากับ 50.64 kWh
- อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.25 L/hr
- อัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเฉลี่ย 71 kg/hr
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.75% (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2555)

- ตัวเครื่องมีอายุการใช้งาน 10 ปี
- มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของต้นทุน
- ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 5% ของต้นทุน
- ค่าไฟฟ้าราคา 3.75 บาท/kWh
- ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง 30 บาทต่อลิตร
- ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลเฉลี่ย 0.7 บาทต่อกิโลกรัม
- ค่าแรงงาน 3 คน คนละ 200 บาทต่อวัน

ค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบรายปีของต้นทุนสร้างเครื่อง

$$= 5{,}630{,}000\left(\frac{A}{P,7.75\%,10}\right) - 5{,}630{,}000(0.1)\left(\frac{A}{F,7.75\%,10}\right)$$

$$= 5{,}630{,}000\left(\frac{0.0775(0.0775+1)^{10}}{(0.0775+1)^{10}-1}\right) - 5{,}630{,}000(0.1)\left(\frac{0.0775}{(0.0775+1)^{10}-1}\right)$$

= 790,331.23 บาท

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี

= ชั่วโมงการทำงานรวม × อัตราการใช้ไฟฟ้า × ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย

= 312 × 8 × 50.64 × 3.75

= 473,990.40 บาท

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิงรายปี

= ชั่วโมงการทำงานรวม × อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง × ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหน่วย

= 312 × 8 × 1.25 × 30

= 93,600 บาท

ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงชีวมวล

= ชั่วโมงการทำงานรวม × อัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล×ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลต่อหน่วย

= 312 × 8 × 71 × 0.7

= 124,051.20 บาท

ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษารายปี

= 5,630,000 × 0.05

= 281,500 บาท

ค่าแรงงานรายปี

= 312 × 200 × 3

=187,200 บาท

ค่าวัตถุดิบรายปี

= 312 × 16,000 × 0.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

= 2,496,000 บาท

ค่าใช้จ่ายรวมรายปี

= 790,331.23+473,990.40+93,600+124,051.20+281,500+187,200+2,496,000

= 4,446,672,83 บาท

ดังนั้นผลตอบแทนรายปี

= ปริมาณวัสดุแห้ง × ราคาขาย

= 312 × 6,000 × 3.0

= 5,616,000 บาท

กำไรสุทธิรายปี

= ผลตอบแทน - ต้นทุนการผลิต

= 5,616,000 - 4,446,672,83

= 1,169,327.17 บาท

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

= ต้นทุนสร้างเครื่อง ÷ กำไรสุทธิรายปี

= 5,630,000 ÷ 1,169,327.17

= 4.82 ปี หรือ ≅ 5 ปี

อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal Rate Return)

5,630,000 = 1,169,327.17 (P/A,i,10)

$$\frac{5,630,000}{1,169,327.17} = \left(\frac{(i+1)^{10}-1}{i(i+1)^{10}}\right)$$

IRR = 0.1610 หรือ 16.10%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-7 ประมาณการค่าจ่ายในการลงทุนระบบการอบแห้งกากมันสำปะหลัง

รายการ	ราคา (บาท)	จำนวน	เงินลงทุน (บาท)
1. เครื่องอบแห้ง	1,800,000.00	1	1,800,000.00
2. ระบบลำเลียง	80,000.00	2	160,000.00
3. เครื่องลดความชื้นกากมันสำปะหลังด้วยหลักการเอ็กซ์ทรูชั่น	300,000.00	1	300,000.00
4. ระบบ Gasifier	750,000.00	1	750,000.00
5. เตาเผา	120,000.00	1	120,000.00
6. อาคาร	1,000,000.00	1	1,000,000.00
7. แทรกเตอร์พร้อม loader	1,500,000.00	1	1,500,000.00
รวม			**5,630,000.00**

ตารางที่ 4-8 คุณสมบัติแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเหง้ามันสำปะหลัง

Gas Flow (m^3/hr)	Gas Properties Gas composition (%)						HHV (MJ/Nm^3)	Biomass Consumption (kg/h)	Ash Production		Gasification Efficiency
	CO	H_2	CH_4	N_2	O_2	CO_2			kg/h	%	%
102.44	14.74	16.38	1.96	53.58	1.43	11.91	4.90	55	7.9	14.36	62.56
121.11	13.22	17.30	2.39	52.65	1.07	13.37	5.00	70.78	13.6	19.21	58.64
157.15	14.34	17.57	2.35	51.39	1.56	12.79	5.17	96.85	15.1	15.59	57.45
186.16	14.96	17.91	2.39	49.99	1.79	12.96	5.31	101.9	16.9	16.58	66.47

*จากรายงานการวิจัยการพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล

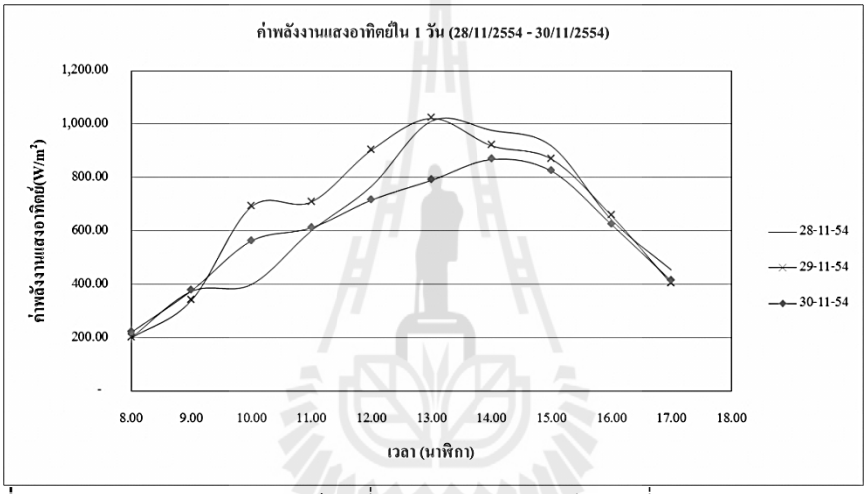
3 การศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลาน

จากการนำกากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง(บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด) มีความชื้นเริ่มต้น 81.10%w.b. มาศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลานตามวิธีการทดลองพบว่าพื้นที่ลานตาก 1 งาน(400 m^2) สามารถตากกากมันสำปะหลังได้ในปริมาณ 17,100 kg โดยจะทำการตากเป็นเวลา 12 วัน จนได้กากมันสำปะหลังแห้งที่มีความชื้น 11.82 %w.b. โดยในระหว่างการตากจะกลับกองกากมันสำปะหลัง 8 ครั้ง ต่อวัน และจะเปลี่ยนเป็นกากมันสำปะหลังแห้ง 3,665 kg

ตารางที่ 4-9 แสดงข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากค่าพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณที่ทำการศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ทำการศึกษาคือช่วง วันที่ 28 พฤศจิกายน ถึง วันที่ 4 ธันวาคม 2555 พบว่าสภาวะอากาศเป็นอุปสรรคหนึ่งของการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยการตากลาน โดยจะพบว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ในแต่ละวันจะมีความไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศ ตัวอย่างเช่น 28 พฤศจิกายน ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2555 จะมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงใน**รูปที่ 4-7** ลักษณะของกราฟแสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นไปในลักษณะระฆังคว่ำ โดยค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และจะมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน และจะค่อยๆ ลดลงในช่วงเย็น โดยลักษณะการของการเพิ่มขึ้นและลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์ในวันดังกล่าวแสดงใน**รูปที่ 4-7**

ตารางที่ 4-9 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้

ว/ด/ป	ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)		ว/ด/ป	ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)	
	Max.	Aver.		Max.	Aver.
28/11/54	1,011.00	634.00	05/12/54	1,011.00	661.10
29/11/54	1,021.00	670.40	06/12/54	1,095.00	637.10
30/11/54	867.00	599.90	07/12/54	1,082.00	626.60
01/12/54	927.00	603.00	08/12/54	927.00	622.20
02/12/54	946.00	587.20	09/12/54	902.00	610.40
03/12/54	887.00	526.40	10/12/54	830.00	490.90
04/12/54	900.00	610.50	11/12/54	788.00	471.20



รูปที่ 4-7 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์วันที่ 28 พฤศจิกายน ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2555

ผลจากการศึกษาการทำแห้งโดยการตากลานซีเมนต์เป็นเวลา 14 วันพบว่าความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังที่ตากบนลานที่ความหนา 2 cm จะใช้เวลาในการตากประมาณ 4 วัน จะได้กากมันสำปะหลังแห้งที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยประมาณ 8 %w.b. ในกรณีกลับกอง และในกรณีไม่กลับกองจะใช้เวลาประมาณ 4 วัน

ส่วนที่ความหนา 4 cm จะใช้เวลาประมาณ 8 วันกากมันสำปะหลังถึงจะแห้งในกรณีกลับกองและใช้เวลา 9 วัน ในกรณีไม่กลับกอง

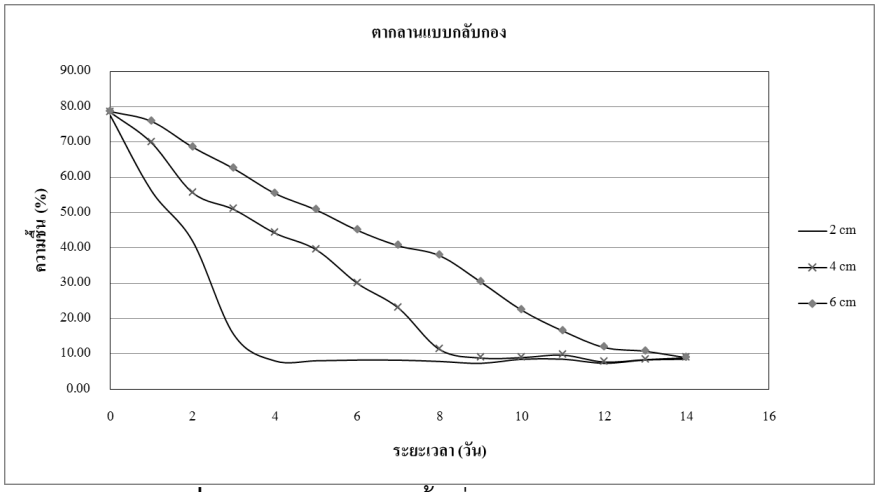
ที่ความหนา 6 cm ใช้เวลาประมาณ 12 วันกากมันสำปะหลังถึงจะแห้งในกรณีกลับกองและใช้เวลา 14 วันในกรณีไม่กลับกองซึ่งพบว่าถึงแม้กากมันจะแห้งแต่การที่ต้องเก็บกากมันกองไว้นานๆ ทำให้เกิดการหมักขึ้นทำให้กากมันมีสีน้ำตาลและมีราขึ้นบางส่วนโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความหนามากๆ คือ 6 cm ดังแสดงใน**รูปที่ 4-8**

(a) ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของการมันตากลาน

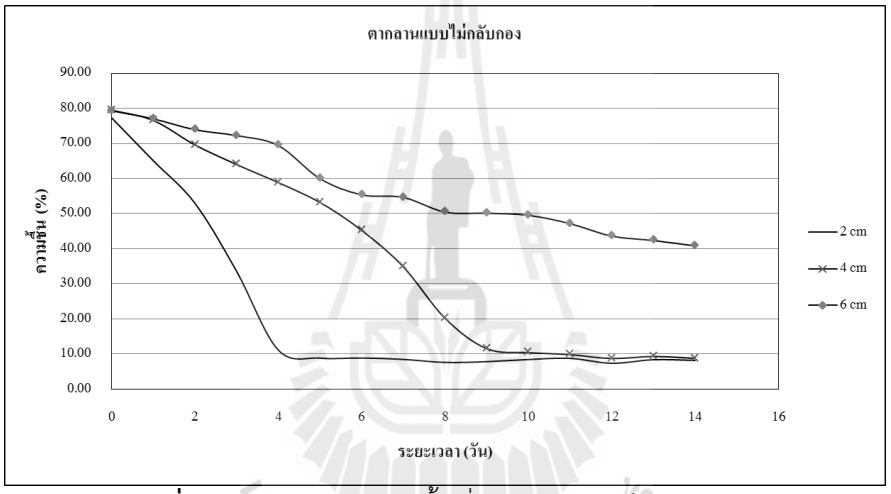
(b) ลักษณะการขึ้นราของกากมันที่ตากลาน

รูปที่ 4-8 ลักษณะความเสียหายที่เกิดจากการตากลานที่ความหนา 4 และ 6 เซนติเมตร ไม่กลับกอง

จากผลการทดลองพบว่าลักษณะความชื้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องดังแสดงใน**รูปที่ 4-9 และ รูปที่ 4-10** และคงที่ในระยะเวลาที่ต่างกันแต่มีความชื้นที่ไม่ต่างกันมากนัก และการกลับกองขณะตากและไม่กลับกองขณะตากระยะเวลาในการตากจะไม่ต่างกันมากนัก **(ตารางที่ 4-10)**



รูปที่ 4-9 ลักษณะความชื้นที่ลดลงตากแบบกลับกอง



รูปที่ 4-10 ลักษณะความชื้นที่ลดลงตากแบบไม่กลับกอง

ตารางที่ 4-10 ระยะเวลาการอบแห้งและผลผลิตต่อพื้นที่

ความหนากอง (cm)		จำนวนวัน	ความชื้นคงเหลือ (%)	น้ำหนักสดความชื้น 81.10% (kg)	น้ำหนักแห้งที่ความชื้นต่ำกว่า 13% (kg)	เฉลี่ย (kg/day/400m^2)
2	กลับกอง	4	8.01	5,700	1,171.11	292.78
	ไม่กลับกอง	4	11.13	5,700	1,212.22	303.06
4	กลับกอง	8	11.25	11,400	2,427.72	303.47
	ไม่กลับกอง	9	11.54	11,400	2,435.68	270.63
6	กลับกอง	12	11.82	17,100	3,665.12	305.43
	ไม่กลับกอง	12*	40.82*	17,100	-*	-*

***** ไม่สามารถเก็บข้อมูลต่อได้เนื่องจากผิวบนของกองแห้งแต่ด้านล่างกองไม่แห้งทำให้เกิดเชื้อรา

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเราสามารถที่จะทำการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งกากมันสำปะหลังในพื้นที่ 1 งานโดยใช้การตากลานที่ความหนา 6 cm กลับกองขณะตากลานอ้างอิงเนื่องจากอัตราการผลิตที่ได้สูงกว่าค่าอื่นๆถึงจะใช้ระยะเวลาที่นานกว่าและการตากลานตากทั่วไปที่ทำเชิงการค้าความหนาของกองก็มีความใกล้เคียงกับ 6 cm มากกว่าความหนาอื่นที่ทำการศึกษา ดังแสดงใน**ตารางที่ 4-11**

ตารางที่ 4-11 ผลการประเมินค่าพลังงานที่ไช้ในการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการตากลานบนพื้นที่ 1 งาน

รายการ	ข้อมูล
- น้ำหนักกากมันสำปะหลังเริ่มต้น (kg)**	17,100.00
- น้ำหนักกากมันสำปะหลังแห้ง (11.82% w.b.)**	3665.12
- เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (hr)*	96
- ค่าพลังงานแสงแดดเฉลี่ย (W/m^2)*	596.45
- ปริมาณน้ำระเหย (kg)**	11,846.88
- อัตราการระเหยน้ำเฉลี่ย (kg_{water}/hr)**	123.41
- ค่าพลังงานแสงแดดทั้งหมดเฉลี่ยในการทำแห้ง (MJ)**	82,453.25
- ค่าพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำเฉลี่ย (MJ/kg_{water})**	6.96

หมายเหตุ: * จากข้อมูลที่ทำการศึกษา ** จากการคำนวณ

จาก**ตารางที่ 4-11** จะพบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการทำกากมันสำปะหลังแห้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6.96 MJ/kg_{water} หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หากต้องการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังปริมาณ 1kg ต้องใช้พลังงานจำนวน 6.96 MJ โดยพลังงานที่ได้จากการประเมินนี้เป็นค่าพลังงานที่ได้จากแสงแดดเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ได้เปล่า

นอกจากพลังงานจากแสงแดดแล้วการทำกากมันสำปะหลังแห้งโดยการตากลานจะต้องใช้พลังงานอื่นช่วยด้วย เช่น แรงงานคน หรือรถแทรกเตอร์เพื่อช่วยในการกลับกองกากมันสำปะหลังระหว่างการตากลานด้วย

ค่าใช้จ่ายในการผลิตกากมันสำปะหลังแห้งด้วยวิธีการตากลานสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าที่ดินและค่าก่อสร้างลานตาก และอุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ เช่น ตาชั่ง คราด พลั่ว ผ้าใบ เข่งและไม้กวาด ส่วนที่สองเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ประกอบด้วย กากมันสำปะหลังสดค่าแรงงาน (ประจำ/ชั่วคราว) ค่าขนส่ง ค่าไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าซ่อมแซมเครื่องมือ

`เมื่อมองถึงความสามารถในการผลิตกากมันสำปะหลังแห้งเพื่อการส่งออกซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าปริมาณการส่งออกกากมันสำปะหลังแห้งคือ 1,513 ตันต่อวัน จะมีความต้องการกากมันสำปะหลังสดประมาณ 7,026 ตันต่อวัน เมื่อพิจารณาข้อมูลใน**ตารางที่ 4-11** จะพบว่าต้องใช้พื้นที่ลาน

ตากมากถึง 103 ไร่ นอกจากนี้สภาวะอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยให้สามารถผลิตกากมันสำปะหลังแห้งได้ตลอดทั้งปีและการสร้างลานตากในทางเศรษฐศาสตร์ถือว่าเป็นทรัพย์สินที่ทำให้ต้นทุนจม (Sunk Cost) จึงเป็นข้อจำกัดของการทำกากมันสำปะหลังแห้งเพื่อการส่งออก ในภาวะที่ราคาที่ดินมีราคาสูงการลงทุนสร้างลานตากอาจไม่คุ้มค่าและยังต้องสิ้นเปลืองแรงงานคนและเครื่องจักรเพื่อใช้ในการกลับกองกากมันสำปะหลังด้วยดังนั้นการสร้างเครื่องอบแห้งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการทำแห้งกากมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุป

การศึกษาในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ การทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่หลังการปรับปรุงเครื่องแล้ว และการศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลาน

จากการทดลองอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบโดยใช้กากมันสำปะหลังที่ได้จากการลดความชื้นด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ จำนวน 40 kg คิดเป็น 14% ของถังอบ พบว่าสามารถทำการลดความชื้นกากมันสำปะหลัง จาก 68.5 %w.b. จนเหลือความชื้น 13.8 %w.b. ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งคิดเป็น 61.23 % ของกากมันสำปะหลังแห้งทั้งหมด อีก 38.77 % เป็นกากมันสำปะหลังแห้งที่ลอดผ่านรูตะแกรงซึ่งจะต้องนำไปลดความชื้นเพิ่มเติมโดยใช้พลังงานในการลดความชื้นอีก 20.18 MJ

ส่วนการศึกษาการลดความชื้นเพื่อผลิตกากมันสำปะหลังแห้งโดยวิธีการตากลานโดยนำกากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง(บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด) มีความชื้นเริ่มต้น 81.10%w.b. มาศึกษาการทำแห้งกากมันสำปะหลังโดยวิธีการตากลานตามวิธีการทดลองพบว่าพื้นที่ลานตาก 1 งาน(400 m^2) สามารถตากกากมันสำปะหลังได้ในปริมาณ 17,100 kg โดยจะทำการตากเป็นเวลา 12 วัน จนได้กากมันสำปะหลังแห้งที่มีความชื้น 11.82 %w.b. โดยในระหว่างการตากจะกลับกองกากมันสำปะหลัง 8 ครั้งต่อวัน และจะเปลี่ยนเป็นกากมันสำปะหลังแห้ง 3,665 kg ด้วยสภาวะอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยให้สามารถผลิตกากมันสำปะหลังแห้งได้ตลอดทั้งปีและการสร้างลานตากในทางเศรษฐศาสตร์ถือว่าเป็นทรัพย์สินที่ทำให้ต้นทุนจม(Sunk Cost) จึงเป็นข้อจำกัดของการทำกากมันสำปะหลังแห้งเพื่อการส่งออก ในภาวะที่ราคาที่ดินมีราคาสูงการลงทุนสร้างลานตากอาจไม่คุ้มค่าและยังต้องสิ้นเปลืองแรงงานคนและเครื่องจักรเพื่อใช้ในการกลับกองกากมันสำปะหลังด้วยดังนั้นการสร้างเครื่องอบแห้งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการทำแห้งกากมันสำปะหลัง

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ต้นแบบโดยอ้างอิงข้อมูลจากรายงานการวิจัยการพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล (วีรชัย และคณะ, 2552) และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้นำมาทำการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการลงทุนสร้างสายการผลิต ตั้งแต่ เครื่องลดความชื้นกากมันสำปะหลังด้วยหลักการเอ็กซ์ทรูชั่น สายพานลำเลียง และเครื่องอบแห้ง พบว่ามีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี โดยมีอัตราผลตอบแทนการลงทุน 16.10%

บรรณานุกรม

พิพัฒน์ อมตฉายา. (2548). รายงานการวิจัย การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา.

ไพบูลย์ โรจน์วิบูลย์ชัย. (2535). การอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วีรชัย อาจหาญ และคณะ. (2552). การพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. ภาคีศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 338 หน้า

สมบัติ ขอวิวัฒนา. (2529). กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 284 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2551). สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2549: ตารางที่ 24 มันสำปะหลัง: เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ เป็นรายจังหวัด ปี 2548-2550. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2551, จาก http://www.oae.go.th/statistic/yearbook49/section1/sec1table24.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2552). ข้อมูลราคามันสำปะหลังสด. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2552 ,จาก http://www.oae.go.th/oae_report/price/price_by_day_result.php.

Brennan, J.G., J.R. Butters, N.D. Cowell and A.E.V. Lilley. (1990). Food Engineering Operations. Elsevier Science Publishing, New York. 700 p.

Guillermo H. Crapiste and Enrique Rotstein. (1997). Design and Performance Evaluation of Dryers, P 125-166. In *Handbook of Food Engineering Practice*, ed. Kenneth J. Valentas, Enrique Rotstein and R. Paul Singh. CRC Press, Boca Raton.

Ryozo Toei, Morio Okazaki and Hajime Tamon. (1994). Conventional Basic Design for Convection or Conduction Dryers. Drying Technology 12(1&2): 59-97.

ภาคผนวก

เอกสารเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

POE 33

การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน
A STUDY OF DRYINGCASSAVAPULP USING A ROTARY SCREEN DRYER

วิเชียร ดวงสีเสน[1] เทวรัตน์ ทิพยวิมล[2] และ วีรชัย อาจหาญ[2*]
Wichian Duangsrisen[1]Tawarat Tipyavimol[2] and Weerachai Arjharn[2*]

[1]นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000
[2] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000
* ติดต่อ:Email: arjharh@g.sut.ac.th,โทรศัพท์: 044 225 007, โทรสาร: 044 225 046

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาลักษณะการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน(Rotary Screen Dryers) โดยวัสดุอบแห้งจะเคลื่อนที่ผ่านรูตะแกรงลงสู่ด้านล่างการทดสอบครั้งนี้ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนมีขนาดรูตะแกรง 3 mm ความจุ 0.5 m^3 ใช้ความเร็วรอบถังหมุน 3 ความเร็วรอบ คือ 2 rpm, 4 rpm และ 6 rpm และใช้อุณหภูมิลมร้อน 2 ช่วงคือ 80°C และ 100°C ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการร่อนผ่านรูตะแกรงและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำในสภาวะต่างๆ พบว่าที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C ให้ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรง มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ คือ 2.29 $kg_{dry\ mass}$มีความชื้นเฉลี่ย 34.45%$_{wb}$ และ มีประสิทธิภาพการร่อน 58.37%$_{dry\ mass}$ ซึ่งมากกว่าที่สภาวะอื่นๆ ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 8.05 MJ/kg-water มีมวลคงค้างในถังตะแกรงทรงกระบอก 41.55%$_{dry\ mass}$ ความชื้น 35%$_{wb}$

คำสำคัญ:กากมันสำปะหลัง การลดความชื้น เครื่องอบแห้งแบบหมุน

Abstract

This research aims to study the drying of cassava pulp by rotary screen dryer. Rotary screen dryer was used in this study with 3 mm of rotary screen and capacity of 0.5 m^3. The experiment was performed by cassava pulp drying at speed follow as: 2, 4 and 6 rpm and different drying air temperatures of 100°C and 80°C were set as drying conditions. Efficiency of screening and specific energy consumption (SEC) was determined to evaluate the cassava pulp drying. The result showed that, the most suitable temperature and speed was 100°C and 6 rpm, respectively. The above conditions, it used specific energy consumption is 8.05 MJ/kg-water and the cassava pulp can pass through a sieve of 2.29 kg (equivalent to 58.37%) and average moisture content of cassava pulp is equal to34.45%. The cassava is residue in the sieve has average moisture content of 35%.

Keywords*:* cassava pulp, drying, rotary screen dryer

1. บทนำ

ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังกว่า 20 ล้านตันต่อปี [1] ผลผลิตหัวมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย 50% จะนำไปผลิตเป็น มันเส้น/มันอัดเม็ด และอีก 50% จะนำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังในกระบวนการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดพบว่าจะไม่มีผลพลอยได้ (By- Product) เกิดขึ้นแต่ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะเกิด By-Product คือ เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังโดยในกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลังจะก่อให้เกิดวัสดุผลพลอยได้ในปริมาณมากในรูปกากมันสำปะหลัง (หัวมันสำปะหลังสด 1 ตันจะให้ปริมาณกากมันสำปะหลังประมาณ 60 กิโลกรัม)คิดเป็น 600,000 ตันต่อปี อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีของกากมันสำปะหลังพบว่ามี แป้ง 68.89%,โปรตีน 1.55%, เยื่อใย 27.75%, ไขมัน 0.12%, pH 4.99%, เถ้า 1.70% ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้มากเนื่องจากกากมันสำปะหลังมี องค์ประกอบของแป้งสูงปริมาณแป้งที่เหลืออยู่ในกากมันสำปะหลังโดยน้ำหนักแห้งมีสูงถึง 68.89% จึงนิยมนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์ หรือนำไปใช้แหล่งคาร์บอนให้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบ Solid-state ใช้กันมากในการผลิตสารประกอบต่างๆ ที่ใช้กันในอุตสาหกรรม สำหรับประเทศไทย กากมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะนำไปใช้ผสมกับมันเส้นเพื่อทำมันอัดเม็ดและอาหารสัตว์ กากมันสำปะหลังที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีความชื้นสูงประมาณ 60- 82% จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก และเป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ โดยหากปล่อยทิ้งไว้จะเกิดสภาพการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนที่อยู่รอบข้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความชื้นกากมันสำปะหลังเพื่อให้สามารถเก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปัจจุบันการลดความชื้นกากมันสำปะหลังยังใช้วิธีการตากลานคอนกรีตขนาดใหญ่ในช่วงฤดูฝนการตากจะเป็นไปได้ยากทำให้กากมันสำปะหลังบางส่วนไม่สามารถตากได้ทันทำให้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์และการนำเทคโนโลยีการทำแห้งมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปกากมันสำปะหลังยังคงมีน้อยทำให้ขาดแคลนทางเลือกของเทคโนโลยีในการนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม

จากการตรวจเอกสาร เทคโนโลยีการอบแห้งกากมันสำปะหลังพบว่า มีการศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้สายพานอบแห้งแบบต่อเนื่อง [2]โดยทำการทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่เวลาต่างกันของการอบแห้งกากมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่าความชื้นของกากมันสำปะหลังมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบแห้งอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้นจุดที่เหมาะสมในการอบแห้งกากมันสำปะหลังในการทดลองนี้คือความเร็วลมร้อน 8 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง80°Cทำให้กากมันสำปะหลังมีความชื้นลดลงเหลือ 7.69 $\%_{wb}$ ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 ชั่วโมง

อย่างไรก็ดีผู้เขียนได้ทำการพิจารณาสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลังที่ออกมาจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่า กากมันสำปะหลังมีความชื้นสูง เหนียว และจับตัวกันเป็นก้อน การเกลี่ยกระจายกากมันสำปะหลังให้ทั่วสายพานอบแห้ง และการทำให้เป็นชั้นบางทำได้ค่อนข้างยาก

จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีการอบแห้งที่น่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งกากมันสำปะหลังคือ การอบแห้งแห้งแบบถังหมุน หรือแบบโรตารี่ (Drum orRotary Dryers) ใช้หลักการหมุนของตัวถังทรงกระบอกของเครื่องอบแห้ง มีครีบหรือใบพาช่วยโรยวัสดุอบผ่านอากาศร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการลดความชื้น [3]โดยมีการนำการอบแห้งแบบถังหมุน มาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก ผลการศึกษาพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยคิดในรูปพลังงานปฐมภูมิต่อปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่าประมาณ 8 - 25 MJ/kg-water [4]นอกจากนี้ยังมีการทดลองการอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ ผลการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งสามารถทำการระเหยน้ำออกจากชิ้นมันได้ในอัตรา 140.18 kg/hr

และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ10.07 MJ/kg-water สามารถลดความชื้นของมันเส้นให้มีค่า ต่ำกว่า 13%$_{wb}$ จากความชื้นเริ่มต้น 60 %$_{wb}$ [5] ซึ่งเมื่อทำการทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังเบื้องต้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ พบว่าขณะที่ถังอบแห้งหมุนนั้นกากมันสำปะหลังจะจับตัวกันเป็นก้อนกลมคล้ายกับการปั้นเม็ด และมีความชื้นสะสมอยู่ด้านในสูงสมรรถนะในการอบกากมันสำปะหลังต่ำ

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบแห้งกากมันสำปะหลังยังมีน้อย จำเป็นต้องมีการพัฒนาให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ประกอบการ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งกากมันสำปะหลังแนวคิดใหม่ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยให้ถังอบมีลักษณะเป็นตะแกรง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เครื่องอบแบบตะแกรงหมุน (Rotary Screen Dryer) ซึ่งจะเป็นการอบแห้งตกผ่านรูตะแกรง สามารถลดการจับตัวเป็นก้อนของกากมันสำปะหลังได้มาใช้ในการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาลักษณะการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าว สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ

2.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบโรตารี ขนาดความจุ 0.5 m^3 ขนาดรูตะแกรง 3 mm พร้อมแหล่งความร้อนใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง

2.กากมันสำปะหลัง

3.เครื่องชั่ง

4.เครื่องหาความชื้นแบบอินฟาเรด

5.ชุดควบคุม

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้ง

รูปที่ 2 กากมันสำปะหลังสดจากโรงงาน

2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

2.2.1ทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ

เตรียมกากมันสำปะหลังซึ่งได้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา ชั่งน้ำหนัก 20 kg ใส่เข้าถังอบปิดฝาเครื่องอบแล้วทำการตั้งอุณหภูมิ เปิดระบบการทำงานของเครื่องอบโดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อน 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงหมุน 2 rpm จดบันทึกน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง ความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง โดยบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งตัวอย่างหยุดหล่นจากรูตะแกรง บันทึกพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด ทำซ้ำโดยปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100°C ทำการทดลองด้วยวิธีการตามข้างต้นโดยเปลี่ยนความเร็วรอบตะแกรงเป็น 4 และ 6 rpm ตามลำดับ

2.2.2การประเมินสมรรถนะในการอบแห้ง

ในการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนนี้จะมีการประเมินสมรรถนะในการอบแห้งแตกต่างจาก

วิธีการอบแห้งแบบปกติ เนื่องจากขณะทำการอบแห้งกากมันสำปะหลังจะตกผ่านรูตะแกรงออกไปอย่างต่อเนื่อง โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาในการอบแห้งจะกระทำพร้อมกับประสิทธิภาพการร่อนผ่านรูตะแกรงในช่วงเวลาต่างๆ โดยความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง

2.2.3วิเคราะห์หาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption, SEC) คือค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหยมีหน่วยเป็น MJ/kg-waterโดยพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลังมี 2 ส่วนดังนี้

ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน โดยใช้สมการ

$$Energy = \frac{HHV \times M_{LPG}}{t \times 3600}$$

โดยที่

Energy คือ พลังงานที่เข้าไปในระบบ (kW)

HHV คือ ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)

M_{LPG} คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิง (kg)

t คือเวลาในการอบแห้ง (hr)

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงของแหล่งความร้อนในการอบแห้งซึ่งมีค่าความร้อน (HHV) 55,000 kJ/kg

ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากมอเตอร์ต้นกำลัง และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆโดยดูจากมิเตอร์ ไฟฟ้า

ดังนั้นความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption, SEC) หาได้จากสมการ

$$SEC = \frac{T_{Energy} \times t \times 3600}{W_{loss}}$$

โดยที่

SECคือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

T_{Energy}คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (MW)

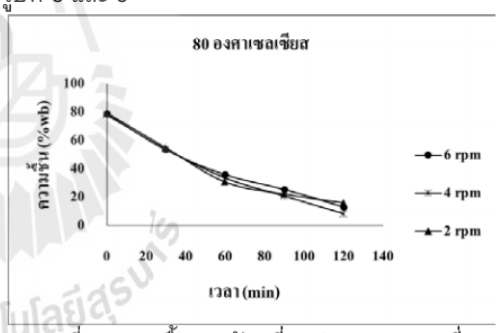
t คือเวลาในการอบแห้ง (hr)

W_{loss}คือ น้ำหนักน้ำที่หายไปเฉลี่ยทั้งที่ตกผ่านรูตะแกรงและที่ค้างอยู่ในถังอบ(kg)

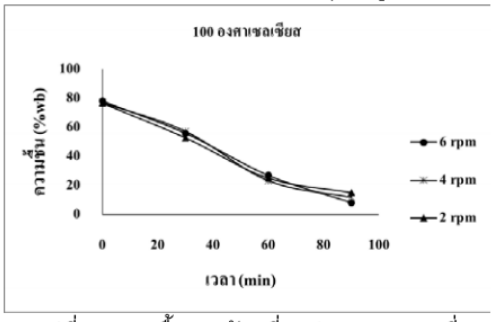
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1เวลาในการอบแห้งน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ร่วงจากตะแกรง

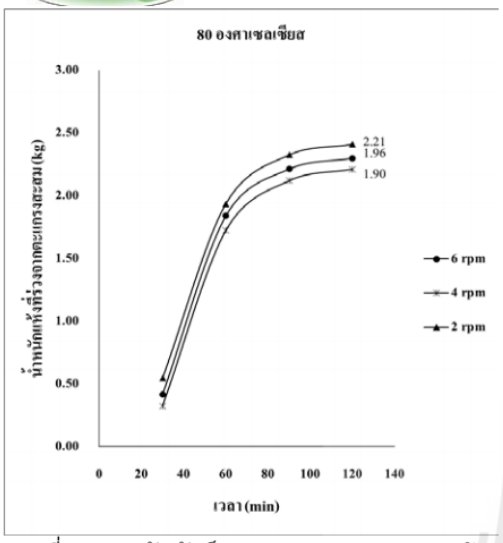
จากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรงที่อุณหภูมิ 80°C และ 100°C ตามรูปที่ 3 และ 4 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 100°C จะมีระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 80°C ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ใส่เข้าไปในการอบแห้งมีสูงกว่า เมื่อพิจารณาอัตราการตกผ่านรูตะแกรงของกากมันสำปะหลังจะเริ่มสูงขึ้นเมื่อความชื้นในช่วง 25-35%$_{wb}$ ทั้งการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 80°Cและ 100°Cโดยมีปริมาณกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรงสะสมในช่วงความชื้นดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 5 และ 6



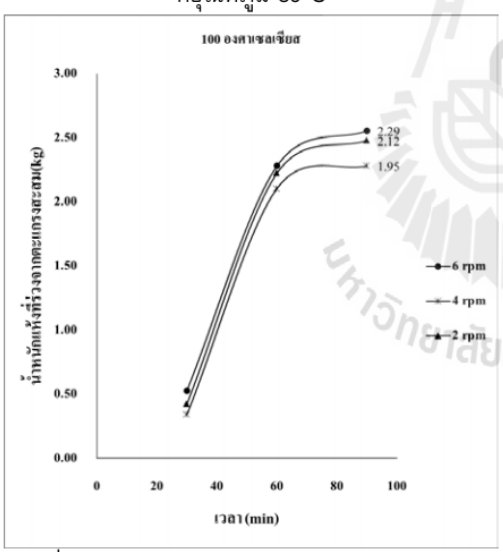
รูปที่ 3 ความชื้นของวัสดุที่ตกผ่านรูตะแกรง ที่ความเร็วรอบ 2, 4 และ 6 rpm อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 4 ความชื้นของวัสดุที่ตกผ่านรูตะแกรง ที่ความเร็วรอบ 2, 4 และ 6 rpm อุณหภูมิ 100°C



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและน้ำหนักแห้งที่ตกผ่านรูตะแกรงสะสมที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและน้ำหนักแห้งที่ตกผ่านรูตะแกรงสะสมที่อุณหภูมิ 100°C

โดยความชื้นเฉลี่ยของกากมันสำปะหลังที่ได้จากการอบแห้งกากมันสำปะหลังแสดงไว้ในตารางที่1 พบว่า กากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งยังคงมีความชื้นที่สูงไม่สามารถเก็บรักษาได้ จำเป็นที่จะต้องนำไปลดความชื้นให้มีความชื้นไม่เกิน 13%$_{wb}$ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษา

ตารางที่1ความชื้นเฉลี่ยของกากมันสำปะหลังที่ผ่านตะแกรงและกากมันสำปะหลังที่ค้างในถังอบ

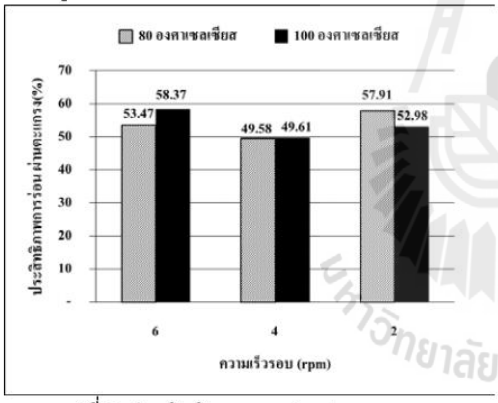
อุณหภูมิ ℃	ความเร็วรอบ RPM	ความชื้นเฉลี่ย %wb	
		กากมันผ่านตะแกรง	กากมันค้างตะแกรง
100	2	31.13	37.00
	4	30.85	34.00
	6	34.45	35.00
80	2	36.61	48.90
	4	34.96	32.00
	6	39.50	32.20

3.2ประสิทธิภาพการตกผ่านรูตะแกรง

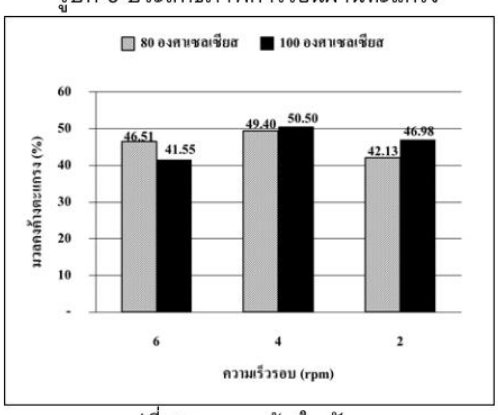
จากการทดลองพบว่าได้กากมันสำปะหลังสองส่วน คือส่วนแรกเป็นส่วนที่ร่วงจากรูตะแกรง รูปที่ 7 ซึ่งจะมีลักษณะเป็นผงเส้นใยขนาดเล็กตามขนาดรูตะแกรง สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่จำเป็นต้องย่อยละเอียดอีกซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการส่วนที่สองเป็นกากมันสำปะหลังที่จับตัวกันเป็นก้อนค้างอยู่ในถังตะแกรงทรงกระบอก รูปที่ 8เป็นส่วนที่ไม่สามารถแตกตัวภายในถังได้จึงจำเป็นต้องนำออกมาย่อยก่อนอบอีกครั้ง จากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการร่อนของตะแกรงพบว่าประสิทธิภาพการร่อนมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของถังตะแกรงทรงกระบอกและอุณหภูมิในห้องอบแห้งจากที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1เมื่อความเร็วรอบสัมพันธ์กับความชื้นที่ลดลงจะทำให้ได้กากมันที่ร่วงจากตะแกรงมากประสิทธิภาพการร่อนผ่านตะแกรงจะมากตามไปด้วยจากรูปที่ 9 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบ 6 rpm จะมีประสิทธิภาพการร่อนมากกว่าที่สภาวะอื่นๆคือ 58.37%$_{dry\ mass}$และจากรูปที่ 10 ที่ความเร็วรอบ 6 rpm จะมีมวลคงค้างตะแกรงน้อยกว่าที่สภาวะอื่นๆคือ 41.55%$_{dry\ mass}$

รูปที่ 7 กากมันสำปะหลังที่ร่วงจากตะแกรง

รูปที่ 8 กากมันสำปะหลังที่คงค้างในถังอบ



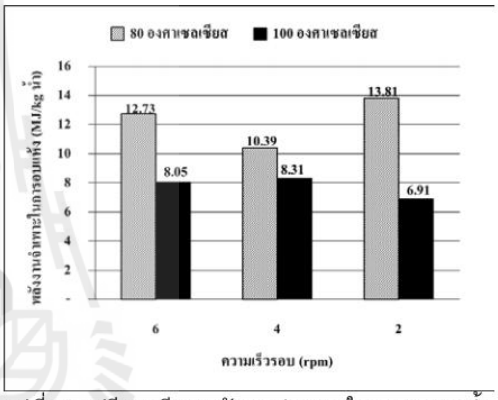
รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการร่อนผ่านตะแกรง



รูปที่ 10 มวลคงค้างในถังอบ

3.3พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำที่ความเร็วรอบ 2 rpm, 4 rpm และ 6 rpmอุณหภูมิ 80°C และ 100°C พบว่าความเร็วรอบการหมุนของตัวถังตะแกรงทรงกระบอกแต่ละความเร็วรอบใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำแตกต่างกันไป แต่ที่อุณหภูมิ 100°Cใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำน้อยกว่าอุณหภูมิ 80°C เนื่องจากว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนที่สูงจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำน้อยลงด้วย



รูปที่ 11 เปรียบเทียบพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำที่ความเร็วรอบ 2, 4 และ 6 rpm
อุณหภูมิ 80°C และ 100°C

3.4การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน

จากการทดสอบจะเห็นว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งแบบตะแกรงหมุนมีความชื้นอยู่ระหว่าง 31-37%$_{wb}$มีความแตกต่างกันที่ขนาดของกากมันสำปะหลัง คือ ขนาดน้อยกว่า 3 mm และขนาดมากกว่า 3 mm โดยให้สัดส่วน 58 : 42ตามลำดับ ซึ่งการนำกากมันสำปะหลังแห้งนี้ไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบจึงสามารถทำได้ เช่น ในส่วนของกากมันสำปะหลังแห้งที่มีขนาดน้อยกว่า 3 mm นำไปผลิตเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์แป้งค่อนข้างสูงส่วนขนาดมากกว่า 3 mm สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เส้นใยเซลลูโลสสูง ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาต่อไป

4.สรุปผล

จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ที่ความเร็วรอบ 6 rpmและอุณหภูมิ 100°Cให้ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรง มากที่สุด คือ 2.29 $kg_{dry\ mass}$มีความชื้นเฉลี่ย 34.45%$_{wb}$

2. ที่ความเร็วรอบ 6 rpmและอุณหภูมิ 100°C มีประสิทธิภาพการร่อนมากกว่าที่สภาวะอื่นๆคือ 58.37%$_{dry\ mass}$แต่ยังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงมีแนวทางที่จะพัฒนารูปแบบการอบแห้งด้วยการเพิ่มขนาดรูตะแกรงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการร่อนที่สูงขึ้น ลดปริมาณกากมันสำปะหลังที่จับตัวเป็นก้อนในถังตะแกรงทรงกระบอก

3.มวลคงค้างในถังตะแกรงทรงกระบอกที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C มีมวลคงค้างน้อยที่สุดคือ41.55%$_{dry\ mass}$โดยมีความชื้น 35%$_{wb}$

4. ที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C มีความชื้นเฉลี่ยของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง คือ 34.45%$_{wb}$ จะต้องลดความชื้นอีกเพื่อให้สามารถจัดเก็บได้ ส่วนความชื้นของมวลคงค้างในถังตะแกรงทรงกระบอกมีความชื้น 35%$_{wb}$จะต้องนำไปลดขนาดก่อนลดความชื้นอีกครั้ง

5. ที่ความเร็วรอบ 6 rpmและอุณหภูมิ 100°Cใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 8.05 MJ/kg-water

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2551). มันสำปะหลังทำเป็นฝอย. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน; 2 กันยายน 2551.

[2] สุระ ตันดี. (2553). คุณลักษณะของการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง. โครงการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมครั้งที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2553, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.

[3] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] กิตติพงษ์ กุลมาตย์. (2537). การอบแห้งข้าวเปลือกแบบถังทรงกระบอกหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] วีรชัย อาจหาญ และคณะ. (2552). การพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. ภาคีศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รหัสบทความ
ETM 2075

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนสำหรับอบแห้งกากมันสำปะหลัง

Application of a Rotary Screen Dryer for Cassava Pulp Drying

นัยวัฒน์ สุขทั่ง[1], วิเชียร ดวงสีเสน[1] เทวรัตน์ ตรีอำนรรค[2] และ วีรชัย อาจหาญ[3]*

[1] นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
[2] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: E-mail: arjharh@g.sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-5007, เบอร์โทรสาร: 0-4422-5046

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน (Rotary Screen Dryers) โดยวัสดุอบแห้งจะเคลื่อนที่ผ่านรูตะแกรงลงสู่ด้านล่าง การทดสอบครั้งนี้ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนมีขนาดรูตะแกรง 3 mm ความจุ 0.5 m^3 ใช้ความเร็วรอบถังหมุน 3 ความเร็วรอบคือ 2 rpm, 4 rpm และ 6 rpm และใช้อุณหภูมิลมร้อน 2 ช่วงคือ 80°C และ 100°C ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการร่อนผ่านรูตะแกรงและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำในสภาวะต่างๆพบว่าที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C ให้ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรง มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ คือ 2.29 $kg_{dry\ mass}$ มีความชื้นเฉลี่ย 34.45%$_{wb}$ และมีประสิทธิภาพการร่อน 58.37%$_{dry\ mass}$ ซึ่งมากกว่าที่สภาวะอื่นๆ ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 8.05 MJ/kg-water มีมวลคงค้างในถังตะแกรงทรงกระบอก 41.55%$_{dry\ mass}$ ความชื้น 35%$_{wb}$

คำหลัก: กากมันสำปะหลัง, การลดความชื้น, เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน

Abstract

This research aims to study the drying of cassava pulp by rotary screen dryer. Rotary screen dryer was used in this study with 3 mm of rotary screen and capacity of 0.5 m^3. The experiment was performed by cassava pulp drying at speed follow as: 2, 4 and 6 rpm and different drying air temperatures of 100°C and 80°C were set as drying conditions. Efficiency of screening and specific energy consumption (SEC) was determined to evaluate the cassava pulp drying. The result showed that, the most suitable temperature and speed was 100°C and 6 rpm, respectively. The above conditions, it used specific energy consumption is 8.05 MJ/kg-water and the cassava pulp can pass through a sieve of 2.29 kg (equivalent to 58.37%) and average moisture content of cassava pulp is equal to 34.45%. The cassava is residue in the sieve has average moisture content of 35%.

Keywords: Cassava Pulp, Drying, Rotary Screen Dryer

1. บทนำ

ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังกว่า 20 ล้านตันต่อปี [1] ผลผลิตหัวมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย 50%จะนำไปผลิตเป็น มันเส้น/มันอัดเม็ด และอีก 50% จะนำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลัง ในกระบวนการผลิตมันเส้น และมันอัดเม็ด พบว่าจะไม่มีผลพลอยได้ (By- Product) เกิดขึ้น แต่ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะเกิด By-Product คือ เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังโดยในกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลัง จะก่อให้เกิดวัสดุผลพลอยได้ในปริมาณมากในรูปกากมันสำปะหลัง (หัวมันสำปะหลังสด 1 ตันจะให้ปริมาณกากมันสำปะหลังประมาณ 60 กิโลกรัม) คิดเป็น 600,000 ตันต่อปี อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีของกากมันสำปะหลังพบว่ามี แป้ง 68.89%, โปรตีน 1.55%, เยื่อใย 27.75%, ไขมัน 0.12%, pH 4.99%, เถ้า 1.70% ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้มากเนื่องจากกากมันสำปะหลังมี องค์ประกอบของแป้งสูง ปริมาณแป้งที่เหลืออยู่ในกากมันสำปะหลังโดยน้ำหนักแห้งมีสูงถึง 68.89% จึงนิยมนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์ หรือนำไปใช้แหล่งคาร์บอนให้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบ Solid-state ใช้กันมากในการผลิตสารประกอบต่างๆ ที่ใช้กันในอุตสาหกรรม สำหรับประเทศไทย กากมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะนำไปใช้ผสมกับมันเส้นเพื่อทำมันอัดเม็ดและอาหารสัตว์ กากมันสำปะหลังที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีความชื้นสูงประมาณ 60 - 82% จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก และเป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ โดยหากปล่อยทิ้งไว้จะเกิดสภาพการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนที่อยู่รอบข้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความชื้นกากมันสำปะหลังเพื่อให้สามารถเก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในปัจจุบันการลดความชื้นกากมันสำปะหลังยังใช้วิธีการตากลานคอนกรีตขนาดใหญ่ในช่วงฤดูฝนการตากจะเป็นไปได้ยากทำให้กากมันสำปะหลังบางส่วนไม่สามารถตากได้ทันทำให้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์และการนำเทคโนโลยีการทำแห้งมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปกากมันสำปะหลังยังคงมีน้อยทำให้ขาดแคลนทางเลือกของเทคโนโลยีในการนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม

จากการตรวจเอกสาร เทคโนโลยีการอบแห้งกากมันสำปะหลังพบว่า มีการศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้สายพานอบแห้งแบบต่อเนื่อง [2] โดยทำการทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของ ความชื้น ที่เวลาต่างกันของการอบแห้งกากมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่า ความชื้นของกากมันสำปะหลังมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาการอบแห้ง อุณหภูมิ และความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้น จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งกากมันสำปะหลังในการทดลองนี้ คือความเร็วลมร้อน 8 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง 80°C ทำให้กากมันสำปะหลังมีความชื้นลดลงเหลือ 7.69 $\%_{wb}$ ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 ชั่วโมง

อย่างไรก็ดีผู้เขียนได้ทำการพิจารณาสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลังที่ออกมาจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่า กากมันสำปะหลังมีความชื้นสูง เหนียว และจับตัวกันเป็นก้อน การเกลี่ยกระจายกากมันสำปะหลังให้ทั่วสายพานอบแห้ง และการทำให้เป็นชั้นบางทำได้ค่อนข้างยาก

จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีการอบแห้งที่น่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งกากมันสำปะหลังคือการอบแห้งแบบถังหมุน หรือแบบโรตารี่ (Drum or Rotary Dryers) ใช้หลักการหมุนของตัวถังทรงกระบอกของเครื่องอบแห้ง มีครีบหรือใบพาช่วยโรยวัสดุอบผ่านอากาศร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการลดความชื้น [3] โดยมีการนำการอบแห้งแบบถังหมุน มาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก ผลการศึกษาพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยคิดในรูปพลังงานปฐมภูมิต่อปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่าประมาณ 8 - 25 MJ/kg-water [4] นอกจากนี้ยังมีการทดลองการอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ ผลการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งสามารถทำการระเหยน้ำออกจากชิ้นมันได้ในอัตรา 140.18 kg/hr และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 10.07 MJ/kg-water สามารถ

ลดความชื้นของมันเส้นให้มีค่า ต่ำกว่า 13%$_{wb}$ จากความชื้นเริ่มต้น 60 %$_{wb}$ [5] ซึ่งเมื่อทำการทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังเบื้องต้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ พบว่าขณะที่ถังอบแห้งหมุนนั้นกากมันสำปะหลังจะจับตัวกันเป็นก้อนกลมคล้ายกับการปั้นเม็ดและมีความชื้นสะสมอยู่ด้านในสูงสมรรถนะในการอบกากมันสำปะหลังต่ำ

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบแห้งกากมันสำปะหลังยังมีน้อย จำเป็นต้องมีการพัฒนาให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ประกอบการ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งกากมันสำปะหลังแนวคิดใหม่ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยให้ถังอบมีลักษณะเป็นตะแกรง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เครื่องอบแบบตะแกรงหมุน (Rotary Screen Dryer) ซึ่งจะเป็นการอบแห้งตกผ่านรูตะแกรง สามารถลดการจับตัวเป็นก้อนของกากมันสำปะหลังได้มาใช้ในการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาลักษณะการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าว สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบโรตารี ขนาดความจุ 0.5 m^3 ขนาดรูตะแกรง 3 mm พร้อมแหล่งความร้อนใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง
2. กากมันสำปะหลัง
3. เครื่องชั่ง
4. เครื่องหาความชื้นแบบอินฟาเรด
5. ชุดควบคุม

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้ง

รูปที่ 2 กากมันสำปะหลังสดจากโรงงาน

2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

2.2.1 ทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเวลาต่างๆ

เตรียมกากมันสำปะหลังซึ่งได้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา ชั่งน้ำหนัก 20 kg ใส่เข้าถังอบปิดฝาเครื่องอบแล้วทำการตั้งอุณหภูมิ เปิดระบบการทำงานของเครื่องอบโดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อน 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงหมุน 2 rpm จดบันทึกน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง ความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง โดยบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งตัวอย่างหยุดหล่นจากรูตะแกรง บันทึกพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด ทำซ้ำโดยปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100°C ทำการทดลองด้วยวิธีการตามข้างต้นโดยเปลี่ยนความเร็วรอบตะแกรงเป็น 4 และ 6 rpm ตามลำดับ

2.2.2 การประเมินสมรรถนะในการอบแห้ง

ในการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนนี้จะมีการประเมินสมรรถนะในการอบแห้งแตกต่างจากวิธีการอบแห้งแบบปกติ เนื่องจากขณะทำการอบแห้งกากมันสำปะหลังจะตกผ่านรูตะแกรงออกไปอย่างต่อเนื่อง โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาในการอบแห้งจะกระทำพร้อมกับประสิทธิภาพการร่อนผ่านรูตะแกรงในช่วงเวลาต่างๆ โดยความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง

2.2.3 วิเคราะห์หาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption, SEC) คือ ค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหยมีหน่วยเป็น MJ/kg-waterโดยพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลังมี 2 ส่วนดังนี้

1) ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน โดยใช้สมการที่ 1

$$Energy = \frac{HHV \times M_{LPG}}{t \times 3600} \quad (1)$$

โดยที่

Energy คือ พลังงานที่เข้าไปในระบบ (kW)
HHV คือ ค่าความร้อนของแก๊ส LPG (kJ/kg)
M_{LPG} คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิง (kg)
t คือ เวลาในการอบแห้ง (hr)

2) ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากมอเตอร์ต้นกำลัง และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ โดยดูจากมิเตอร์ ไฟฟ้า

ดังนั้นความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption, SEC) หาได้จากสมการ

$$SEC = \frac{T_{Energy} \times t \times 3600}{W_{loss}} \quad (2)$$

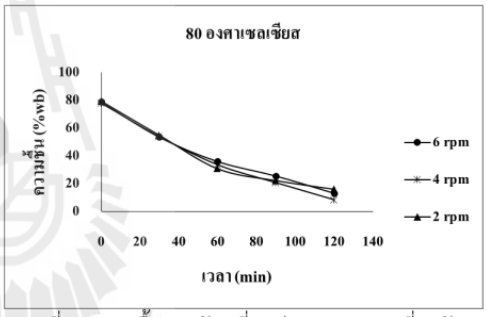
โดยที่

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพา(MJ/kg)
T_{Energy} คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (MW)
t คือ เวลาในการอบแห้ง (hr)
W_{loss} คือ น้ำหนักน้ำที่หายไปเฉลี่ยทั้งที่ตกผ่านรูตะแกรงและที่ค้างอยู่ในถังอบ (kg)

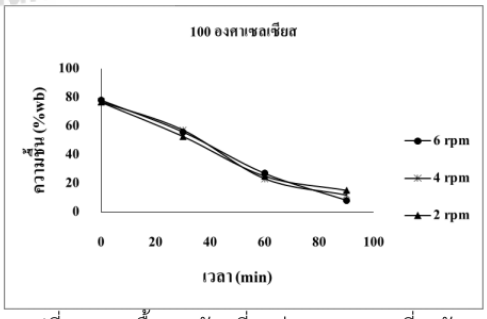
3. ผลและวิจารณ์

3.1 เวลาในการอบแห้ง น้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ร่วงจากตะแกรง

จากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง ที่อุณหภูมิ 80°C และ 100°C ตามรูปที่ 3 และ 4 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 100°C จะมีระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 80°C ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ใส่เข้าไปในการอบแห้งมีสูงกว่า



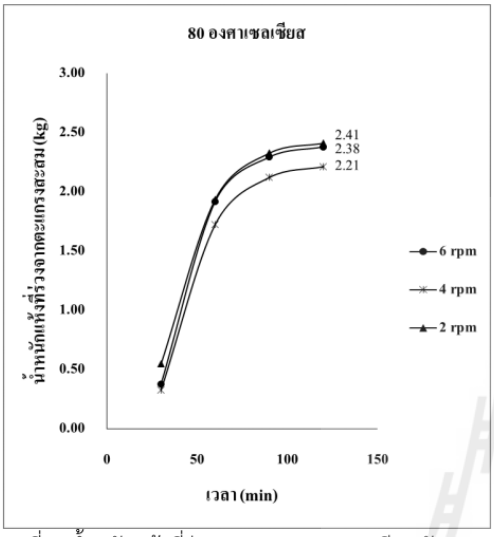
รูปที่ 3 ความชื้นของวัสดุที่ตกผ่านรูตะแกรง ที่ระดับอุณหภูมิ 80°C



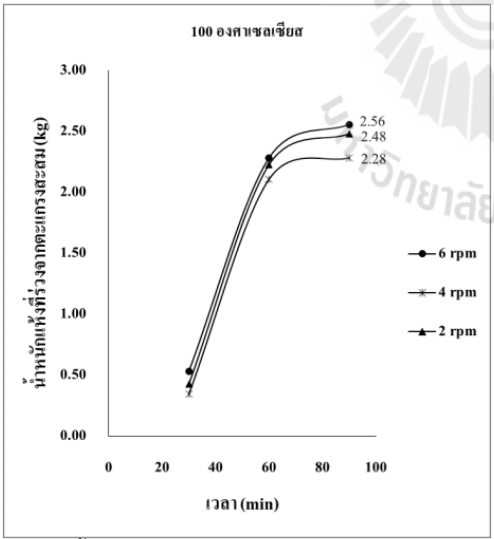
รูปที่ 4 ความชื้นของวัสดุที่ตกผ่านรูตะแกรง ที่ระดับอุณหภูมิ 100°C

เมื่อพิจารณาอัตราการตกผ่านรูตะแกรงของกากมันสำปะหลังจะเริ่มสูงขึ้นเมื่อความชื้นในช่วง 25-35%$_{wb}$ ทั้งการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 80°C และ

100°C โดยปริมาณกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรงสะสมเทียบกับเวลา แสดงไว้ในรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 น้ำหนักแห้งที่ร่วงจากตะแกรงสะสมเทียบกับเวลา (ที่อุณหภูมิ 80°C)



รูปที่ 6 น้ำหนักแห้งที่ร่วงจากตะแกรงสะสมเทียบกับเวลา (ที่อุณหภูมิ 100°C)

โดยความชื้นเฉลี่ยของกากมันสำปะหลังที่ได้จากการอบแห้งกากมันสำปะหลังแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งยังคงมีความชื้นที่สูงไม่สามารถเก็บรักษาได้ จำเป็นที่จะต้องนำไปลดความชื้นให้มีความชื้นไม่เกิน 13%$_{wb}$ ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษา

ตารางที่ 1 ความชื้นเฉลี่ยของกากมันสำปะหลังที่ผ่านตะแกรงและกากมันสำปะหลังที่ค้างในถังอบ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความชื้นเฉลี่ย (%$_{wb}$)	
		กากมันผ่านตะแกรง	กากมันค้างตะแกรง
100	2	31.13	37.00
	4	30.85	34.00
	6	34.45	35.00
80	2	36.61	48.90
	4	34.96	32.00
	6	39.50	32.20

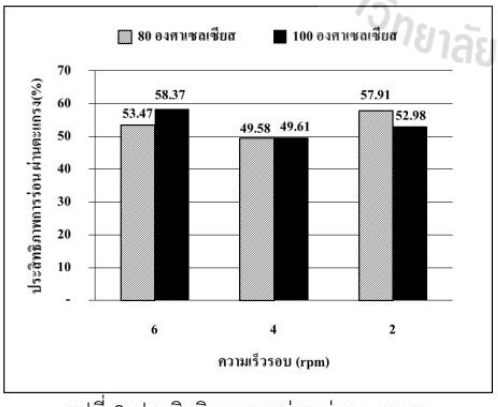
3.2 ประสิทธิภาพการตกผ่านรูตะแกรง

จากการทดลองพบว่าได้กากมันสำปะหลังสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนที่ร่วงจากรูตะแกรง รูปที่ 7 ซึ่งจะมีลักษณะเป็นผงเส้นใยขนาดเล็กตามขนาดรูตะแกรง สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่จำเป็นต้องย่อยละเอียดอีก ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการ ส่วนที่สองเป็นกากมันสำปะหลังที่จับตัวกันเป็นก้อนค้างอยู่ในถังตะแกรงทรงกระบอก ดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถแตกตัวภายในถังได้

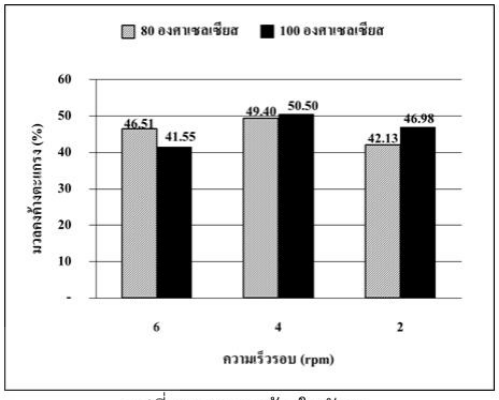
รูปที่ 7 กากมันสำปะหลังที่ร่วงจากตะแกรง

รูปที่ 8 กากมันสำปะหลังที่คงค้างในถังอบ

จากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการร่อนของตะแกรงพบว่าประสิทธิภาพการร่อนมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของถังตะแกรงทรงกระบอกและอุณหภูมิในห้องอบแห้งจากที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 เมื่อความเร็วรอบสัมพันธ์กับความชื้นที่ลดลงจะทำให้ได้กากมันที่ร่วงจากตะแกรงมากประสิทธิภาพการร่อนผ่านตะแกรงจะมากตามไปด้วยจากรูปที่ 9 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบ 6 rpm จะมีประสิทธิภาพการร่อนมากกว่าที่สภาวะอื่นๆคือ 58.37%$_{dry\ mass}$ และจากรูปที่ 10 ที่ความเร็วรอบ 6 rpm จะมีมวลคงค้างตะแกรงน้อยกว่าที่สภาวะอื่นๆคือ 41.55%$_{dry\ mass}$



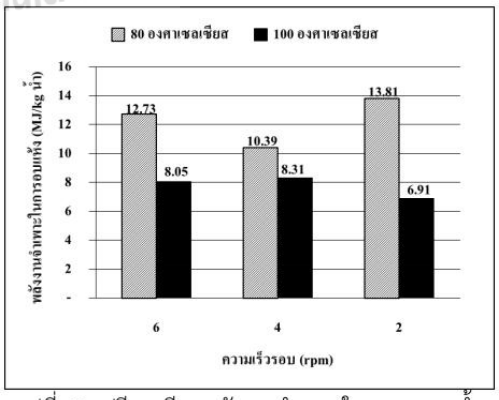
รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการร่อนผ่านตะแกรง



รูปที่ 10 มวลคงค้างในถังอบ

3.3 พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำที่ความเร็วรอบ 2 rpm, 4 rpm และ 6 rpm อุณหภูมิ 80°C และ 100°C พบว่าความเร็วรอบการหมุนของตัวถังตะแกรงทรงกระบอกแต่ละความเร็วรอบใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำแตกต่างกันไปแต่ที่อุณหภูมิ 100°C ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำน้อยกว่าอุณหภูมิ 80°C เนื่องจากว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนที่สูงจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำน้อยลงด้วย



รูปที่ 11 เปรียบเทียบพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน

จากการทดสอบจะเห็นว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งแบบตะแกรงหมุนที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบ 6 rpm มีความชื้นอยู่ระหว่าง 34-35%$_{wb}$ มีความแตกต่างกันที่ขนาดของกากมันสำปะหลัง คือ ขนาดน้อยกว่า 3 mm และขนาดมากกว่า 3 mm โดยให้สัดส่วน 58 : 42 ตามลำดับ ซึ่งการนำกากมันสำปะหลังแห้งนี้ไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบจึงสามารถทำได้ เช่น ในส่วนของกากมันสำปะหลังแห้งที่มีขนาดน้อยกว่า 3 mm นำไปผลิตเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์แป้งค่อนข้างสูงส่วนขนาดมากกว่า 3 mm สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เส้นใยเซลลูโลสสูง ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาต่อไป

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C ให้ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรง มากที่สุด คือ 2.29 kg$_{dry\ mass}$ มีความชื้นเฉลี่ย 34.45%$_{wb}$

2. ที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C มีประสิทธิภาพการร่อนมากกว่าที่สภาวะอื่นๆคือ 58.37%$_{dry\ mass}$ แต่ยังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงมีแนวทางที่จะพัฒนารูปแบบการอบแห้งด้วยการเพิ่มขนาดรูตะแกรงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการร่อนที่สูงขึ้นลดปริมาณกากมันสำปะหลังที่จับตัวเป็นก้อนในถังตะแกรงทรงกระบอก

3. มวลคงค้างในถังตะแกรงทรงกระบอกที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C มีมวลคงค้างน้อยที่สุด คือ 41.55%$_{dry\ mass}$ โดยมีความชื้น 35%$_{wb}$

4. ที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°C มีความชื้นเฉลี่ยของกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรง คือ 34.45%$_{wb}$ จะต้องลดความชื้นอีกเพื่อให้สามารถจัดเก็บได้ ส่วนความชื้นของมวลคงค้างในถังตะแกรงทรงกระบอกมีความชื้น 35%$_{wb}$ จะต้องนำไปลดขนาดก่อนลดความชื้นอีกครั้ง

5. ที่ความเร็วรอบ 6 rpm และอุณหภูมิ 100°Cใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ 8.05 MJ/kg-water

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2551, **ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรรายเดือน. ระบบแสดงข้อมูลด้านสถิติ.** แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/wslmEx.php, 2 กันยายน 2551.

[2] สุระ ตันดี, ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์, โชติวาล ชัยธวัชวิบูลย์ และอนุชา สมพงษ์. 2553. คุณลักษณะของการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง. ในรายงานการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, ขอนแก่น

[3] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

[4] กิตติพงษ์ กุลมาตย์ 2537. **การอบแห้งข้าวเปลือกแบบถังทรงกระบอกหมุน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[5] วีรชัย อาจหาญ, วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน, พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, คธา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, ชาญชัย โรจนสโรช, สามารถ บุญอาจ และวิเชียร ดวงสีเสน. 2552. รายงานโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. 82 หน้า

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล

ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค

Dr.Tawarat Treeamnuk

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0 4422 4221 โทรสาร 0 4422 4220

E-mail: tawarat@sut.ac.th

4. การศึกษา

วศ.ด. (วิศวกรรมเกษตร), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2551

วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2545

วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2542

5. ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2548- ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2545	อาจารย์พิเศษสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. ผลงานวิจัย

- บัณฑิต จริโมภาส, ชัยพร ทองปัญญา, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, นฤมล บุญกระจ่าง และ มาลัย ไกรทอง. 2543. การศึกษาการยุบตัวของส้มเขียวหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งระหว่างการขนส่งทางบก. วารสารวิชาการเกษตร, ปีที่ 18 (2), หน้า 137-147.
- สมยศ เชิญอักษร และ เทวรัตน์ ทิพยวิมล. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 367-374.
- บัณฑิต จริโมภาส และ เทวรัตน์ ทิพยวิมล. 2547. ภาชนะสุญญากาศสำหรับการทดสอบรอยรั่วของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว .2547. บทความวิจัย เสนอในการประชุมวิชาการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 1 จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม วันที่ 7-9 ธันวาคม.

- เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2548. การอบแห้งพริกด้วยระบบลมร้อนและไมโครเวฟ. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2548 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 113-114.
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2549. การอบสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 112.
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2550. การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 25 (1), หน้า 46-57.
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล, สมยศ เชิญอักษร, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และเชาว์ อินประสิทธ์. 2550. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 13 (1), หน้า 23-29.
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2251. ความชื้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งของไพล. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2551 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 86.
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2551. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 164-167.
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล. 2552. เอกสารประกอบการสอนวิชาการอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 144 น.
- Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2006. Thai aroma herb drying with microwave assisted heat pump dryer. Proceedings of the 13th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2006, Oct. 29-Nov. 2. Mie University, Japan. Pp. 278-281.
- Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. Proceeding of International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.

- ธนธัช มุขขันธ์, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, พรรษา ลิบลับ และวีรชัย อาจหาญ, "การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ", ประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติ (National Conference), 2552
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล, เกียรติศักดิ์ ใจโต, ธรรมรัตน์ ขาวสำอางค์, กระวี ตรีอำนรรค, "เครื่องแยกแกลบจากข้าวกล้องซ้อมมือแบบประหยัด", วารสารวิชาการระดับชาติ (National Journal), 2554
- พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, คธา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, วีรชัย อาจหาญ, "การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาดมันสำปะหลัง", วารสารวิชาการระดับชาติ (National Journal), 2554
- ปัทมา แก้วธรรม, วันพิทักษ์ คงสนุ่น, กระวี ตรีอำนรรค, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, "การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน-ไมโครเวฟ", วารสารวิชาการระดับชาติ (National Journal), 2554
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล และสมยศ เชิญอักษร, "ความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล", วารสารวิชาการระดับชาติ (National Journal), 2554
- วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, วีรชัย อาจหาญ, "การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน", ประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติ (National Conference), 2555
- เทวรัตน์ ทิพยวิมล, ปริศนา แสงรุ้ง, ปัตตะนี สุตตะนา, "สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105", ประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติ (National Conference), 2555
- ศักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ทิพยวิม, กระวี ตรีอำนรรค, "การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว", ประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติ (National Conference), 2555