TEA-02

การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

นาฏชนก ปรางปรุ[1], วิเชียรดวงสีเสน[1], เทวรัตน์ ตรีอำนรรค[1]และ เกียรติศักดิ์ใจโต[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารีอำเภอเมืองนครราชสีมาจังหวัดนครราชสีมา 30000

ผู้เขียนติดต่อ: นาฏชนก ปรางปรุ E-mail: miss_nartchanok@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยความหนาของกองกากมันสำปะหลัง 2 cm 4 cm และ 6 cm การพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองของกากมันสำปะหลัง โดยทำแห้งกากมันสำปะหลังที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 81.10%wb พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 596.53 W/m^2 อุณหภูมิเฉลี่ย 37.43 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 47.99% และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งทั้งหมด 14 วันผลจากการทดสอบพบว่าทั้งความหนาและการพลิกกลับกองมีผลต่อความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยการทำแห้งที่ความหนา 2 cmสามารถลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 9.21%wb และไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นส่วนการทำแห้งที่ความหนา 6 cm ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นสูงเกินกว่าการจัดเก็บให้ปลอดภัยและมีเชื้อราเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการพลิกกลับกอง พบว่าที่ความหนาเดียวกันความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังมีค่าลดลงเมื่อมีการพลิกกลับกองซึ่งผลจากการประเมินความสามารถในการทำแห้ง พบว่าการทำแห้งที่ความหนา 2 cm และไม่มีการพลิกกลับกองเป็นสภาวะที่มีความสามารถในการทำแห้งสูงสุด

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลัง; พลังงานแสงอาทิตย์; การทำแห้ง

1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีศักยภาพทางด้านการตลาดสูง เนื่องจากมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังมากกว่า 22 ล้านตันต่อปี [1] โดยผลผลิตหัวมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย 50% จะถูกนำไปผลิตเป็นมันเส้นหรือมันอัดเม็ด และอีก 50% จะถูกนำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งในกระบวนการผลิตมันเส้นหรือมันอัดเม็ดจะไม่มีผลพลอยได้เกิดขึ้น ขณะที่กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีผลพลอยได้เกิดขึ้นคือ เปลือกมันและกากมัน หัวมันสำปะหลังสดหนึ่งตันจะมีปริมาณเปลือกมันและกากมันประมาณ 30 kg, 60 kg ตามลำดับ [2] ซึ่งเปลือกมันสำปะหลังนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกเห็ดและทำเป็นอาหารสัตว์ต่างๆ [3] ส่วนกากมันสำปะหลังที่ออกมาจากโรงงานจะมีความชื้นสูงประมาณ 70 – 80 %wb ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ โดยหากปล่อยทิ้งไว้จะก่อให้เกิดสภาพการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนรอบข้างจึงจำเป็นต้องมีการลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงเพื่อให้สามารถเก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ซึ่งในปัจจุบันการลดความชื้นกากมันสำปะหลังนิยมใช้วิธีการตากบนพื้นคอนกรีตขนาดใหญ่ [4] เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก และมีต้นทุนต่ำ แต่มักทำให้กากมันสำปะหลังมี เชื้อราเกิดขึ้นซึ่งอาจส่งผลต่อการจัดเก็บได้ ฉะนั้นการตากบนพื้นคอนกรีตขนาดใหญ่ร่วมกับการพลิกกลับกองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดปัญหาของการเกิดเชื้อรา และหากมีการพัฒนาศึกษารูปแบบของการลดความชื้นที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดศักยภาพในการนำกากมันสำปะหลังมาใช้

ประโยชน์ได้เป็นอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและประเมินความสามารถในการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเป็นแนวทางในการทำแห้งกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา (บริษัทสงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด) โดยทั้งกากมันสำปะหลังสดและกากมันสำปะหลังที่ผ่านการ ทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกนำไปหา ค่าความชื้นโดยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ซึ่งค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังสามารถคำนวณได้ดังนี้

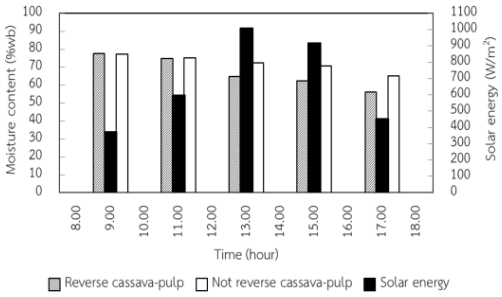
$$M = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\% \qquad (1)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นของกากมันสำปะหลัง (%wb) W_i คือ น้ำหนักของกากมันสำปะหลังก่อนอบแห้ง (g) W_f คือ น้ำหนักของกากมันสำปะหลังหลังอบแห้ง (g)

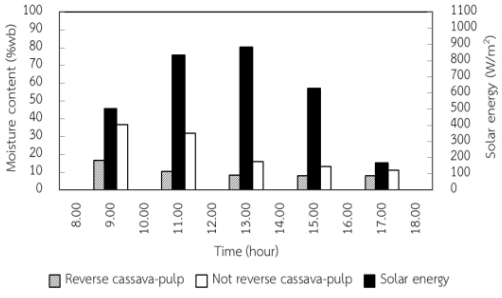
ในการทดลองนี้จะทำการแบ่งตัวอย่างทั้งหมดออกเป็น 2 กลุ่ม คือการทำแห้งกากมันสำปะหลังแบบพลิกกลับกอง และการทำแห้งกากมันสำปะหลังแบบไม่พลิกกลับกอง โดยในแต่ละกลุ่มจะมีการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง และในตัวอย่าง 1 กลุ่มจะประกอบด้วยกากมันสำปะหลังซึ่งมีขนาดพื้นที่ต่อกองเท่ากับ 1 m^2 มีน้ำหนักต่อกองเป็น 15 kg, 30 kg, 45 kg มีความหนาของกองเป็น 2 cm, 4 cm 6 cm ตามลำดับ และทำการบันทึกข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2) ความชื้นของกากมันสำปะหลัง (%wb) ความชื้นสัมพัทธ์ (%) และอุณหภูมิของอากาศ (^oC) โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 14 วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 11.5

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลจากการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ พบว่าเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นความชื้นของกาก มันสำปะหลังจะมีค่าลดลงโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดเมื่อคิดโดยเฉลี่ยต่อวันประมาณ 891.71 W/m^2 .จึงทำให้ความชื้นของกากมันสำปะหลังมีค่าลดลงมากกว่าช่วงเวลาอื่นของวัน ดังแสดงในรูปที่ 1 – 2 ซึ่งจะเห็นว่าการทำแห้งกากมันสำปะหลังทั้งวันที่ 1 และวันที่ 4 ในช่วงกลางวันตั้งแต่เวลา 11.00 น. – 15.00 น. ของแต่ละวันจะทำให้กากมันสำปะหลังมีค่าความชื้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงทำให้กากมันสำปะหลังสามารถระบายความชื้นออกจากตัววัสดุได้ดีกว่าช่วงเวลาอื่นที่มีอุณหภูมิต่ำจึงส่งผลให้ค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังมีค่าลดลง ขณะที่การทำแห้งกากมันสำปะหลังของวันที่ 4 ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 9.00 น. จะทำให้กากมันสำปะหลังมีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าช่วงเย็นของวันก่อนหน้า เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้กากมันสำปะหลังมีการดูดความชื้นกลับจากสิ่งแวดล้อมได้มาก ถึงแม้ว่าจะมีการคลุมด้วยพลาสติกแล้วก็ตามจึงส่งผลให้ค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์และค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังในวันที่ 1 ของการทำแห้งที่ความหนา 2 cm



รูปที่ 2 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์และค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังในวันที่ 4 ของการทำแห้งที่ความหนา 2 cm

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความหนาร่วมกับปัจจัยด้านการพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองของกากมันสำปะหลัง พบว่าทั้งความหนาและการพลิกกลับกองมีผลต่อความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ดังแสดงใน ตารางที่ 1 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าการทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 2 cm และ 4 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 6 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทำแห้งที่ความหนา 2 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองสามารถลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 9.21 %wb, 9.23 %wb ตามลำดับ และไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายสามารถจัดเก็บได้อย่างปลอดภัย เนื่องจากการลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงจนเหลือความชื้นต่ำกว่า 10 %wb จะถือได้ว่าเป็นความชื้นที่สามารถเก็บรักษากากมันสำปะหลังอย่างปลอดภัย [5] ส่วนการทำแห้งที่ความหนา 4 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองสามารถลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 9.65 %wb, 10.21 %wb ตามลำดับ และไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น ขณะที่การทำแห้งที่ความหนา 6 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองสามารถลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 11.77 %wb, 48.24 %wb ตามลำดับ และมีเชื้อราเกิดขึ้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่สามารถจัดเก็บได้อย่างปลอดภัย เนื่องจากมีค่าความชื้นสูงไม่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา และหากปล่อยทิ้งไว้อาจก่อให้เกิดสภาพการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนบริเวณรอบข้างได้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F-value
ระหว่างกลุ่ม	5	6111.7	1222.3	642.3**
ภายในกลุ่ม	24	45.7	1.9	
รวม	29	6157.4		

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p<0.01$)

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

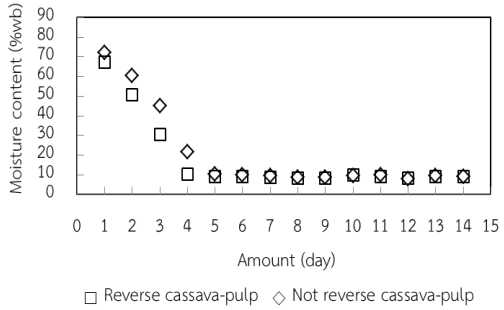
แหล่งความแปรปรวน	Mean ± SD
การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 2 cm แบบพลิกกลับกอง	9.21 ± 0.79^{a}
การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 2 cm แบบพลิกกลับกอง	9.23 ± 1.07^{a}
การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 4 cm แบบพลิกกลับกอง	9.65 ± 0.95^{a}
การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 4 cm แบบพลิกกลับกอง	10.21 ± 1.16^{a}
การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 6 cm แบบพลิกกลับกอง	11.77 ± 2.17^{a}
การทำแห้งกากมันสำปะหลังที่ความหนา 6 cm แบบพลิกกลับกอง	48.24 ± 1.62^{b}

$^{a-b}$ อักขระที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p<0.01$)

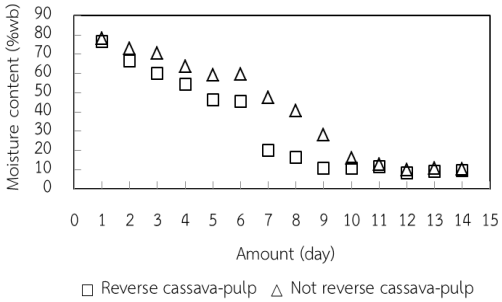
เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความหนาของกองกากมันสำปะหลัง พบว่ากองกากมันสำปะหลังที่มีความหนาน้อยกว่าจะสามารถทำแห้งได้เร็วกว่ากองกากมันสำปะหลังที่มีความหนามากกว่า หรือกล่าวได้ว่าอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนา โดยที่ความหนา 2 cm จะสามารถทำแห้งได้เร็วกว่าที่ความหนา 4 cm, 6 cm ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการทำแห้งจะเริ่มด้วยการที่น้ำซึ่งอยู่ภายในของวัสดุมีการเคลื่อนที่ออกมายังบริเวณผิวหน้า และเมื่อวัสดุได้รับพลังงานความร้อนจากบริเวณผิวหน้า วัสดุก็จะนำพลังงานความร้อนนี้มาใช้ในการระเหยน้ำออกจากตัวของวัสดุเอง ซึ่งจะทำให้ความชื้นของวัสดุค่อยๆ มีค่าลดลง ดังนั้นหากระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนของน้ำจากภายในวัสดุออกมายังบริเวณผิวหน้ามีระยะทางน้อย (มีความหนาของกองกากมันสำปะหลังน้อย) ก็จะทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่ออกมายังบริเวณผิวหน้าได้เร็ว ส่งผลให้ค่าความชื้นของวัสดุลดลงได้เร็ว แต่หากระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนของน้ำจากภายในวัสดุออกมายังบริเวณผิวหน้ามีระยะทางมาก (มีความหนาของกองกากมันสำปะหลังมาก) ก็จะทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่ออกมายังบริเวณผิวหน้าได้ช้า ส่งผลให้ค่าความชื้นของวัสดุลดลงได้ช้า ดังแสดงในรูปที่ 3 – 5 ซึ่งจะเห็นว่าการทำแห้งที่ความหนา 2 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองสามารถทำแห้งกากมันสำปะหลังได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่วันที่ 4 – 5 ของการทำแห้ง ดังนั้นการตากกากมันสำปะหลังต่อไปอีก 10 วัน จึง

ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์อีกทั้งยังก่อให้เกิดความสิ้นเปลือง ส่วนการทำแห้งที่ความหนา 4 cm ทั้งแบบพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองสามารถทำแห้งกากมันสำปะหลังได้ตั้งแต่วันที่ 9 – 10 ของการทำแห้ง แต่ความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าสูงเกินกว่าจะสามารถจัดเก็บได้อย่างปลอดภัยจึงไม่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ส่วนการทำแห้งที่ความหนา 6 cm มีเพียงแบบพลิกกลับกองที่สามารถทำแห้งกากมันสำปะหลังได้ตั้งแต่วันที่ 13 – 14 ของการทำแห้ง แต่ความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าสูงเกินกว่าจะสามารถจัดเก็บได้อย่างปลอดภัยจึงไม่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ขณะที่แบบไม่พลิกกลับกองไม่สามารถทำแห้งกากมันสำปะหลังได้ จึงทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าสูงมากจนไม่สามารถทำการเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัย ทั้งยังมีเชื้อราเกิดขึ้น

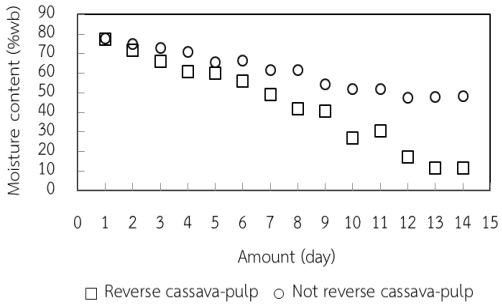
เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการพลิกกลับกองและไม่พลิกกลับกองของกากมันสำปะหลัง พบว่าที่ความหนาเดียวกันการทำแห้งกากมันสำปะหลังแบบพลิกกลับกองจะทำให้กากมันสำปะหลังมีค่าความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยลดลงมากกว่าการทำแห้งกากมันสำปะหลังแบบไม่พลิกกลับกอง เนื่องจากการพลิกกลับกองเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับอากาศของกากมันสำปะหลังให้สามารถสัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึง ซึ่งทำให้กากมันสำปะหลังสามารถระบายความชื้นออกจากตัววัสดุได้ดีส่งผลให้กากมันสำปะหลังที่มีการทำแห้งแบบพลิกกลับกองมีความชื้นลดลงมากกว่ากากมันสำปะหลังที่มีการทำแห้งแบบไม่พลิกกลับกอง แต่ในทางปฏิบัติจริงหากนำไปใช้กับสถานการณ์ของการทำแห้งและต้องมีการพลิกกลับกองนั้นจะทำให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนในกระบวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนของแรงงานหรือเครื่องจักรที่ใช้ในการพลิกกองเพิ่มขึ้นจึงก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองได้



รูปที่ 3 ค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังจากการทำแห้งเป็นเวลา 14 วัน ที่ความหนา 2 cm



รูปที่ 4 ค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังจากการทำแห้งเป็นเวลา 14 วัน ที่ความหนา 4 cm



รูปที่ 5 ความชื้นของกากมันสำปะหลังจากเป็นเวลา 14 วัน ที่ความหนา 6 cm

4. สรุปผลการทดลอง

การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้กากมันสำปะหลังมีความชื้นลดลงต่ำกว่า 10 %wb เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตอื่นต่อไปได้ โดยสภาวะของการทำแห้งที่ให้อัตราการทำแห้งสูงสุดคือ การทำแห้งที่ความหนา 2 cm และไม่มีการพลิกกลับกองของกากมันสำปะหลัง ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของเชื้อรา

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553). *ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร ชนิดมันสำปะหลังโรงงาน ประจำปี 2553-2555*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

http://www.-oae.go.th/download/prcai/DryCDry/cassava53-55.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/02/2556.

[2] วีรชัย อาจหาญ, วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน,พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, คธา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, ชาญชัย โรจนสโรช, สามารถ บุญอาจ และวิเชียร ดวงสีเสน (2552). รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนา*กระบวนการผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล*, โครงการวิจัยงานวิจัยเพื่อนวัตกรรมประจำปีงบประมาณ 2551 ภาคีศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 82 หน้า.

[3] ศิริลักษณ์ สร้อยจุฑา. 2554. ผลของการเสริมเปลือกมันสำปะหลังที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยใช้จุลินทรีย์จากกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของไก่กระทง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสารคาม. 88 หน้า.

[4] วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, วีรชัย อาจหาญ. 2555. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. *รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ประจำปี 2555*, หน้า660-666. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 4-5 เมษายน 2555, โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง, เชียงใหม่.

[5] เทวรัตน์ ทิพยวิมล, เกียรติศักดิ์ ใจโต, วีรชัย อาจหาญ, กระวี ตรีอำนรรค. 2555. การอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. *การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2555*, หน้า 135-138. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 23-24 สิงหาคม 2555, โรงแรมเซ็นทาราคอนเวนชันเซ็นเตอร์, ขอนแก่น.