รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

โดย นายเอกชัย รัตนบรรลือ และคณะ

กุมภาพันธ์ 2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

คณะผู้วิจัย		สังกัด
1.นายเอกชัย	รัตนบรรลือ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
2.นายสุธี	ลี้จงเพิ่มพูน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
3.นายสมบัติ	ก่ำมอญ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
4.นางสาวชิดชนก	มากจันทร์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
5.นายกิตติพงษ์	คล้ายดี	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
6.ดร.นิรันดร์	วัชโรดม	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน นี้ สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ หน่วยนวัตกรรมเพื่อสังคมและชุมชน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และ กลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ ด้านข้อมูล, วัตถุดิบ และความร่วมมือในหลายๆด้าน ที่ใช้ในการดำเนินการโครงการวิจัย เป็นอย่างดี รวมถึงคำแนะนำจากและผู้ทรงคุณวุฒิจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุกท่าน คณะผู้บริหารของมหาวิทยาลัย คณะ และ สถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ให้คำแนะนำ และสนับสนุนให้การทำงานผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี ทำให้การดำเนินโครงการวิจัยเรื่องเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

สุดท้ายนี้ คณะผู้ดำเนินการโครงการวิจัย ขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุกๆท่านๆที่ให้การสนับสนุนจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งผลประโยชน์อันใดที่เกิดจากรายงานวิจัยฉบับนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ และหวังว่า โครงการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย หากเกิดความผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

บทสรุปผู้บริหาร

ในปัจจุบันพื้นที่ ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการปลูกแห้วจีนเป็นจำนวนมาก จากข้อมูล ปี 2553-2556 จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ปลูกแห้วจีนทั้งสิ้นประมาณ 9,517 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 16,785 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 4,034 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ปัญหาสำคัญในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวแห้วจีนคือ หลังจากที่มีการปอกเปลือกแห้วจีนเพื่อจำหน่ายเนื้อแห้วแล้วนั้น ทำให้มีเปลือกแห้วจีนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลภาวะแวดล้อม จึงทำให้ เกิดการแปรรูปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง เพื่อผลิตเป็นชา จากเปลือกแห้วจีน ซึ่งปัจจุบันนับเป็นอีกสินค้าชนิดหนึ่งของกลุ่มผู้แปรรูป

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้เกิดการสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เพื่อจุดประสงค์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกแห้วจีน เพราะจากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่พบว่าแห้ว 1 ถัง น้ำหนัก 15 กิโลกรัมพบว่าเมื่อมีการปอกเปลือกเพื่อทำการแปรรูปจะเป็นส่วนของเนื้อ 8 กิโลกรัม และเป็นเปลือก 7 กิโลกรัม และกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการนำเปลือกแห้วมาทำทำให้แห้งด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อผลิตเป็นชาจากเปลือกแห้วเพื่อจำหน่าย ดังนั้นเครื่องอบแห้งต้นแบบที่สร้างขึ้นเป็นการพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรรูปแบบใหม่ และเป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่นไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น และในเชิงอุตสาหกรรมอาหารต่อไปได้ในอนาคต

เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน ที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบที่การนำเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 รูปแบบมาใช้ในการอบแห้งในพิกัด 5 กิโลกรัม ซึ่งจากการอบแห้งเดิมของกลุ่มผู้แปรรูป พบการแปรรูปใน 3 รูปแบบคือ การตากแดดตามวิธีดั้งเดิมคือการนำเปลือกแห้วมาใส่ภาชนะแล้วนำมาตากแดดซึ่งจะพบปัญหาจากสภาวะอากาศที่ไม่แน่นอน และวิธีที่ 2 คือ อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ซึ่งจะพบปัญหาด้านสภาวะอากาศเหมือนกับวิธีแรก และวิธีที่ 3 คืออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบทั่วไป ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้นนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตู้อบลมร้อนแบบทั่วไป พบว่า สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 1 ชั่วโมง และมีอัตราการลดลงของน้ำหนักได้เร็วกว่า 14.5% และมีอัตราการระเหยที่เร็วกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว เฉลี่ยที่ 28.81% เมื่อมีการใช้สนามไฟฟ้าช่วยในการอบแห้งที่ 2 ชั่วโมงแรกของกระบวนการลดความชื้น และมีต้นทุนด้านพลังงานในการอบแห้งต่อกิโลกรัมที่ 2.28 บาทต่อกิโลกรัม

Executive Summary

At present, there are a lot of Chinese water chestnuts being grown in Wang Yang Subdistrict, Si Prachan District, Suphan Buri Province. Based on the data of 2010-2013, total areas of 9,517 Rais in Suphan Buri Province were grown of Chinese water chestnuts with the total productivity of 16,785 tons, yielding 4,034 kilograms per Rai on average. However, the significant issue in the post-harvesting process is the large amount of Chinese water chestnut outer shells or skins after being peeled off in order to use only white flesh of Chinese water chestnut for sale, resulting loads of agricultural wastes which cause environmental pollution. Therefore, the idea to make these wastes processed through the dehydration method to produce tea made from Chinese water chestnut skins was happened, presently, such tea is considered as one of products produced by the group of people conducting food processing.

From the sequence of events mentioned above, the dehydrator of water chestnut skins applying the electric field technique in combination with the heat pump was created with the purpose to add values for agricultural wastes from Chinese water chestnut skins because the data collected from the field work showed that a bucket of water chestnuts (15 kilograms) provides 8 kilograms of fleshes and 7 kilograms of skins. The processing unit of water chestnut products under the Public Health Voluntary Housewife Union, Wang Yang Subdistrict, Si Prachan District, Suphan Buri Province dehydrates water chestnut skins and conducts many processes to produce tea made from water chestnut skins for sale. Accordingly, the prototype dehydrator was created to develop new style of agricultural product processing and the agricultural products in Thailand's local areas are used to yield benefits for adding economic values to local areas and food industry in the future.

The dehydrator of water chestnut skins applying the electric field technique in combination with the heat pump which was created is the prototype dehydrator applying two categories of dehydrating technology for dehydration in the scale of 5 kilograms. The existing dehydration methods used by the group of people conducting food processing can be classified into 3 methods as follows: the 1st method which is the original one is the dehydration with sunshine (putting water chestnut skins in containers), the problem found is the uncertain weather condition; the 2nd method uses the greenhouse solar dehydrator, the problem found is the uncertain weather condition, similar to the 1st method; and the last method uses the conventional

thermal wind dehydrator. The results of the experiment showed that when comparing the prototype dehydrator of water chestnut skins applying the electric field technique in combination with the heat pump to the conventional thermal wind dehydrator, the dehydration time was reduced by 1 hour, the rate of weight loss was faster than 14.5%, the evaporation rate was faster than the rate of solely using the heat pump at 28.81% on average when applying the electric field technique to support the dehydration in the first 2 hours of dehumidification process, and the energy cost of dehydration per kilogram was 2.28 Baht.

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG60A002/07

ชื่อโครงการ : เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

หัวหน้าโครงการ : นายเอกชัย รัตนบรรลือ

ระยะเวลาดำเนินงาน : 12 เดือน (1 มีนาคม 2560 – 28 กุมภาพันธ์ 2561)

พื้นที่ ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการปลูกแห้วจีนเป็นจำนวนมาก จากข้อมูล ปี 2553-2556 จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ปลูกแห้วจีนทั้งสิ้นประมาณ 9,517 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 16,785 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 4,034 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ปัญหาสำคัญที่พบคือ หลังจากกระบวนการปอกเปลือกแห้วจีนเพื่อจำหน่ายเนื้อแห้วแล้วนั้น ส่งผลให้มีเปลือกแห้วจีนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก พบว่าแห้วสด 1 ถัง น้ำหนัก 15 กิโลกรัม เมื่อมีการปอกเปลือกเพื่อทำการแปรรูปจะเป็นส่วนของเนื้อ 8 กิโลกรัม และเป็นเปลือก 7 กิโลกรัม ซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลภาวะ จึงทำให้เกิดการแปรรูปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง โดยกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการนำเปลือกแห้วมาทำเป็นชาเพื่อจำหน่าย ซึ่งจากการอบแห้งเดิมของกลุ่มผู้แปรรูป พบการแปรรูปใน 3 รูปแบบคือ การตากแดดตามวิธีดั้งเดิมคือการนำเปลือกแห้วมาใส่ภาชนะแล้วนำมาตากแดด และวิธีที่ 2 คือ อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก และวิธีที่ 3 คืออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

จากข้อมูลดังกล่าว เป็นที่มาของการสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกแห้วจีน เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยเทคนิคของสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน ที่สร้างขึ้นมีขนาดในการอบแห้งใน 5 กิโลกรัม ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตู้อบลมร้อน สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 1 ชั่วโมง และมีอัตราการลดลงของน้ำหนักได้เร็วกว่า 14.5% และมีอัตราการระเหยที่เร็วกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว เฉลี่ยที่ 28.81% และมีต้นทุนด้านพลังงานในการอบแห้งต่อกิโลกรัมต่ำที่ 2.28 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้ง, ปั๊มความร้อน, สนามไฟฟ้า

Abstract

Project ID : RDG60A002/07

Project title : Dryer Chestnut Peel by Technical Electric Field Combine with Heat Pump.

Researcher : Mr.Aerchai Rattanabanlue

Duration : 12 Month (1 March 2017 - 28 February 2018.)

There are a lot of Chinese water chestnuts being grown in Wang Yang Subdistrict, Si Prachan District, Suphan Buri Province. Based on the data of 2010-2013, total areas of 9,517 Rais in Suphan Buri Province were grown of Chinese water chestnuts with the total productivity of 16,785 tons, yielding 4,034 kilograms per Rai on average. However, the significant issue found is loads of Chinese water chestnut skins left as agricultural wastes after being peeled off in order to use only white flesh of Chinese water chestnut for sale, a bucket of water chestnuts (15 kilograms) provides 8 kilograms of fleshes and 7 kilograms of skins, such large amount of agricultural wastes subsequently causes environmental pollution. Therefore, the dehydration process of waste water chestnut skins was created by the processing unit of water chestnut products under the Public Health Voluntary Housewife Union, Wang Yang Subdistrict, Si Prachan District, Suphan Buri Province to produce tea made from water chestnut skins for sale. The existing dehydration methods used by the group of people conducting food processing can be classified into 3 methods as follows: the 1st method which is the original one is the dehydration with sunshine (putting water chestnut skins in containers); the 2nd method uses the greenhouse solar dehydrator; and the last method uses the conventional thermal wind dehydrator.

Such cause and effect led to the creation of the dehydrator of water chestnut skins applying the electric field technique in combination with the heat pump to add value for agricultural wastes from Chinese water chestnut skins. The dehydrator created is the prototype dehydrator developed by applying the electric field technique in combination with the heat pump and its dehydration scale is 5 kilograms. The results of the experiment showed that when comparing the prototype dehydrator of water chestnut skins applying the electric field technique in combination with the heat pump to the conventional thermal wind dehydrator, the dehydration time was

reduced by 1 hour, the rate of weight loss was faster than 14.5%, the evaporation rate was faster than the rate of solely using the heat pump at 28.81% on average, and the energy cost of dehydration per kilogram was 2.28 Baht.

Keywords : Dryers, heat pump, Electric field

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
บทสรุปผู้บริหาร		ก
บทคัดย่อ		ง
สารบัญ		ช
สารบัญภาพ		ฌ
สารบัญตาราง		ฎ
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการโครงการวิจัย	3
บทที่ 2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 การอบแห้ง	5
	2.2 ปั๊มความร้อน	7
	2.3 สนามไฟฟ้า	9
	2.4 การทบทวนวรรณกรรม	14
บทที่ 3	ระเบียบวิธีการวิจัย	
	ระเบียบวิธีการวิจัย	14
บทที่ 4	ผลการศึกษา และบทสรุป	
	4.1 ผลการทดลองที่ 1 ทำการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV เพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าต่อความชื้นในเปลือกแห้ว ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ และ ไม่สม่ำเสมอปานกลาง	22
	4.2 ผลการทดลองผลของการอบแห้งในห้องปฏิบัติการเพื่อนำพารามิเตอร์ไปทวนสอบผลกับการออกแบบ	39
	4.3 ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม	43
	4.4 ผลการการทดลองผลของปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้วจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม	44
	4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน	46
	4.6 ผลการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน	50

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัย	
5.1 บทสรุปงานวิจัย	54
5.2 ผลที่ได้จากงานวิจัย	54
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14	61
ภาคผนวก ข. เอกสารประกอบการยื่นขอจดสิทธิบัตร	69
ภาคผนวก ค. ตารางเปรียบเทียบแผนการดำเนินงานและผลการดำเนินงาน	76
ภาคผนวก ง. เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน	79
ภาคผนวก จ. ประวัตินักวิจัย	84

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การลดความชื้นของวัสดุจากสิ่งมีชีวิตในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง	6
ภาพที่ 2.2 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน	7
ภาพที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	8
ภาพที่ 2.4 ชั้นฉนวนว่างซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	10
ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย	11
ภาพที่ 2.6 graph แสดงการเบรกดาวน์ของก๊าซ	12
ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้า Breakdown Vs กับผลคูณของความดันและระยะห่าง (Pd) ของการ CO_2 , air , H_2	13
ภาพที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการแปรรูปเปลือกแห้วอบแห้งของกลุ่มผู้แปรรูป	20
ภาพที่ 4.2 แสดงภาพการผลิตเปลือกแห้วอบแห้ง	21
ภาพที่ 4.3 ไดอะแกรมชุดทดลองเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ	22
ภาพที่ 4.4 แผ่นรับด้านบนและแผ่นรับด้านล่าง	23
ภาพที่ 4.5 โครงสร้างพื้นฐานของชุดอิเล็กโทรดสำหรับชุดทดลองการศึกษาผลของสนามไฟฟ้า	24
ภาพที่ 4.6 แบบสมบูรณ์ชุดทดลองอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ	24
ภาพที่ 4.7 ชุดทดลองอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ	25
ภาพที่ 4.8 ชุดทดลองอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการที่จัดทำจากการอกกแบบ	25
ภาพที่ 4.9 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรดโดยโปรแกรม FEM (1kV/cm)	27
ภาพที่ 4.10 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรดโดยโปรแกรม FEM (2kV/cm)	28
ภาพที่ 4.11 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรดโดยโปรแกรม FEM (3kV/cm)	29
ภาพที่ 4.12 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอกระแสสลับ	32
ภาพที่ 4.13 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอปานกลางกระแสสลับร่วมลมร้อน 50 องศาเซลเซียส	34
ภาพที่ 4.14 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางกระแสสลับ	36
ภาพที่ 4.15 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางกระแสสลับร่วมลมร้อน 50 องศาเซลเซียส	38
ภาพที่ 4.16 เปลือกแห้วอบแห้งที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน 45

ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน 46

ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน 48

ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนกับเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 ℃ 49

ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน 49

ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนกับเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 ℃ 50

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ศักย์ไฟฟ้า Breakdown ต่ำสุดของก๊าซชนิดต่างๆ 14

ตารางที่ 4.1 ตารางวิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า 26

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ 31

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ 32

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ 33

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ 34

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ 35

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ 36

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ 37

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ 38

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้วที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C 39

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้วที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C 40

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้วที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C 41

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C 44

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C 44

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C 45

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C 47

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 ℃ 47

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 ℃ 48

ตารางที่ 4.18 ต้นทุนโดยประมาณเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน กรณีสร้างเชิงพาณิชย์ (ที่พิกัด 5 กิโลกรัม) 52

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบการอบแห้งแบบเดิมของกลุ่มผู้แปรรูปกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน 53

ตารางที่ 4.20 สถานะความก้าวหน้าในการจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร 53

ตารางที่ 5.1 ต้นทุนโดยประมาณเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน กรณีสร้างเชิงพาณิชย์ (ที่พิกัด 5 กิโลกรัม) 55

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบการอบแห้งแบบเดิมของกลุ่มผู้แปรรูปกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน 56

ตารางที่ 5.3 สถานะความก้าวหน้าในการจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร 57

บทที่ 1 บทนำ

สัญญาเลขที่	**RDG60A002/07**
ชื่อโครงการ	**เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน**
หัวหน้าโครงการ	**: นายเอกชัย รัตนบรรลือ**
หน่วยงานต้นสังกัด	**: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**
ระยะเวลาดำเนินการ	**: 1 ปี (1 มีนาคม 2560 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2561)**

1.1 ความเป็นมา หลักการและเหตุผล

จังหวัดสุพรรณบุรีมีรายได้จากเกษตรกรรมเป็นรายได้หลัก โดยพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีอันดับหนึ่ง คือ ข้าว อันดับสองคือ อ้อย อันดับสามคือ มะม่วง และอันดับสี่คือ แห้วจีน เนื่องจากแห้วจีนเป็นพืชที่ปลูกได้ผลดีเพียงแห่งเดียวในประเทศไทย ทั้งนี้เพราะแห้วจีนเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีลักษณะพิเศษคล้ายชั้นดินดานลึกประมาณ 50-70 เซนติเมตร จากข้อมูล ปี 2553-2556 จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ปลูกแห้วจีนทั้งสิ้นประมาณ 9,517 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 16,785 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 109.10 ล้านบาท มีผลผลิตเฉลี่ย 4,034 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เนื่องจากแห้วจีนให้ผลผลิตในปริมาณที่สูง และมีสภาวะล้นตลาดในช่วงเดือนพฤศจิกายน– ธันวาคม ของทุกปี จากสภาวะการล้นตลาดทำให้ราคาแห้วจีนตกต่ำลง (ข้อมูลสังคมและเศรษฐกิจ จังหวัดสุพรรณบุรี, 2556) และเป็นที่ทราบกันดีว่าผลของแห้วจีนมีคุณประโยชน์ต่อร่างกายอนันต์ เช่น บรรเทาอาการกระหายน้ำ อาหารไม่ย่อย ท้องผูก และ แก้พิษเนื่องจากการดื่มสุรา เป็นต้น และในปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักถึงความสำคัญของสุขภาพในแง่ของโภชนาการมากขึ้น จึงทำให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคแห้ว และใส่ใจสุขภาพกันเพิ่มมากขึ้น (เชิญพร จันทรสนาม, 2555) แต่ปัญหาสำคัญในกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตแห้วจีนคือ หลังจากกระบวนการปอกเปลือกแห้วจีนเพื่อจำหน่ายเนื้อแห้วแล้วนั้น ส่งผลให้มีเปลือกแห้วจีนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลภาวะแวดล้อมทางกลิ่น จึงทำให้หน่วยงานต่างๆ ให้ความสนใจ และได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ คุณประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น เช่น 1. การศึกษาคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียที่สำคัญของสารสกัดจากเปลือกแห้วจีน พบว่าสารเอธิลอะซิเตทที่ได้จากการสกัดจากเปลือกแห้วจีนมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้ 3 ชนิด ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษในมนุษย์ คือ Staphylococcus aureus, Escherichia coli และ Listeria monocytogenes (Ge Zhan, 2014) 2. การศึกษาสารฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้จากเปลือกแห้วจีน ซึ่งมีผลต่อการต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการทำลายไนไตรท์ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง พบว่า สารฟลาโวนอยด์ สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของเซลล์มะเร็งปอดในมนุษย์ได้ (Ge Zhan, 2016) 3. ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบฟีนอลในเปลือกของแห้วจีน พบว่า สารสกัดฟีนอลช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดไลโนเลอิก โดยใช้การวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH assay ซึ่งการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบ ฟีนอล ในเปลือกแห้วจีนมีฤทธิ์สำหรับการต้านอนุมูลอิสระและอาจเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปผลิตยาในทาง

การแพทย์ต่อไป (Y. Yanli, 2007) จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เราสามารถใช้ประโยชน์จากการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ แต่ในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง นั่นคือการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity: Aw) ต่ำกว่า 0.60 ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดและความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549)

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ทราบว่าความชื้นมีผลต่อการเก็บรักษาสินค้าเกษตรและอาหาร จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษากระบวนการลดความชื้นและนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถนำเอาพลังงานมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ไม่ขึ้นกับสภาพอากาศภายนอก แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวจึงมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้น (ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 2555) นอกจากนี้แล้วยังมีการประยุกต์ใช้กระบวนการอบแห้งกับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยสนามไฟฟ้า (W. Cao, 2004) การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแครอทหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า (ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, 2552) และ ประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ในการอบแห้งมันฝรั่ง (L. Nikolai, 2007) เป็นต้น

จึงเป็นที่มาของโครงงานวิจัยนี้ ในการสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน จุดประสงค์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกแห้วจีน เพราะจากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่พบว่าแห้ว 1 ถัง น้ำหนัก 15 กิโลกรัมพบว่าเมื่อมีการปอกเปลือกเพื่อทำการแปรรูปจะเป็นส่วนของเนื้อ 8 กิโลกรัม และเป็นเปลือก 7 กิโลกรัม ซึ่งนำมาซึ่งปัญหาด้านขยะทั้งทางด้านปริมาณและมลพิษทางกลิ่นที่เกิดจากการเน่าเหม็น ทำให้ยากต่อการกำจัด และกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการนำเปลือกแห้วมาทำเป็นชาเพื่อจำหน่าย กลุ่มนักวิจัยจึงมีแนวคิดสร้างเครื่องอบแห้งดังกล่าว เพื่อพัฒนาและแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรรูปแบบใหม่เพื่อการส่งออก และเป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่นไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น และในเชิงอุตสาหกรรมอาหารต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน พร้อมหาประสิทธิภาพของเครื่องฯ

1.2.2 เพื่อจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร ที่เกิดขึ้นจากเครื่องต้นแบบอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

1.3. ขั้นตอนและแผนการดำเนินการโครงการวิจัย

1.3.1 ขั้นตอนในการดำเนินโครงการวิจัย

1.3.1.1 ปัญหา วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ตั้งสมมติฐาน และรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.1.2 ออกแบบ และสร้างอิเล็กโทรดเพื่อหาพารามิเตอร์ในการใช้งานพร้อมทั้งออกแบบชุดปั๊มความร้อนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.3.1.3 การทดลองที่ 1 ทำการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV เพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าต่อความชื้นในเปลือกแห้ว ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ และ ไม่สม่ำเสมอปานกลาง

1.3.1.4 การทดลองที่ 2 ทำการทดลองผลของปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว

1.3.1.5 การทดลองที่ 3 ทำการทดลองเพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว

1.3.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

1.3.1.7 ออกแบบเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม

1.3.1.8 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

1.3.2 แผนการดำเนินการโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ผู้เกี่ยวข้อง	จำนวนวัน	ผู้รับผิดชอบ
1 ศึกษาค่าพลังงานของสนามไฟฟ้าลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม ที่เหมาะสมต่อความชื้นในเปลือกแห้ว	1) ปัญหา วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ตั้งสมมติฐาน และรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์	30	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์
	2) ออกแบบ และสร้างอิเล็กโทรดเพื่อหาพารามิเตอร์ในการใช้งานพร้อมทั้งออกแบบชุดปั๊มความร้อนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 3) ทำการทดลองที่ 1	1)อ.สุธี 2)อ.ชิดชนก 3)อ.กิตติพงษ์	45	1)อ.สุธี 2)อ.ชิดชนก 3)อ.กิตติพงษ์
	4) ทำการทดลองที่ 2	1)อ.เอกชัย 2)อ.สมบัติ 3)ดร.นิรันดร์	45	1)อ.เอกชัย 2)อ.สมบัติ 3)ดร.นิรันดร์

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ผู้เกี่ยวข้อง	จำนวนวัน	ผู้รับผิดชอบ
2 ศึกษาประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว	1) การทดลองที่ 3	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์	60	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์
3 สร้างสร้างเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลอง พร้อมจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรและบทความวิชาการหรือบทความวิจัยในวารสารสืบเนื่องระดับชาติหรือนานาชาติ1 บทความ	1) วิเคราะห์ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการในการทดลองที่ 1-3 2) ออกแบบเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม 3) ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน 4) ดำเนินการจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร และเผยแพร่บทความวิชาการหรือบทความวิจัยในวารสารสืบเนื่องระดับชาติหรือนานาชาติ	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์ 7)ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	150	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์
4 สรุปส่งเล่มรายงาน	1.สรุปผลการดำเนินการทั้งโครงการและสรุปเล่ม		30	1)อ.เอกชัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินโครงการวิจัยเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 เรื่องด้วยกันคือ ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้ง, ทฤษฎีเกี่ยวกับปั๊มความร้อน และทฤษฎีเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดทั้ง 3 เรื่องมีหลักการเบื้องต้นดังนี้

2.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) การอบแห้ง คือการให้พลังงานความร้อนแก่วัสดุอบแห้ง เพื่อระเหยน้ำในวัสดุ หรือลดปริมาณความชื้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช่วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ เช่น ทราย หรือ ผ้า แต่เป็นวัสดุที่ไม่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ เช่น ผัก , ผลไม้ และ เนื้อสัตว์ต่างๆ

ความชื้นในวัสดุ ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและ เมล็ดพืชมีทั้งความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้น นี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กๆ (Capillaries) ที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในเนื้อวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M_w = \frac{(w-d)\times 100}{w} \qquad (2.1)$$

เมื่อ M_w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

W = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น, kg

d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

การแสดงความชื้นแบบนี้นิยมในทางการค้า

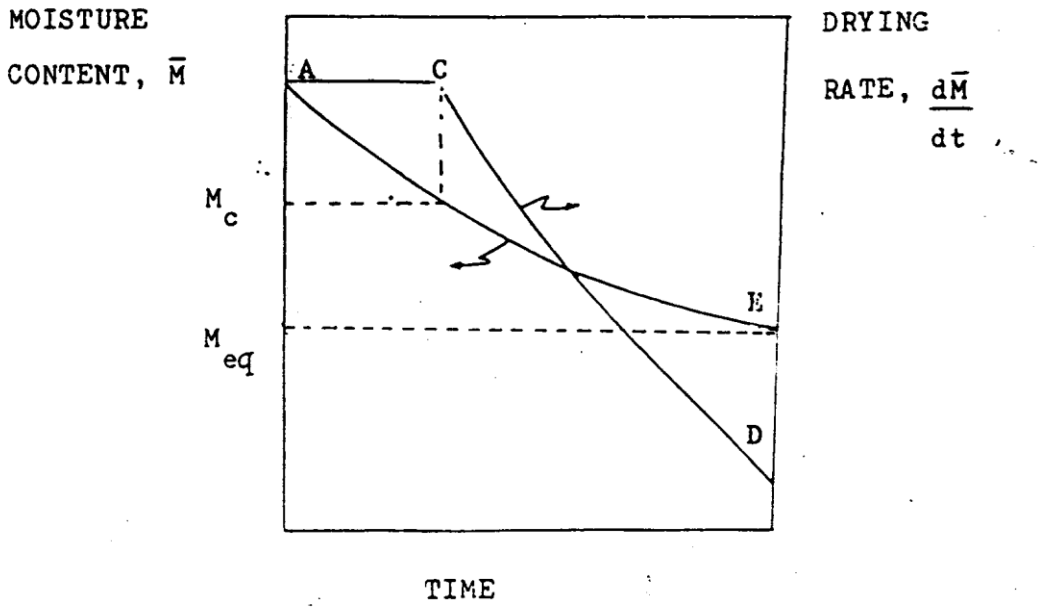
ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$M_d = \frac{(w-d)\times 100}{d} \qquad (2.2)$$

เมื่อ M_d = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง
W = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น, kg
d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านงานวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของวัสดุคงที่

ปรากฏการณ์การอบแห้ง (Drying phenomena) วัสดุจากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นลักษณะรูพรุน เมื่อทำการอบแห้งวัสดุเหล่านี้ที่สภาวะอากาศคงที่จะได้อัตราการอบแห้งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (AC) (Constant rate period) และ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) (CD) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การลดความชื้นของวัสดุจากสิ่งมีชีวิตในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง

จากภาพที่ 2.1 จุด C คือจุดความชื้นวิกฤต (Critical Moisture Content) เป็นจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เป็นลดลง ซึ่งจุดความชื้นวิกฤตนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และสภาวะในการอบแห้ง ช่วง AC เป็นช่วงที่มีอัตราการอบแห้งคงที่ ระยะนี้ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าสูงกว่าจุดความชื้นวิกฤต ที่ผิวนอกของวัสดุ จะอยู่ในสภาพอิ่มตัวน้ำเคลื่อนที่จากภายในวัสดุมายังผิวเร็วพอๆ กับการระเหยของน้ำจากผิว การกระจายความชื้นที่ผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอ ความชื้นจะถูกพาออกไปโดยอากาศ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น วัสดุมีค่าความชื้นต่ำ เช่น พวกเมล็ดพืชจะมีระยะนี้สั้นมากหรือไม่มีเลย

จุด E คือจุดที่ปริมาณความชื้นสมดุลของวัสดุ ความชื้นของวัสดุมีค่าคงที่ทั้งนี้เนื่องจาก ความดันไอน้ำจากวัสดุมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำในบรรยากาศ ที่รอยวัสดุนั้น โดยที่ค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ช่วง CD เป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง ระยะนี้ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำ ภายในท่อเล็กๆ ในเนื้อวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือ ไอน้ำ ได้ช้ามากและช้ากว่าการระเหยของน้ำจากผิว

2.2 ปั๊มความร้อน

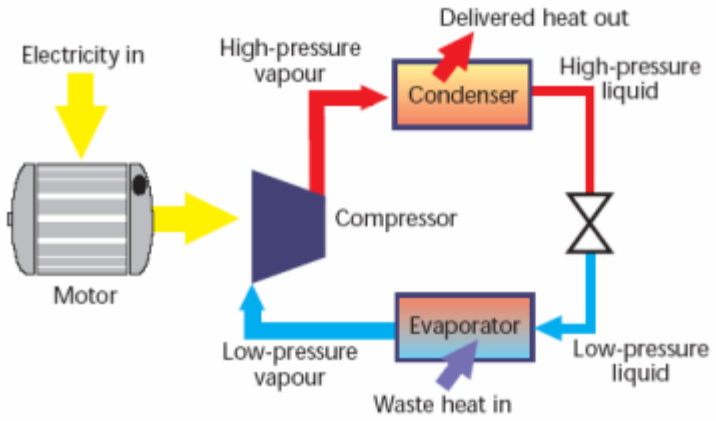
ความหมายของปั๊มความร้อน (เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน,2552) ปั๊มความร้อนคือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งานอีกตำแหน่งหนึ่งโดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้ วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapor Compression System) ที่มีการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปในเครื่องปรับอากาศ ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อนดังแสดงในภาพที่ 2.1 ประกอบด้วย

อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ

คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์

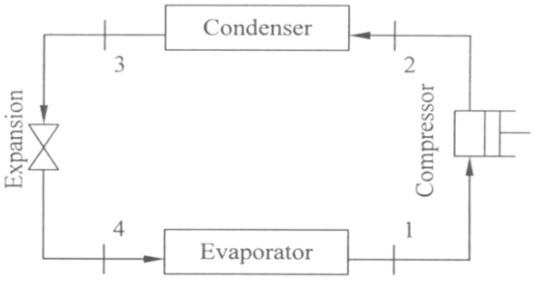
คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอกซ์แพนชั่นวาล์ว

เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์



ภาพที่ 2.2 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน

กระบวนการการทำงานของปั๊มความร้อน (นพรัตน์ อมัติรัตน์, 2554) ระบบปั๊มความร้อนประกอบด้วย เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดันและเครื่องทำระเหย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเชื่อมต่อกัน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

กระบวนการ 1-2 คือกระบวนการอัดไอที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอ จะทำให้อุณหภูมิเอนทัลปี และความดันสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีกระบวนการอัดไอจะเป็นกระบวนการเอนโทรปีคงที่ แต่ในทางปฏิบัติกระบวนการอัดไอเป็นกระบวนการโพลีโทรปิก และเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ สาเหตุหลักมาจากเกิดการสูญเสียเนื่องมาจากการเสียดทานของอุปกรณ์ในเครื่องอัดไอซึ่งในความเป็นจริงสภาวะของสารทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องอัดไอจะอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่งมากกว่าสถานะไออิ่มตัว

กระบวนการ 2-3 คือกระบวนการควบแน่นซึ่งสารทำความเย็นจะคายความร้อนให้กับอากาศอบแห้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนการอบแห้ง ในทางปฏิบัติความดันและอุณหภูมิของ สารทำความเย็นจะไม่คงที่ตลอดทั้งเครื่องควบแน่น แต่จะลดลงไปตามระยะทางของท่อสาร ทำความเย็น และสารทำความเย็นที่ไหลภายในท่อจะมีลักษณะเป็นสองสถานะ สารทำความเย็นก่อนเข้าสู่วาล์วลดความดัน อาจอยู่ในสภาวะที่สารทำความเย็นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของๆ เหลวอิ่มตัว ที่เรียกว่า Sub Cooling หรืออาจอยู่ในสภาวะของเหลวอิ่มตัวก็ได้

กระบวนการ 3-4 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวจะถูกลดความดันลงโดยผ่านวาล์วลดความดัน ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดต่ำลง และอยู่ในสภาวะของผสมระหว่างของเหลวและไอน้ำ ซึ่งพร้อมที่จะรับความร้อนจากระบบ กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการเอนทัลปีคงที่

กระบวนการ 4-1 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นรับความร้อน และสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากสารผสมเป็นไออิ่มตัว หรือในทางปฏิบัติมักจะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ก่อนเข้าสู่เครื่องอัดไอ เช่นเดียวกับกระบวนการ 2-3 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดลงไปตามระยะทางและสารทำความเย็นอยู่ในสภาวะสองสถานะ

ระบบปั๊มความร้อนมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลักการทำงานของระบบทำความเย็นทั่วไป โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคือ เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดันและเครื่องทำ

ระเหย ซึ่งเป็นส่วนประกอบเดียวกันแต่มีวัตถุประสงค์การใช้งานต่างกันคือ ระบบทำความเย็นเป็นระบบที่ต้องการลดอุณหภูมิภายในห้องลง แล้วดึงความร้อนผ่านเครื่องระเหยไปถ่ายเทด้านนอกห้องโดยผ่านทางเครื่องควบแน่น ขณะที่ระบบปั๊มความร้อนมีจุดประสงค์ที่ต้องการนำความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเครื่องควบแน่นมาใช้ประโยชน์ ดังนั้น ระบบนี้จึงสามารถให้ความร้อนในการอบแห้งได้ โดยใช้ความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่น

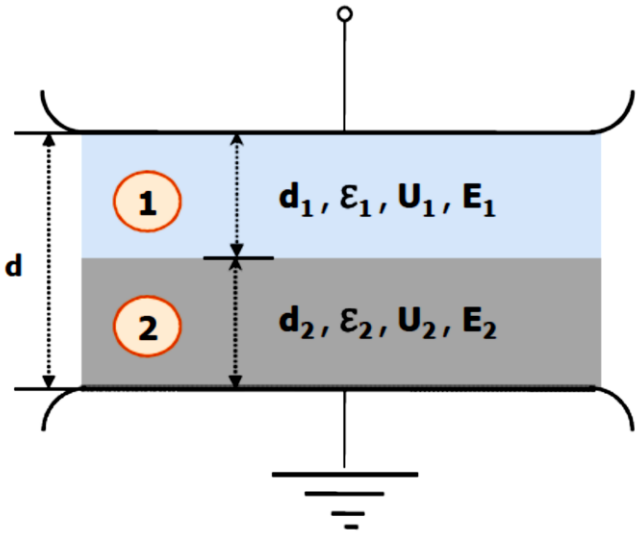
2.3 สนามไฟฟ้า

ฉนวนเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างและใช้ประโยชน์ของไฟฟ้า (สำรวย สังข์สะอาด,2542) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับแรงดันสูง ที่ใดมีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่นั่นต้องการฉนวนเพื่อป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตที่เข้ามาใกล้หรือสัมผัสเข้าหรือป้องกันมิให้เกิดการลัดวงจรระหว่างตัวนำหรือตัวนำกับดิน การฉนวนย่อมทำได้ง่ายหากมีที่ว่างมากหรือแรงดันต่ำ เช่น ต่ำกว่า 100 V แต่ในกรณีแรงสูงและที่ว่างจำกัด การออกแบบการฉนวนให้ดีและประหยัดจำเป็นต้องใช้ความรู้เทคนิคการฉนวน ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดัน ความเครียดสนามไฟฟ้า และลักษณะสมบัติของฉนวนพิกัดความคงทนของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้ากำหนดด้วยสภาพการฉนวนเริ่มจะเปลี่ยนไปสู่สภาพนำไฟฟ้าอย่างดี ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเกิดสปาร์ค หรือ วาบไฟ หรือ เบรกดาวน์ผ่านฉนวนโดยปกติสภาพนำไฟฟ้าอย่างดีนั้นจะมีแนวแคบๆตามเส้นทางที่เกิดเบรกดาวน์ ถ้าฉนวนนั้นเป็นก๊าซ ฉนวนนั้นเปลี่ยนเป็นสภาพนำไฟฟ้าไปและคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันนั้นสูงพอที่ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านฉนวนสูงพอจนเป็นอาร์ค นั่นก็หมายความว่าการเสียสภาพการฉนวนของก๊าซนั้นไม่เป็นแบบถาวร คือ เสียสภาพการฉนวนชั่วขณะที่มีแรงดันป้อนอยู่ ตรงกันข้ามกับการฉนวนที่เป็นของแข็งหลังจากเกิดเบรกดาวน์แล้วสภาพการฉนวนจะเสียไปอย่างถาวร ส่วนการฉนวนที่เป็นของเหลวการเสียสภาพการฉนวนจะกลับคืนสู่สภาพการฉนวนดังเดิมหลังจากเบรกดาวน์หรือ สปาร์คได้ผ่านพ้นไปแล้ว ทำนองเดียวกับการฉนวนที่เป็นก๊าซ

ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric strength) ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า หมายถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (Dielectricfield Stress) สูงสุดที่ฉนวนนั้นที่สามารถทนได้ โดยไม่เกิดความเสียหายหรือเกิดเบรกดาวน์ หรือทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพ ซึ่งมีหน่วยเป็น V/cm หรือ kV/cm คือ มีหน่วยเป็นค่าแรงดันต่อหน่วยความหนาของฉนวนหรือระยะห่างของอิเล็กโตรดความเครียดสนามไฟฟ้าที่ใช้กำหนดค่าความคงทนของการฉนวนทางไฟฟ้า โดยทั่วไปจะหาจากสนามไฟฟ้าไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform Field) คือ เป็นสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดที่มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบ (Plate-to-Plate)ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า Eb ขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ หลายประการ ซึ่งพอจะเขียนเป็นเกณฑ์ทั่วไปได้ว่า Eb = f (ลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโทรด, ลักษณะสมบัติของไดอิเล็กตริกและเวลา)

ฉนวนซ้อนกันสองชั้น ตามหลักการออกแบบฉนวนแล้วการวางชั้นฉนวนระหว่างผิวอิเล็กโทรดที่ดีที่สุดก็คือ การวางไม่ให้มีการหักเหของเส้นสนามไฟฟ้าหรือเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า นั้นคือวางให้รอยต่อของฉนวนอยู่บนผิวศักย์ไฟฟ้าเท่าและหลีกเลี่ยงความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวแทนเจนต์ ค่า

สัมบูรณ์ของความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด เมื่อว่างอยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอดังในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ชั้นฉนวนว่างซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้าและแรงดันกระจายในฉนวนทั้งสองอาจคำนวณหาได้จากสมการสนามไฟฟ้าพื้นฐาน คือ $E=\frac{U}{D}$ เพราะเป็นสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและใช้ความสัมพันธ์ $D = \varepsilon E$ เมื่อสนามไฟฟ้าเป็นแบบกระแสสลับ ฉะนั้น D จะมีค่าคงตัวและลักษณะการวางของฉนวนอยู่ในสนามไฟฟ้าเสมือนว่ามีคาปาซิเตอร์ต่ออันดับกัน ฉะนั้นประจุในคาปาซิเตอร์แต่ละชั้นนี้จะมีค่าเท่ากันนั้นคือ

$$Q = C_1U_1 = C_2U_2 \tag{2.3}$$

เมื่อ C1 และ C2 เป็นคาปาซิสแตนซ์ของฉนวนชั้นที่มี ε_3และ ตามลำดับ ε_2ตามลำดับ แต่เนื่องจาก

$$C \sim \frac{\varepsilon_1}{d_1} \tag{2.4}$$

$$C \sim \frac{\varepsilon_2}{d_2} \tag{2.5}$$

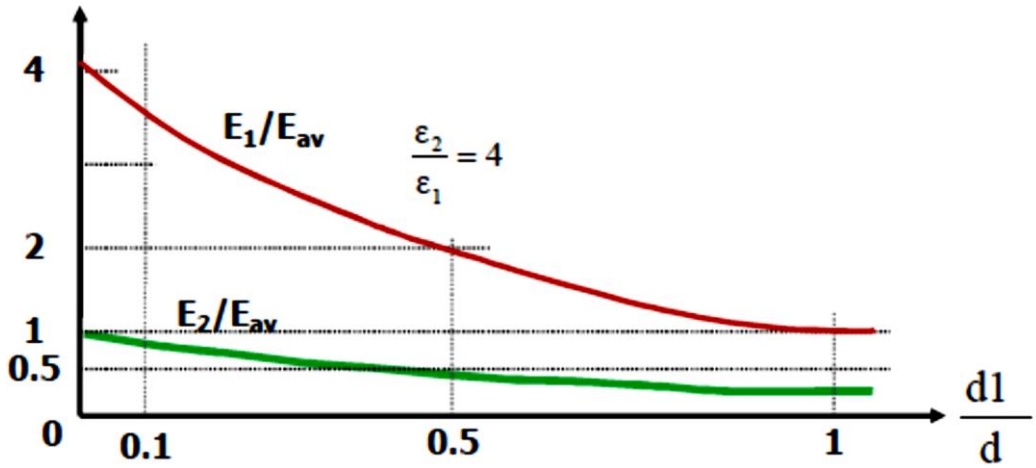
ฉะนั้นความเครียดในสนามไฟฟ้าทั้งสองคือ

$$E_1 = \frac{U}{d}\frac{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}{\frac{d_1}{d}(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}-1)+1} \tag{2.6}$$

$$E_2 = \frac{U}{d}\frac{1}{\frac{d_1}{d}(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}-1)+1} \quad (2.7)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (2.8)$$

จะเห็นได้ว่า ความเครียดสนามไฟฟ้า E1 จะมากกว่า E2 ตามอัตราส่วน เมื่อ $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ ถ้าเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนฉนวนแต่ละชั้นกับความเครียดสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะเห็นได้ว่า ถ้าในสวนฉนวนที่มีค่า ε ต่ำสนามไฟฟ้าจะสูงมากยิ่งขึ้นดังในภาพที่ 2.5

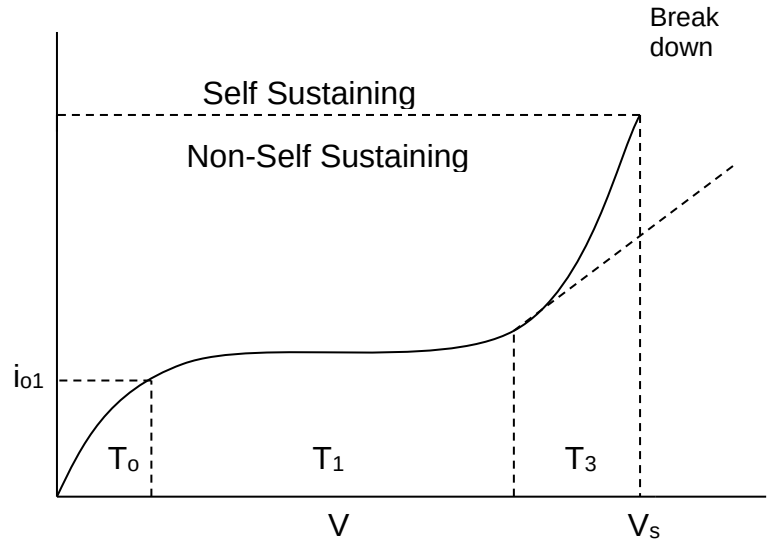


ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย

การเบรกดาวน์ ในทางไฟฟ้านั้น หมายถึง การที่เราป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าๆหนึ่งให้กับฉนวน ซึ่งมีค่าเกินความสามารถของฉนวนที่จะทนแรงดันไฟฟ้านั้นๆหรือทนต่อสนามไฟฟ้านั้นได้ จึงจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านฉนวนอย่างรุนแรงจนกระทั่งฉนวนนั้นๆทนไม่ไหวจึงเกิดการเบรกดาวน์ไปในที่สุด การเบรกดาวน์นั้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือฉนวนที่ใช้ทำเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นถ้าแบ่งการเบรกดาวน์ตามชนิดของฉนวนทางไฟฟ้าแล้ว จะแบ่งออกได้ 3 แบบคือ

- การเบรกดาวน์ในก๊าซ (Breakdown In Gas)
- การเบรกดาวน์ในของเหลว (Breakdown In Liquid)
- การเบรกดาวน์ในของแข็ง (Breakdown In Solid)

การเบรกดาวน์ในก๊าซ (Breakdown In Gas) การเบรกดาวน์ของ Gap ที่ก๊าซความดันต่ำและแคบนั้น ศักย์ดาไฟฟ้าเบรกดาวน์ของ Townsend ที่ได้จากการทดลองและทางทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกัน จาก Graph ภาพที่ 2.6 เป็นการเบรกดาวน์ของก๊าซ ซึ่งเกิดขึ้น 3 ระยะคือ



ภาพที่ 2.6 graph แสดงการเบรกดาวน์ของก๊าซ

ระยะเริ่มต้น, ระยะปานกลาง และระยะสุดท้าย

- ที่ระยะเริ่มต้น (T_o) จะเห็นว่ากระแสเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะว่าเกิดกระแสรั่วไหล
- ที่ระยะปานกลาง (T_1) กระแสที่ไหลค่อนข้างคงที่เพราะว่าเกิดขบวนการ Ionization กับขบวนการรวมตัวของ electron (T_2) สมดุลกัน
- ที่ระยะสุดท้าย กระแสจะไหลอย่างรวดเร็วและมากมาย และในที่สุดก็จะเกิดการเบรกดาวน์ อย่างสมบูรณ์ (Completely Breakdown)

เพื่อให้เข้าใจขบวนการ Breakdown ของ Townsend ระยะ T1 และ T2 (1st และ 2nd)Coefficient townsend mechanism เราจะอธิบายโดยใช้สมการที่ 2.9 เฉพาะเทอม

$$\gamma\left(e^{\alpha x}\text{-}1\right) = 1 \qquad (2.9)$$

หรือเขียนใหม่เป็น

$$\gamma e^{\alpha x} = 1 \text{ เทอม } e^{\alpha x} >>> 1 \qquad (2.10)$$

จากความสัมพันธ์ของ α, γ และ E/P สามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\alpha/p = \frac{f(E)}{p} \qquad (2.11)$$

$$\gamma = \frac{g(E)}{p} \qquad (2.12)$$

และ gradient E มีค่า

$$E = v/a \tag{2.13}$$

สมการที่ (2.14) นี้ ใช้ในกรณีที่สนามไฟฟ้าเป็นแบบสม่ำเสมอมีศักย์ดาไฟฟ้า V มีระยะช่องว่าง d ทำการแทนค่า E จากสมการที่ (2.14) และ α / p และ γ จาก สมการที่ (2.12) และ ลงในสมการที่ (2.11) และ (2.12)

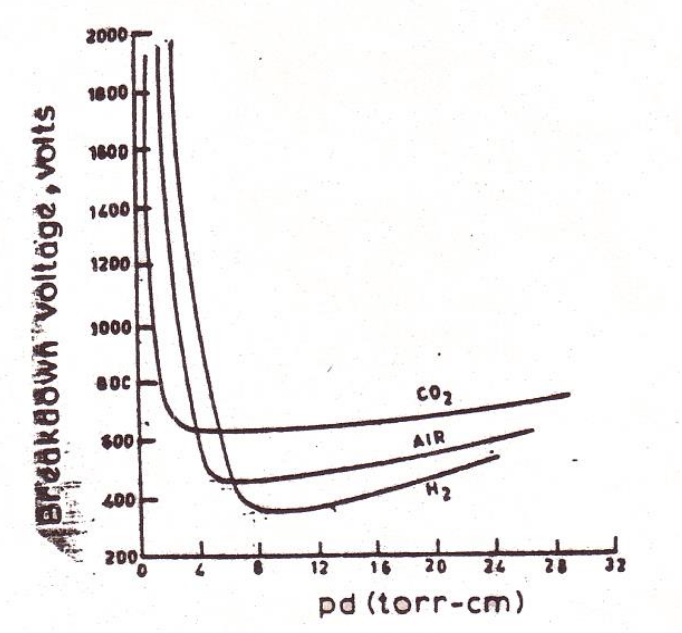
$$g\left[\frac{V}{pd}\right] e^{(f(V/p.d).pd)} = 1 \tag{2.14}$$

จากสมการที่ (2.14) เขียนใหม่

$$V_s = f(pd) \tag{2.15}$$

จากสมการ (2.15) แสดงถึง ศักย์ดาไฟฟ้าเบรกดาวน์เป็น Function ของความดัน p และระยะช่องว่าง d สมการนี้เราเรียกว่า (Paschen's law)

จากกฎของ Paschen's law การหาศักย์ดาไฟฟ้าเบรกดาวน์สำหรับช่วงที่มีสนามไฟฟ้าเป็นแบบสม่ำเสมอ ในก๊าซที่มีผลคูณของความดันและระยะห่าง (Pd) สำหรับอากาศ (air), Cabondioxide (CO_2) และ Hydrogen (H_2) แสดงไว้ในกราฟภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้า Breakdown Vs กับผลคูณของความดันและระยะห่าง (Pd) ของการ CO_2 , air , H_2

จากภาพที่ 2.7 จะเห็นว่าศักดาไฟฟ้า Breakdown จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม Pd จนกระทั่งได้ศักย์ดาไฟฟ้า Breakdown ต่ำสุด Vs min และศักดาไฟฟ้ากลับเพิ่มขึ้นอีกเมื่อทำการเพิ่ม Pd ให้มากขึ้นไปอีก

ตารางที่ 2.1 ศักด์ไฟฟ้า Breakdown ต่ำสุดของก๊าซชนิดต่างๆ

Gas	VB (min) Volts	Pd at VB (min) (Toir-cm)
Air	327	0.567
Argou	137	0.9
H_2	273	1.15
Helium	156	4.0
CO_2	420	0.51
N_3	251	0.67
N_2O	418	0.5
O_2	450	0.7
SO_2	457	0.33
H_2S	414	0.6

กฎของ Paschen นี้ใช้ได้ดีสำหรับอุณหภูมิสูงจนถึง 1100 ºC แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่านี้แล้ว การ Breakdown จะไม่เป็นไปตามกฎของ Paschen เนื่องจากการ Breakdown จะเกิด Ionization จากความร้อนที่มีอุณหภูมิมากกว่า 2000 ºC หรืออาจเกิดจากผลของ Thermonic emission

2.4 การทบทวนวรรณกรรม

2.4.1 การทำแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหารที่สำคัญ โดยการลดความชื้นของอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซน์ที่ส่งผลให้อาหารเสีย แต่การทำให้แห้งผลิตภัณฑ์นั้น มักพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหารเช่น สี กลิ่น การหดตัวฯลฯ ดังนั้น การอบแห้งแบบผสมผสานเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่นำมาแก้ไขข้อบกพร่องของการทำแห้งในขั้นตอนเดียว การอบแห้งแบบผสมผสานอาจใช้เครื่องอบแห้งชนิดเดียวหรือต่างชนิดกันก็ได้ หรือเป็นการนำวิธีหรือข้อดีของการอบแห้งแบบต่างๆมาใช้ร่วมกัน เพื่อทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 2555)

บทความวิชาการนี้ทำให้ทราบว่าการอบแห้งแบบผสมผสานทำให้คุณภาพของการอบแห้งดีขึ้น

2.4.2 ในปี พ.ศ. 2555 ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของสภาวะการอบแห้งด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในขอบเขตของการอบแห้งแบบการพาความร้อนโดยได้ทำการพิจารณาผลกระทบของตัวแปรต่อสภาวะการอบแห้ง 4 ตัวแปรค่าการนำความชื้น(k_m), สัมประสิทธิ์การส่งถ่ายมวล (h_m), ค่าการแพร่ความชื้นที่ผิว (D_m) และอัตราส่วนรูปทรง (AR) ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 135 °C ผลการศึกษาพบว่าค่าการนำความชื้นและค่าการแพร่ความชื้นที่ผิวไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการนำความชื้นและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมีผลทำให้การกระจายความชื้นในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและการเพิ่มขึ้นของค่าการแพร่ความชื้นที่ผิวไม่มีผลกระทบต่อการกระจายความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายอัตราส่วนรูปทรงเพิ่มขึ้นจะทำให้การกระจายอุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น (อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล และคณะ, 2555)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าค่าความชื้น และการแพร่กระจายความชื้นที่ผิวไม่มีผลต่ออุณหภูมิภายในของผลิตภัณฑ์

2.4.3 ในปี ค.ศ. 2010 ได้มีการศึกษาอิทธิพลของการจัดเรียงแท่งอิเล็กโตรดที่มีต่อการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า โดยตัวแปรของระยะระหว่างอิเล็กโตรดและกราวด์ (L) ตั้งแต่ 2 - 8 cm แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 15 kV อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนถูกควบคุมที่ 60°C และ 0.35 m/s ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่า ระยะระหว่างอิเล็กโตรดและกราวด์ (L) มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวล (Kreewatcharin T, 2010)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า ระยะระหว่างอิเล็กโตรดและกราวด์มีผลต่ออัตราการระเหยของความชื้น

2.4.4 ในปี พ.ศ. 2554 ได้ศึกษาการวิเคราะห์การเพิ่มการพาความร้อนและการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้ง โดยใช้อีเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์ อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อน 60°C และ 0.35 m/s แรงดันไฟฟ้า 0 – 30 kV จากการทดลองพบว่า สนามไฟฟ้ามีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และความชื้นบริเวณผิวหน้าวัสดุ (ธัชพงศ์ กรีวัชรินทร์ และคณะ, 2554)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าการอบแห้งแบบใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนมีประสิทธิภาพดีกว่าการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว

2.4.5 ในปี พ.ศ. 2553 ได้มีการศึกษาเทคนิคการควบคุมการลดความชื้นในอากาศด้วยสนามไฟฟ้า โดยใช้สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 7 kV_{dc} - 10 kV_{dc}ผลการศึกษาพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงต่ำสุดอยู่ที่ระดับ 19 %RH (วิสุทธิ์ ตันติรุ่งเรือง และคณะ, 2553)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าสนามไฟฟ้าสามารถลดความชื้นได้

2.4.6 ในปี 2552 ได้มีการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแครอทหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้คือ 60°C, 70°C และ 80°C และความเข้มของ

สนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองคือ 0.5 kV/cm, 1 kV/cm และ 1.5 kV/cm จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เหมาะสมคือ 60°C และสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ 1.5 kV/cm มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านสี และการหดตัวของแครอท โดยมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า 0.65 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยในการเก็บรักษา (ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, 2552)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และความเข้มสนามไฟฟ้ามีผลต่ออัตราการอบแห้ง

2.4.7 ในปี พ.ศ. 2558 มีการทำการอบแห้งผักตบชวาโดยใช้ระบบปั๊มความร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในกระบวนการไล่ความชื้นจากผักตบชวา เพื่อทดแทนการไล่ความชื้นแบบเดิมคือการตากแดด เพราะเครื่องอบแห้งโดยใช้ระบบปั๊มความร้อนสมรรถลดเวลาในการกำจัดความชื้นลงในทุกช่วงของสภาพอากาศ โดยใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr ใช่เวลาเพียง 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 ºC ซึ่งหากใช้การตากแดดต้องใช้เวลาถึง 2 - 3 วัน (อัญชญา อุประกูล, 2558)

จากงานวิจัยนี้พบว่าปั๊มความร้อนทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง

2.4.8 ในปี พ.ศ. 2553 ได้การศึกษาคุณภาพผักอบแห้งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาดปริมาตรภายใน 70x70x85 cm^3 ถาดอบแห้งขนาด 50x60 cm^3 จำนวน 10 ถาด โดยใช้ระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ 13,900 BTU/hr ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน มีอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ 0.51 m^3/s อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ทำการอบแห้ง แครอท หอมสับ และ ข้าวโพดหวาน ตัวอย่างทดสอบละ 10 kg ที่ 45 50 และ 55 ºC พบว่าวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 ºC และเมื่อนำไปคืนตัวด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 ºC โดยไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและ การคืนตัวมีค่าอยู่ในระดับดี (เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2553)

จากงานวิจัยนี้พบว่าปั๊มความร้อนทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนของสีและการคืนตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าในระดับดี

2.4.9 ในปี พ.ศ. 2550 มีการเปรียบเทียบถึงสมรรถนะของเรื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนระหว่าง ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD กับ ปั๊มความร้อนระบบ BWF-HPD และใช้อบกล้วยน้ำว้าแผ่น ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-35 มิลลิเมอตร หนา 5 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ºC ที่อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องระเหย 60 70 และ 80% ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบ 1.27 เมตรต่อวินาที อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องระเหยมีผลกระทบต่อสมรรถนะของ ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD เพียงเล็กน้อย และส่งผลกระทบต่อต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อนระบบ BWF-HPD ค่อนข้างมาก และยังพบว่า ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่า ในทุกๆการทดลอง (ศิวะ อัจฉริยวิริยะและคณะ, 2550)

จากงานวิจัยนี้พบว่า ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่า และหากเลือกใช้ระบบนี้ ต้องใช้ VSD มาควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไอ และไม่จำเป็นต้องมีการทำให้อากาศข้ามเครื่องระเหย

จากการทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์สามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนี้เป็นการลดความชื้นของเปลือกแห้วเพื่อนำไปแปรรูป โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า มาใช้ร่วมกับระบบปั๊มความร้อนที่สามารถจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับความต้องการของภาระความต้องการใช้พลังงานความร้อนและความชื้นของเปลือกแห้ว โดยนำระบบปั๊มความร้อนที่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องอัดไอ เพื่อให้ระบบปั๊มความร้อนทำงานตามภาระที่ต้องการในกระบวนการอบแห้งอย่างเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการความรู้ด้านวิศวกรรมสนามไฟฟ้า, วิศวกรรมการอบแห้ง, วิศวกรรมระบบปั๊มความร้อน และ มาใช้ในการวิจัยและสร้างนวัตกรรมที่ตอบสนองความต้องการและแก้ไขปัญหาและพัฒนาพื้นที่และชุมชนท้องถิ่น โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในพื้นที่

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินโครงการวิจัยเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน คณะผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินการ โครงการวิจัยไว้ดังนี้

3.1 ปัญหา วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ตั้งสมมติฐาน และรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาปัญหา วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ตั้งสมมติฐาน
- ศึกษา บริบท วิธีการเดิม ต้นทุน ของกลุ่มผู้ผลิต เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบและสร้าง
- รวบรวมเอกสารทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- รวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 ออกแบบ และสร้างอิเล็กโทรดเพื่อหาพารามิเตอร์ในการใช้งานพร้อมทั้งออกแบบชุดปั๊มความร้อนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

- ศึกษาพารามิเตอร์ในการอบแห้ง
- ศึกษาหาพารามิเตอร์ในการออกแบบและสร้างอิเล็กโทรดในชุดสนามไฟฟ้า
- ศึกษาหาพารามิเตอร์ในการออกแบบและสร้างอิเล็กโทรดในชุดปั๊มความร้อย

3.3 การทดลองที่ 1 ทำการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV เพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าต่อความชื้นในเปลือกแห้ว ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ และ ไม่สม่ำเสมอปานกลาง

- สร้างอิเล็กโทรดเพื่อทดลองการใช้สนามไฟฟ้าในการอบแห้ง
- ทำการทดลองที่ 1 การอบแห้งสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV แบบสม่ำเสมอ
- ทำการทดลองที่ 1 การอบแห้งสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV แบบไม่สม่ำเสมอ

3.4 การทดลองที่ 2 ทำการทดลองผลของปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว

- ทำการ ทดสอบหาพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้สร้างเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน โดยใช้ตู้อบลมร้อน
- ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วแบบใช้ปั๊มความร้อน
- ทำการทดลองที่ 2 ทำการทดลองผลของปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว

3.5 การทดลองที่ 3 ทำการทดลองเพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว

- ทำการทดลองหาผลของสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว

3.6 วิเคราะห์ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ

- นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมของการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

3.7 ออกแบบเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม

- การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนในลักษณะของเครื่องต้นแบบทางเทคโนโลยีในพิกัดขนาด 5 กิโลกรัม

3.8 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

- ทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

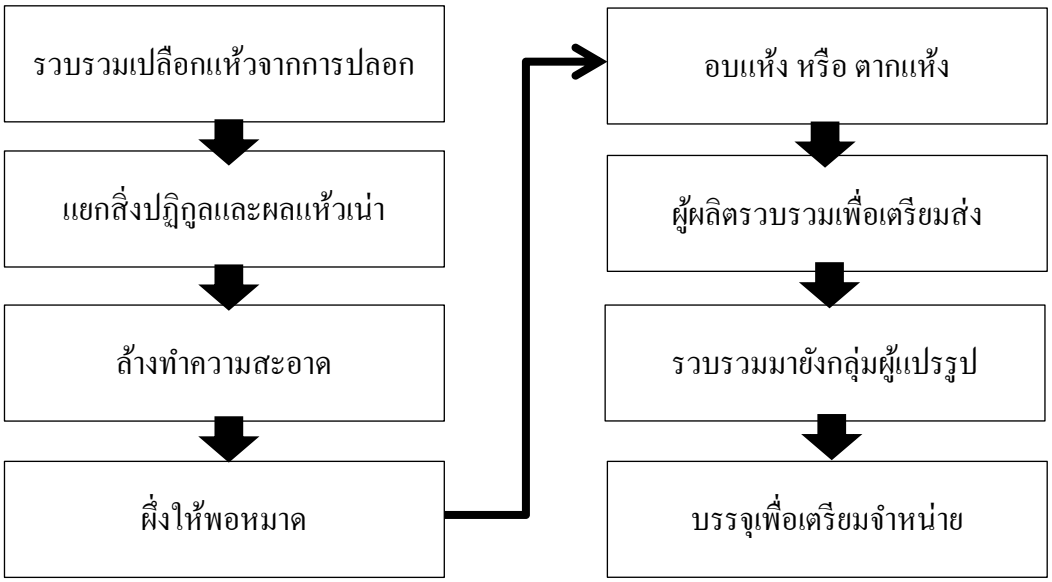
บทที่ 4 ผลการศึกษาและบทสรุป

ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานพบว่า การออกแบบ และสร้างอิเล็กโทรดเพื่อหาพารามิเตอร์ในการใช้งาน พร้อมทั้งออกแบบชุดปั๊มความร้อนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดลองดังกล่าวไปสร้าง เครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าและการใช้พลังงานที่เหมาะสม เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นสามารถสรุปเป็นผลการศึกษาและบทสรุปได้ดังนี้

ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น วิธีการเดิม และสภาพปัญหาจากผู้ผลิต

จากการลงพื้นที่เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าการผลิตของกลุ่มผู้ผลิตปัจจุบันมีอยู่ 3 รูปแบบ วิธีที่ 1 คือ การตากแดดตามวิธีดั้งเดิมคือการนำเปลือกแห้วมาใส่ภาชนะแล้วนำมาตากแดด และวิธีที่ 2 คือ อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก และวิธีที่ 3 คืออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แล้วนำมารวบรวมเพื่อรอการจำหน่าย ซึ่งกระบวนการผลิตมีดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการแปรรูปเปลือกแห้วอบแห้งของกลุ่มผู้แปรรูป

จากผลการศึกษากระบวนการทำเปลือกแห้วให้แห้งแบบเดิมที่กลุ่มผู้แปรรูปใช้อยู่นั้นมี 3 วิธี แต่แบ่งตามแหล่งที่มาของความร้อนได้ 2 กระบวนการคือ

1.การทำให้แห้งโดยใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการตากแดดโดยวิธีดั้งเดิม โดยนำเปลือกแห้วใส่ภาชนะและนำไปตากแดดให้แห้ง และ 2 นำไปทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงาน

แสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ซึ่งวิธีนี้ ข้อดีคือต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมเวลาที่ใช้ในการอบแห้งหรือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกแห้วได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศในแต่วัน และฝนฤดูฝนก็ไม่สามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำเปลือกแห้วให้แห้งดี และยังพบว่า เปลือกแห้วที่นำไปทำให้แห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีสีที่เปลี่ยนแปลงและหากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่เพียงพอต่อกาอบแห้งภายใน 1 วันอาจทำให้เกิดปัญหาเชื้อราหรือ ตัวเปลือกแห้วจะมีกลิ่นได้

แยกสิ่งปฏิกูลและหัวเน่า แล้วทำการล้างผึ่งพอหมาด

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกลุ่มแปรรูป

ลักษณะเปลือกแห้วที่ได้รับการอบแห้ง

ภาพที่ 4.2 แสดงภาพการผลิตเปลือกแห้วอบแห้ง

2. การทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนโดยใช้แหล่งความร้อนจากขดลวดความร้อน หรือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) การทำให้แห้งวิธีนี้จะพบที่ตู้อบกลางของกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง (ตู้อบแห้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เนื่องจากเป็นจุดศูนย์กลางในการผลิตและจัดจำหน่ายหรือส่งผลิตภัณฑ์ให้กับผู้รับซื้อ โดยพบว่าตู้อบลมร้อนที่กลุ่มผู้แปรรูปใช้อยู่นั้น เป็นตู้อบลมร้อนแบบใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นตัวเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนมีพิกัด 5 กิโลกรัม ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีข้อมูลการใช้งานดังนี้

- ปริมาณการอบแห้งของกลุ่มผู้แปรรูปแต่ละครั้งคือปริมาณ 10 กิโลกรัม
- อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 50 – 60 °C
- เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 4 – 6 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับความชื้นและความหนาของวุตถุดิบ
- ปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้คือ 250 g/hr หรือ 1,500 g/cycle (6hr)

ปัญหาและข้อเสียที่พบจากการใช้ตู้อบลมร้อนแบบใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ของกลุ่มผู้แปรรูปคือ

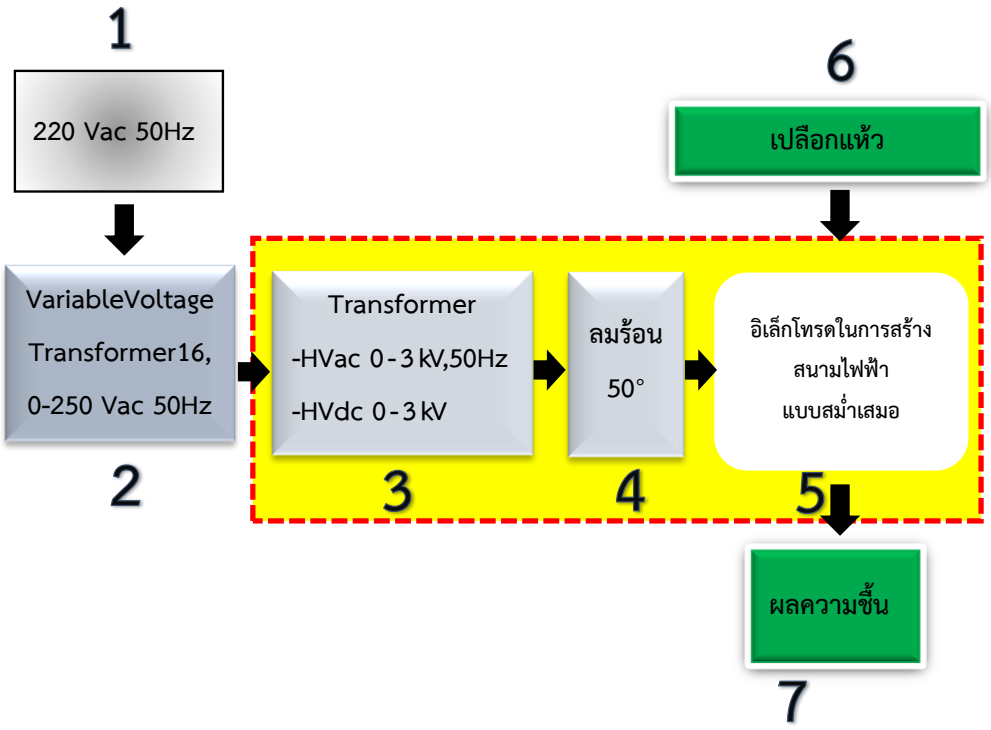
- การใช้งานที่เกิดพิกัดของตู้อบลมร้อน
- การไม่ทั่วถึงของความร้อนทำให้ความแห้งของเปลือกแห้วไม่สม่ำเสมอต้องคอยกลับหรือพลิกเปลือกแห้วทุกๆ 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง
- ของเสีย (เปลือกแห้วที่ไหม้) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความสม่ำเสมอของความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG
- อัตราต้นทุนด้านพลังงานที่สูงพบว่าจะมีต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ที่ 37.5 บาท ต่อการอบ 1 ครั้งหรือ 3.75 บ. / กก. (คิดที่ราคา LPG 25 บ. / กก.)

จากข้อมูลตั้งต้นและปัญหาดังกล่าว ที่ได้จากการศึกษาข้อมูลและค้นพบร่วมกันระหว่างกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง และผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยได้ พารามิเตอร์และปัจจัยต่างๆมาใช้ในการออกแบบเครื่องสร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน ซึ่งจะออกแบบที่พิกัดเดิม 5 กิโลกรัม และใช้สนามไฟฟ้ามาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านการแห้งที่ไม่สม่ำเสมอของเปลือกแห้วได้ เพราะการทำงานสนามไฟฟ้าจะทำให้ไม่ต้องคอยพลิกเปลือกแห้วตลอดเวลาในการอบแห้ง และยังใช้ปั๊มความร้อนมาใช้เป็นแหล่งความร้อนในการอบแห้งเพราะมีต้นทุนด้านพลังงานที่ต่ำ ใช้ระยะเวลาที่สั้น มีอัตราการให้ความร้อนที่สม่ำเสมอจึงทำให้แก้ปัญหาเรื่องของเสียและเปลือกแห้วที่ไหม้ได้ โดยขั้นตอนการออกแบบและสร้างต้นแบบ อบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องฯ มีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ทำการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV เพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าต่อความชื้นในเปลือกแห้ว ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ และ ไม่สม่ำเสมอปานกลาง

4.1.1 ไดอะแกรมของชุดชดลองสนามไฟฟ้า

จากการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ และเอกสารที่เกี่ยวข้องนำไปสู่การออกแบบชุดทดลองเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการดังนี้



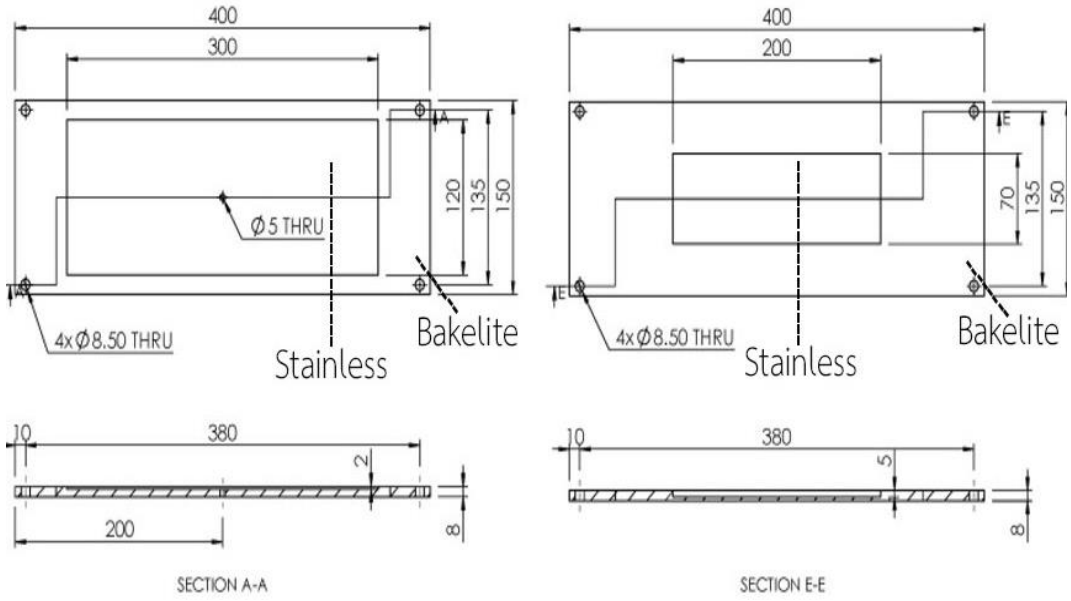
ภาพที่ 4.3 ไดอะแกรมชุดทดลองเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ

อธิบายการทำงานของไดอะแกรมในภาพที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของชุดทดลองเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดัน 220Vac, 50Hz ในหมายเลข 1 ไปยังหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า 16A, 0-250V ในหมายเลข 2 เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าหม้อแปลงในการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูง 0-3kV ในหมายเลข 3 ซึ่งทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอในอิเล็กโทรด หมายเลขที่ 4 ทำหน้าที่สร้างอุณหภูมิลมร้อนเพื่อใช้ในการศึกษาที่ 50°C ในอิเล็กโทรดที่หมายเลขที่ 5 เพื่อจ่ายให้เปลือกแห้วในการทดลองที่หมายเลข 6 วัดและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นของเปลือกแห้วที่ผ่านสนามไฟฟ้าในหมายเลขที่ 7

4.1.2 การออกแบบอิเล็กโทรดสม่ำเสมอที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบยึดติดกับแผ่นอิเล็กโทรดระนาบ

เลือกใช้ Phenolic Cotton Cloth Laminate Sheet ซึ่งมีความกว้าง 150 mm ยาว 400 mm หนา ความหนา 9 mm สามารถทนความร้อนได้สูงในระบบไฟฟ้าได้ถึง 400 °C โดยประกอบด้วย ฝาด้านบนจะมีการเซาะร่องขนาดกว้าง 120 mm ยาว 300 mm ลึก 2mm เพื่อให้สามารถฝังแผ่นสแตนเลสได้ และฝาด้านล่างมีการเซาะร่องกว้าง 70 mm ยาว 200 mm ลึก 2 mmเพื่อให้สามารถฝังแผ่นสแตนเลสได้ดังภาพที่ 4.4

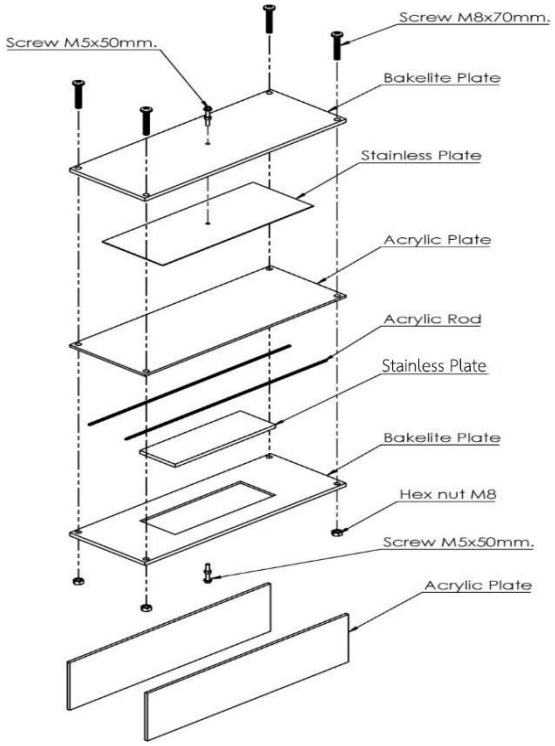


(ก) (ข)

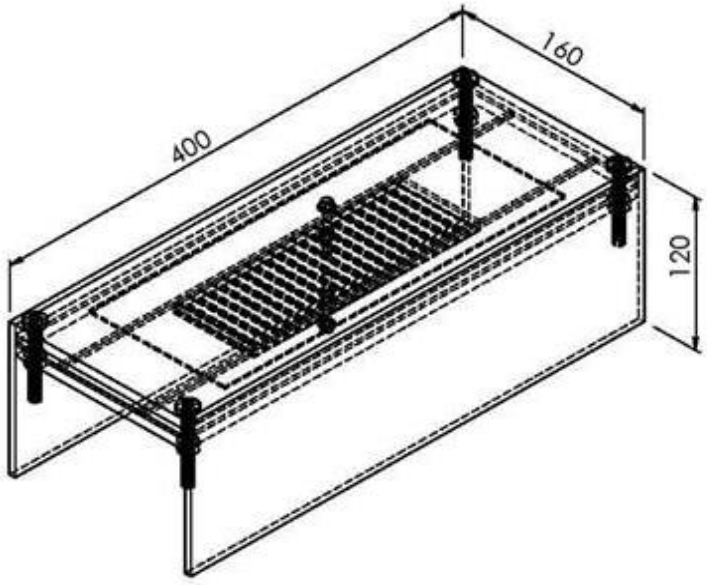
ภาพที่ 4.4 แผ่นรับด้านบนและแผ่นรับด้านล่าง

(ก) แผ่นรับด้านบน

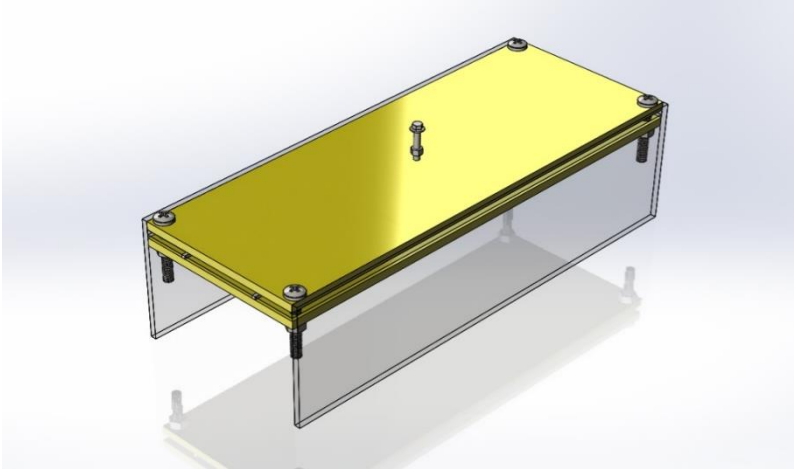
(ข) แผ่นรับด้านล่าง



ภาพที่ 4.5 โครงสร้างพื้นฐานของชุดอิเล็กโทรดสำหรับชุดทดลองการศึกษาผลของสนามไฟฟ้า



ภาพที่ 4.6 แบบสมบูรณ์ชุดทดลองอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 4.7 ชุดทดลองอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 4.8 ชุดทดลองอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการที่จัดทำจากการอกกแบบ

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นอิเล็กโทรดระนาบ วัสดุที่ใช้คือแผ่นสแตนเลทมีขนาด หนา 2mm เพื่อให้มีความแข็งแรงเพราะหากสแตนเลทบางไปในระหว่างประกอบชุดอิเล็กโทรดซึ่งมีช่องแกปอากาศที่เล็กมากแผ่นสแตนเลทที่มีความโค้งงอ หรือพื้นผิวไม่เรียบจะทำให้ความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าน้อยลงไม่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณเพื่อใช้ในการทดลอง พื้นที่ผิวกว้าง 70 mm, ยาว 200 mm หรือประมาณ 140 cm^2 เพื่อป้องกันการเกิดความเครียดหรือเบรกดาวน์จากบริเวณขอบของแผ่นเพลท

ช่องว่างอากาศระหว่างอิเล็กโทรด ช่องว่างอากาศระหว่างอิเล็กโทรดมีขนาด 30 mm เนื่องจากมีการออกแบบเพื่อใส่เปลือกแห้วในแผ่นเพลท (Plate)

ชุดปรับความสูงของช่องว่างอากาศระยะแกปมีความกว้างขนาดของช่องอากา ชุดปรับความสูงของช่องว่างอากาศระยะแกปมีความกว้างขนาดของช่องว่างอากาศ ความกว้าง 70 mm ยาว 44 mm

4.1.3 การวิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

วิเคราะห์ค่าแรงดันสูงที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า

ฉะนั้นความเครียดในสนามไฟฟ้าจะได้ดังสมการ สามารถคำนวณค่าแรงดันในการสร้างสนามไฟฟ้าได้ดังนี้

$$E_2 = \frac{U\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}{d_1(1+\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{d_1}{d2})} \quad (4.1)$$

$$U = \frac{E_2 d_1(1+\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{d_1}{d2})}{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

$$U = \frac{1000x0.3(1+\frac{4.5}{1}x\frac{3}{0.3})}{\frac{4.5}{1}}$$

$$U = \frac{300(1+4.5x10\ )}{4.5}$$

$$U = \frac{300x46}{4.5}$$

$$U \approx 3066.66\ V$$

จากการวิเคราะห์ด้วยสมการทำให้ทราบค่าแรงดันต่างๆเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าในการทดลองดังตารางที่ 1

จากความสัมพันธ์ของค่าสนามไฟฟ้าและแรงดันสามารถวิเคราะห์ค่าแรงดันที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าค่าต่างๆในการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางวิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า

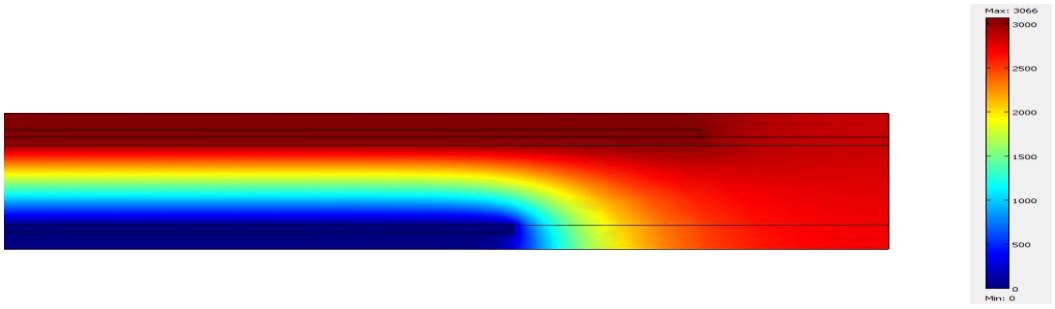
สนามไฟฟ้า (kV/cm)	**VHV (V)**
1	3066
2	6133
3	9200

สรุปตาราง 4.1 วิเคราะห์ค่าแรงดันสูงที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะเห็นได้ว่าที่ใช้ในความสัมพันธ์ของสมการ

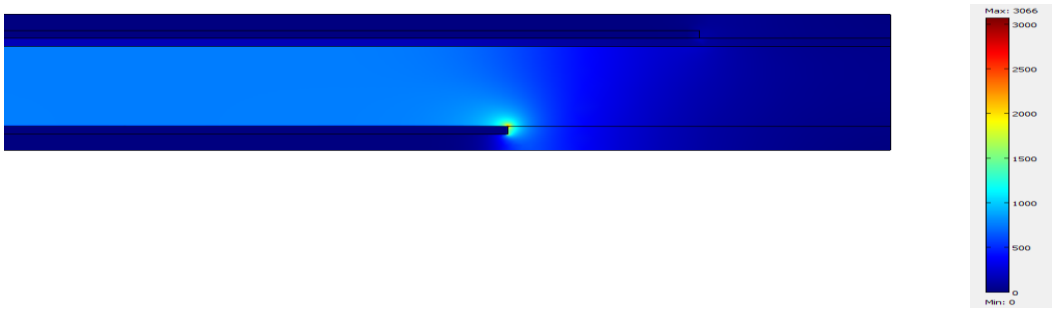
4.1.4 วิเคราะห์การกระจายแรงดันและสนามไฟฟ้าในการทดลองโดยโปรแกรมจำลองFEM

ความสัมพันธ์ของแรงดันที่ใช้ในการสร้างค่าสนามไฟฟ้า 1-3*kV/cm* สามารถวิเคราะห์การกระจายสนามไฟฟ้าและแรงดันภายในอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองด้วยโปรแกรมจำลอง *FEM* ได้ดังภาพที่ 4.9

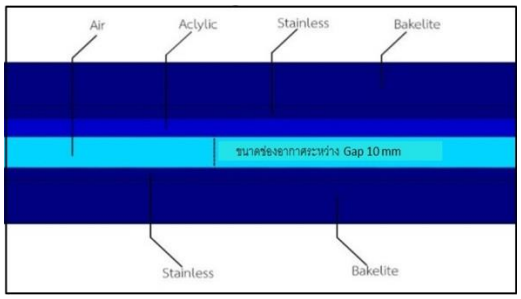
การกระจายแรงดันและสนามไฟฟ้า 1kV/cm ที่แรงดัน 3066V โดยโปรแกรม FEM



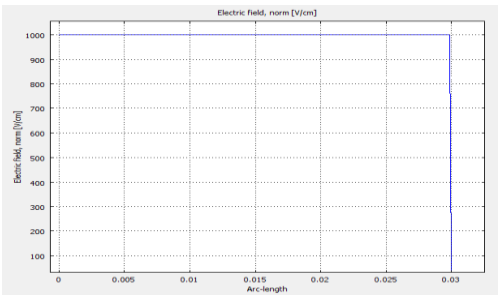
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.9 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรดโดยโปรแกรม FEM

(ก) การกระจายแรงดัน 1kV/cm ที่แรงดัน 3066V

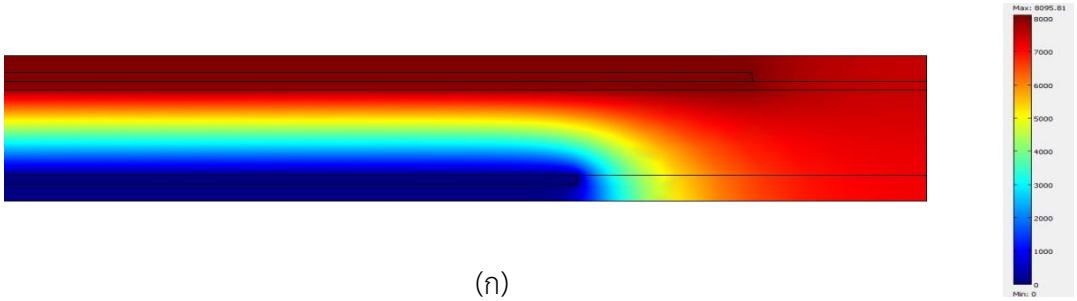
(ข) การกระจายสนามไฟฟ้า 1kV/cm ที่แรงดัน 3066V

(ค) รากเส้นลงระหว่างช่องว่างอากาศเพื่อหาค่าสนามไฟฟ้า 1kV/cm ที่แรงดัน 3066V

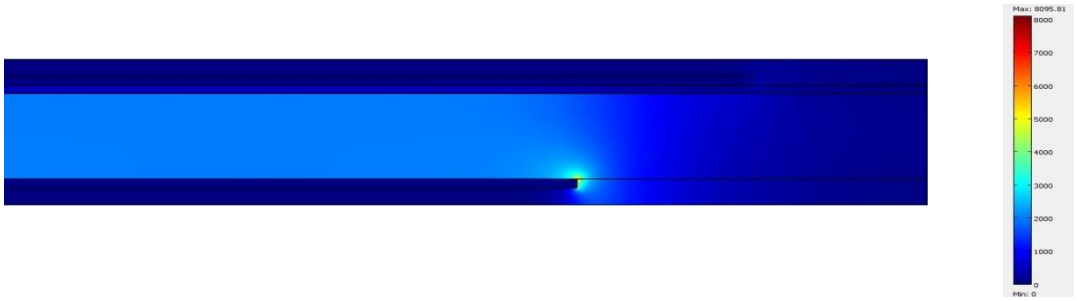
(ง) แสดงค่าของสนามไฟฟ้า 1kV/cm ที่แรงดัน 3066V

วิเคราะห์ผล จากการกระจายสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม FEMสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันสูงได้ที่ค่า 1kV/cm ที่แรงดัน 3066V ดังภาพที่ 9 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรด

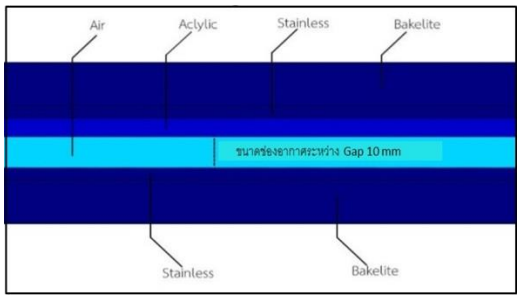
การกระจายแรงดันและสนามไฟฟ้า 2kV/cm ที่แรงดัน 6133V โดยโปรแกรม FEM

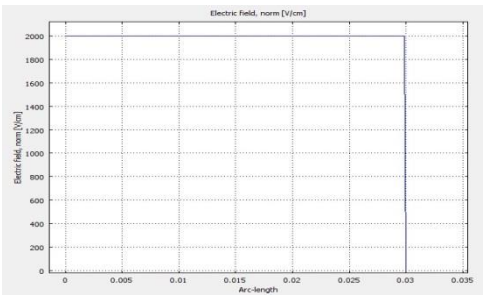


(ก)



(ข)





(ค) (ง)

ภาพที่ 4.10 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรดโดยโปรแกรม FEM

(ก) การกระจายแรงดัน 2kV/cm ที่แรงดัน 6133V

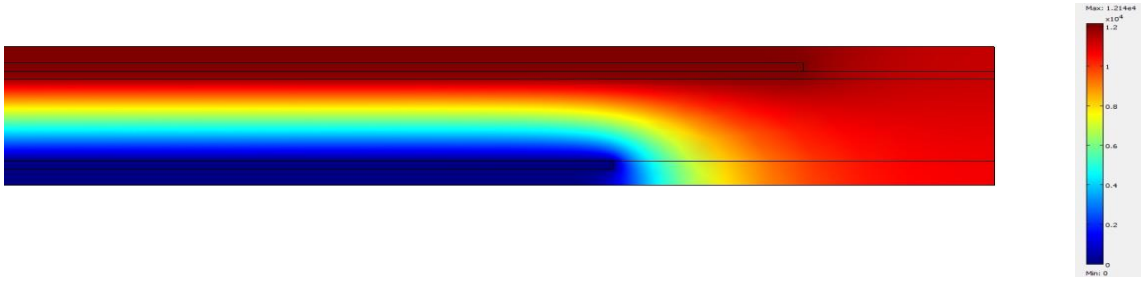
(ข) การกระจายสนามไฟฟ้า 2kV/cm ที่แรงดัน 6133V

(ค) รากเส้นลงระหว่างช่องว่างอากาศเพื่อหาค่าสนามไฟฟ้า 2kV/cm ที่แรงดัน 6133V

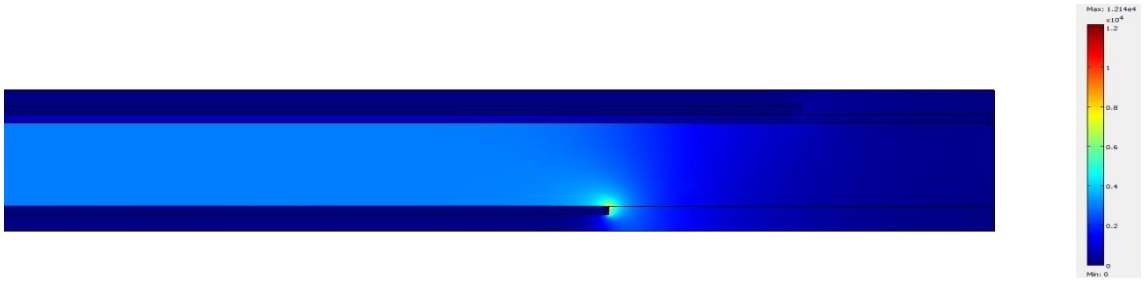
(ง) แสดงค่าของสนามไฟฟ้า 2kV/cm ที่แรงดัน 6133V

วิเคราะห์ผล จากการกระจายสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมFEMสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันสูงได้ที่ค่า 2kV/cm ที่แรงดัน 6133V ดังภาพที่ 10การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรด

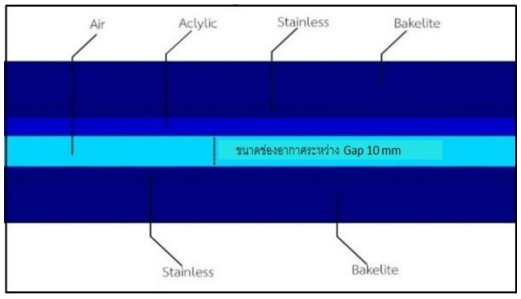
การกระจายแรงดันและสนามไฟฟ้า 3kV/cm ที่แรงดัน 9200V โดยโปรแกรม FEM



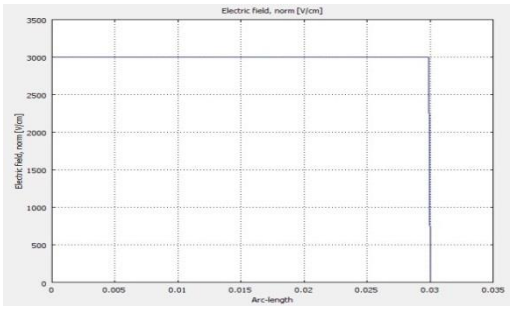
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.11 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรดโดยโปรแกรม FEM

(ก) การกระจายแรงดัน 3kV/cm ที่แรงดัน 9200V

(ข) การกระจายสนามไฟฟ้า 3kV/cm ที่แรงดัน 9200V

(ค) รากเส้นลงระหว่างช่องว่างอากาศเพื่อหาค่าสนามไฟฟ้า 3kV/cm ที่แรงดัน 9200V

(ง) แสดงค่าของสนามไฟฟ้า 3kV/cm ที่แรงดัน 9200V

วิเคราะห์ผล จากการกระจายสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมFEMสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันสูงได้ที่ค่า 3kV/cm ที่แรงดัน 9200V ดังภาพที่ 11 การจำลองสนามไฟฟ้าและแรงดันของอิเล็กโทรด

4.1.5 การวิเคราะห์แหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงและแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ

หม้อแปลงแรงดันสูงกระแสตรง

กำหนดขนาดของหม้อแปลงแรงดันกระแสตรงจะพิจารณาจากการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของโหลดซึ่งโหลดทั้งหมดนั้น มีแรงดันไฟฟ้า 1-3kV จึงเลือกใช้หม้อแปลงพิกัดแรงดัน Input 220V. Output 0-20kVdc

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับ

กำหนดขนาดของหม้อแปลงแรงดันกระแสสลับจะพิจารณาจากการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของโหลดซึ่งโหลดทั้งหมดนั้น มีแรงดันไฟฟ้า 1-3kV จึงเลือกใช้หม้อแปลงนีออนพิกัดแรงดัน Input 220V. Output 15kV50 Hz

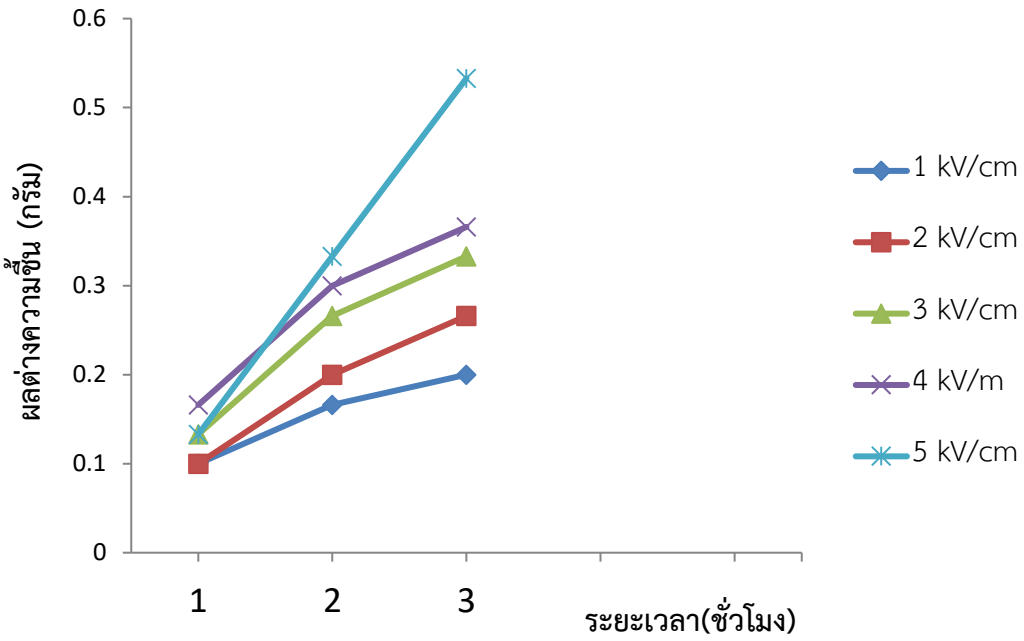
4.1.6 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV เพื่อทราบผลของสนามไฟฟ้าต่อความชื้นในเปลือกแห้ว ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ และ ไม่สม่ำเสมอปานกลาง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ

เวลา	1 ซม.			2 ซม.			3 ซม.		
kV/cm	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง
1	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.8	0.2
1	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.8	0.2	10 (0.1A)	9.8	0.2
1	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.8	0.2	10 (0.1A)	9.8	0.2
2	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.8	0.2	10 (0.1A)	9.8	0.2
2	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.8	0.2	10 (0.1A)	9.7	0.3
2	10 (0.1A)	9.9	0.1	10 (0.1A)	9.8	0.2	10 (0.1A)	9.7	0.3
3	10 (0.2A)	9.9	0.1	10 (0.2A)	9.7	0.3	10 (0.2A)	9.7	0.3
3	10 (0.2A)	9.9	0.1	10 (0.2A)	9.8	0.2	10 (0.2A)	9.6	0.4
3	10 (0.2A)	9.8	0.2	10 (0.2A)	9.7	0.3	10 (0.2A)	9.7	0.3
4	10 (0.4A)	9.9	0.1	10 (0.4A)	9.7	0.3	10 (0.4A)	9.7	0.3
4	10 (0.4A)	9.8	0.2	10 (0.4A)	9.7	0.3	10 (0.4A)	9.6	0.4
4	10 (0.4A)	9.8	0.2	10 (0.4A)	9.7	0.3	10 (0.4A)	9.6	0.4
5	10 (0.4A)	9.8	0.2	10 (0.4A)	9.6	0.4	10 (0.4A)	9.5	9.5
5	10 (0.4A)	9.9	0.1	10 (0.4A)	9.7	0.3	10 (0.4A)	9.5	9.5
5	10 (0.4A)	9.9	0.1	10 (0.4A)	9.7	0.3	10 (0.4A)	9.4	9.6

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้า (kV/cm)	ผลต่างความชื้น (กรัม)		
	ที่เวลา 1 ชม.	ที่เวลา 2 ชม.	ที่เวลา 3 ชม.
1	0.1	0.166	0.2
2	0.1	0.2	0.266
3	0.133	0.266	0.333
4	0.166	0.3	0.366
5	0.133	0.333	0.533



ภาพที่ 4.12 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอกระแสสลับ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

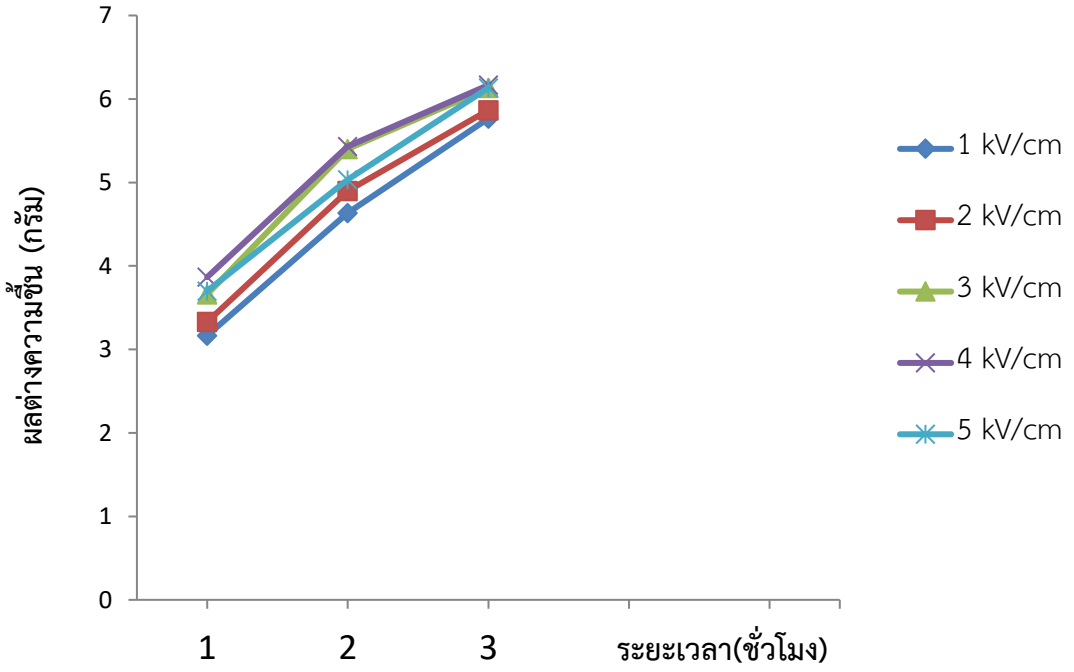
สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอกระแสสลับ ที่ 5 kV/cm ที่เวลา 3 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยของผลต่างความชื้นที่ดีที่สุดคือ 0.533 กรัมจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าระยะเวลาการได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้ามีผลต่อการสูญเสียความชื้นของเปลือกแห้วและค่าพลังงานจากสนามไฟฟ้าที่มีค่ามากมีผลต่อการลดความชื้นของเปลือกแห้ว

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ

เวลา	1 ซม.			2 ซม.			3 ซม.		
kV/cm	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง
1	10 (0.1A)	6.9	3.1	10 (0.1A)	5.3	4.7	10 (0.1A)	4.2	5.8
1	10 (0.1A)	6.8	3.2	10 (0.1A)	5.5	4.5	10 (0.1A)	4.3	5.7
1	10 (0.1A)	6.9	3.1	10 (0.1A)	5.3	4.7	10 (0.1A)	4.2	5.8
2	10 (0.1A)	6.7	3.3	10 (0.1A)	5.1	4.9	10 (0.1A)	4.1	5.9
2	10 (0.1A)	6.7	3.3	10 (0.1A)	5.1	4.9	10 (0.1A)	4.1	5.9
2	10 (0.1A)	6.6	3.4	10 (0.1A)	5.1	4.9	10 (0.1A)	4.2	5.8
3	10 (0.2A)	6.3	3.7	10 (0.2A)	4.6	5.4	10 (0.2A)	3.8	6.2
3	10 (0.2A)	6.4	3.6	10 (0.2A)	4.7	5.3	10 (0.2A)	3.9	6.1
3	10 (0.2A)	6.4	3.6	10 (0.2A)	4.5	5.5	10 (0.2A)	3.9	6.1
4	10 (0.4A)	6.1	3.9	10 (0.4A)	4.5	5.5	10 (0.4A)	3.9	6.1
4	10 (0.4A)	6.1	3.9	10 (0.4A)	4.6	5.4	10 (0.4A)	3.8	6.2
4	10 (0.4A)	6.2	3.8	10 (0.4A)	4.6	5.4	10 (0.4A)	3.8	6.2
5	10 (0.4A)	6.3	3.7	10 (0.4A)	4.9	5.1	10 (0.4A)	3.9	6.1
5	10 (0.4A)	6.3	3.7	10 (0.4A)	5	5	10 (0.4A)	3.9	6.1
5	10 (0.4A)	6.3	3.7	10 (0.4A)	5	5	10 (0.4A)	3.8	6.2

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 ℃ ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้า (kV/cm)	ผลต่างความชื้น (กรัม)		
	ที่เวลา 1 ชม.	ที่เวลา 2 ชม.	ที่เวลา 3 ชม.
1	3.166	4.633	5.766
2	3.33	4.9	5.866
3	3.66	5.4	6.133
4	3.866	5.433	6.166
5	3.7	5.033	6.133



ภาพที่ 4.13 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอปานกลางกระแสสลับร่วมลมร้อน 50 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ผลการทดลอง

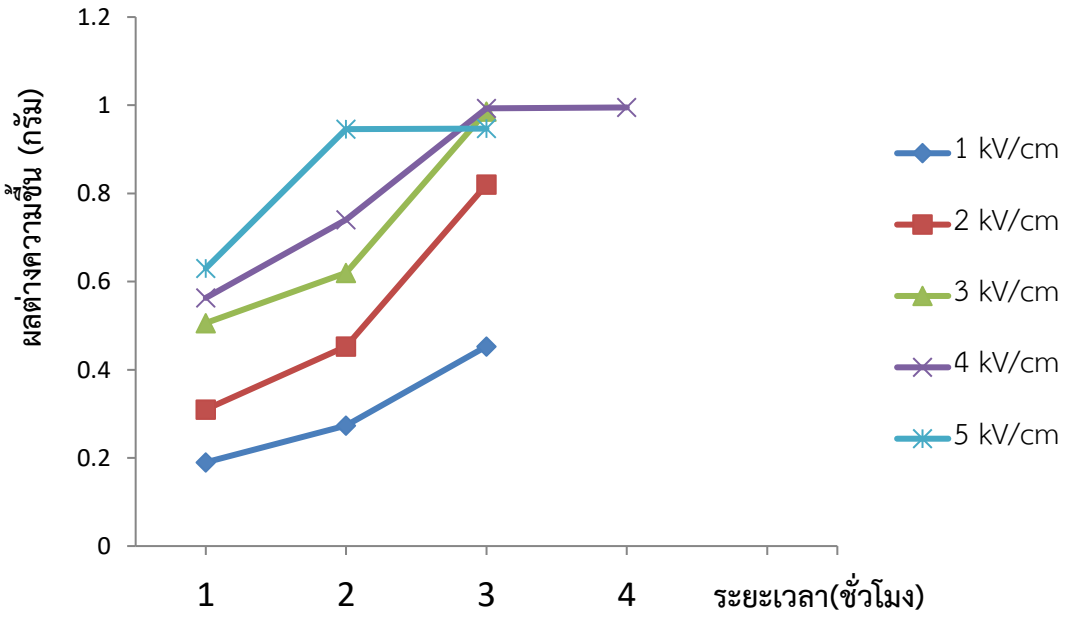
สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลาง ที่ 4 kV/cm ที่เวลา 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นดีที่สุดคือ 6.166 กรัม รองลงมาคือ 2 ชั่วโมง ที่ 5.433 กรัม ที่ 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยผลต่างน้อยที่สุดคือ 3.866 กรัม

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ

เวลา	1 ซม.			2 ซม.			3 ซม.		
kV/cm	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง
1	10 (0.1A)	9.8	0.2	10 (0.1A)	9.7	0.3	10 (0.1A)	9.5	0.5
1	10 (0.1A)	9.82	0.18	10 (0.1A)	9.73	0.27	10 (0.1A)	9.56	0.44
1	10 (0.1A)	9.81	0.19	10 (0.1A)	9.75	0.25	10 (0.1A)	9.58	0.42
2	10.21 (0.1A)	9.82	0.39	10.2 (0.1A)	9.61	0.59	10.2 (0.1A)	9.2	0.88
2	10 (0.1A)	9.74	0.26	10 (0.1A)	9.6	0.4	10 (0.1A)	9.3	0.7
2	10 (0.1A)	9.72	0.28	10 (0.1A)	9.63	0.37	10 (0.1A)	9.52	0.88
3	10.17 (0.2A)	9.38	0.79	10.22 (0.2A)	9.58	0.64	10.2 (0.2A)	8.92	1.28
3	10 (0.2A)	9.6	0.4	10 (0.2A)	9.4	0.6	10 (0.2A)	9.2	0.8
3	10 (0.2A)	9.67	0.33	10 (0.2A)	9.41	0.59	10 (0.2A)	9.12	0.88
4	10.01 (0.4A)	9.32	0.69	10.01 (0.4A)	9.19	0.82	10.02 (0.4A)	8.74	1.28
4	10 (0.4A)	9.5	0.5	10 (0.4A)	9.3	0.7	10 (0.4A)	9.1	0.9
4	10 (0.4A)	9.5	0.5	10 (0.4A)	9.3	0.7	10 (0.4A)	9.2	0.8
5	10.01 (0.4A)	9.22	0.22	10.01 (0.4A)	8.77	1.24	10.03 (0.4A)	8.79	1.24
5	10 (0.4A)	9.4	0.4	10 (0.4A)	9.1	0.9	10 (0.4A)	9.1	0.8
5	10 (0.4A)	9.5	0.5	10 (0.4A)	9.3	0.7	10 (0.4A)	9.2	0.8

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้า (kV/cm)	ผลต่างความชื้น (กรัม)			
	ที่เวลา 1 ชม.	ที่เวลา 2 ชม.	ที่เวลา 3 ชม.	ที่เวลา 4 ชม.
1	0.19	0.273	0.453	
2	0.31	0.453	0.82	
3	0.506	0.61	0.986	
4	0.563	0.74	0.993	0.995
5	0.63	0.946	0.947	



ภาพที่ 4.14 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางกระแสสลับ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

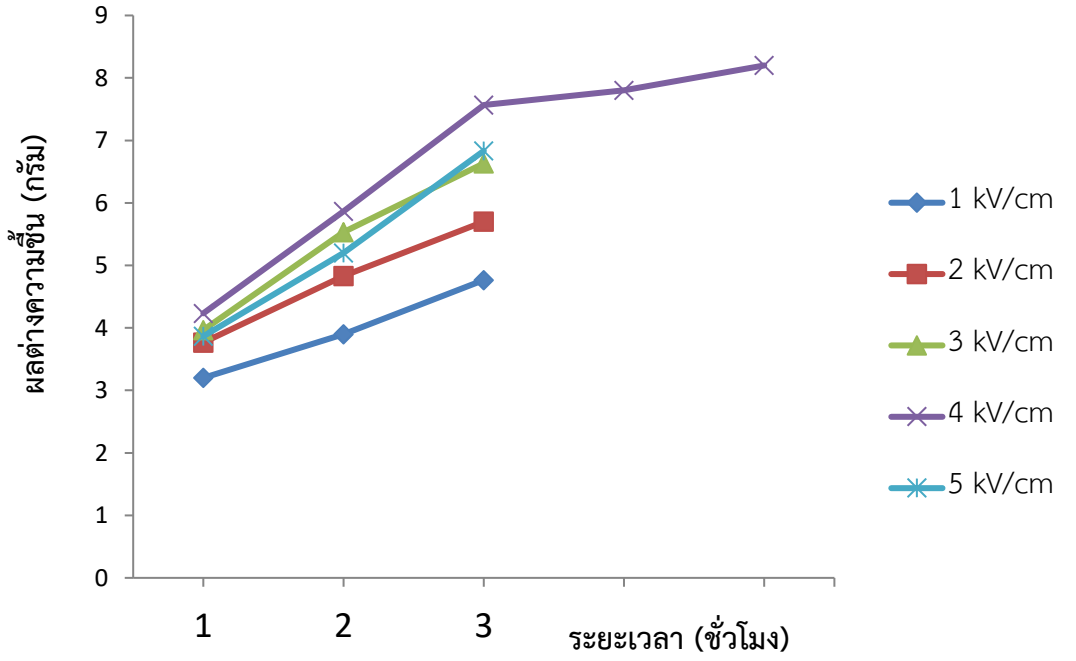
สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลาง ที่ 4 kV/cm ที่เวลา 4 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นดีที่สุดคือ 0.995 กรัม รองลงมาคือ 3 ชั่วโมง ที่ 0.993 กรัม รองลงมาคือ 2 ชั่วโมง ที่ 0.74 ที่ 1 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยผลต่างน้อยที่สุดคือ 0.563 กรัม

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ

เวลา	1 ซม.			2 ซม.			3 ซม.		
kV/cm	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ผลต่าง
1	10 (0.1A)	6.8	3.2	10 (0.1A)	6.1	3.9	10 (0.1A)	5.2	4.8
1	10 (0.1A)	6.7	3.3	10 (0.1A)	6.1	3.9	10 (0.1A)	5.2	4.8
1	10 (0.1A)	6.9	3.1	10 (0.1A)	6.1	3.9	10 (0.1A)	5.3	4.7
2	10 (0.1A)	6.2	3.8	10 (0.1A)	5.1	4.9	10 (0.1A)	4.3	5.7
2	10 (0.1A)	6.2	3.8	10 (0.1A)	5.3	4.7	10 (0.1A)	4.2	5.8
2	10 (0.1A)	6.3	3.7	10 (0.1A)	5.1	4.9	10 (0.1A)	4.4	5.6
3	10 (0.2A)	6	4	10 (0.2A)	4.4	5.6	10 (0.2A)	3.3	6.7
3	10 (0.2A)	6	4	10 (0.2A)	4.6	5.4	10 (0.2A)	3.4	6.6
3	10 (0.2A)	6.1	3.9	10 (0.2A)	4.4	5.6	10 (0.2A)	3.4	6.6
4	10 (0.4A)	5.8	4.2	10 (0.4A)	4.1	5.9	10 (0.4A)	2.5	7.5
4	10 (0.4A)	5.7	4.3	10 (0.4A)	4.1	5.9	10 (0.4A)	2.4	7.6
4	10 (0.4A)	5.8	4.2	10 (0.4A)	4.2	5.8	10 (0.4A)	2.4	7.6
5	10 (0.4A)	6.1	3.9	10 (0.4A)	4.7	5.3	10 (0.4A)	3.1	6.9
5	10 (0.4A)	6.1	3.9	10 (0.4A)	4.9	5.1	10 (0.4A)	3.2	6.8
5	10 (0.4A)	6.2	3.8	10 (0.4A)	4.8	5.2	10 (0.4A)	3.2	6.8

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 0 - 5kV ร่วมกับลมร้อน 50 ℃ ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้า (kV/cm)	ผลต่างความชื้น (กรัม)				
	ที่เวลา 1 ชม.	ที่เวลา 2 ชม.	ที่เวลา 3 ชม.	4 ชม. (สนามไฟฟ้า 2 ชั่วโมง)	ที่เวลา 4 ชม.
1	3.2	3.9	4.766		
2	3.766	4.833	5.7		
3	3.966	5.533	6.633		
4	4.233	5.866	7.566	7.8	8.2
5	3.866	5.2	6.833		



ภาพที่ 4.15 การลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางกระแสสลับร่วมลมร้อน 50 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ผลการทดลอง

สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลาง ที่ 4 kV/cm ที่เวลา 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นดีที่สุดคือ 7.566 กรัม รองลงมาคือ 2 ชั่วโมง ที่ 5.866 กรัม ที่ 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยผลต่างน้อยที่สุดคือ 4.233 กรัม

4.2 ผลการทดลองผลของการอบแห้งในห้องปฏิบัติการเพื่อนำพารามิเตอร์ไปทวนสอบผลกับการออกแบบ

ทำการทดสอบโดยทำเปลือกแห้วที่ผ่านการล้างและทำความสะอาดแล้วปริมาณ 100 กรัม ไปทำการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 40 ℃, 50 ℃ และ 60 ℃ พบว่า ปริมาณสุดท้ายที่เหลือจากการอบแห้ง เปลือกแห้วจะมีน้ำหนักประมาณ 22 กรัม แต่จะใช้เวลาแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละอุณหภูมิ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้วที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 ℃

ปริมาณเปลือกแห้วที่ใช้ในการทดลอง 100 กรัม อุณหภูมิอบแห้ง 40 ℃

ชั่วโมงที่	น้ำหนัก	ความชื้นมาตรฐานเปียก	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
1	100	0.00	0.00
2	90	10.00	11.11
3	88	12.00	13.64
4	80	20.00	25.00
5	70	30.00	42.86
6	60	40.00	66.67
7	56	44.00	78.57
8	42	58.00	138.10
9	32	68.00	212.50
10	32	68.00	212.50
11	28	72.00	257.14
12	25	75.00	300.00
13	24	76.00	316.67
14	24	76.00	316.67
15	22	78.00	354.55
16	22	78.00	354.55

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้วที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 ℃

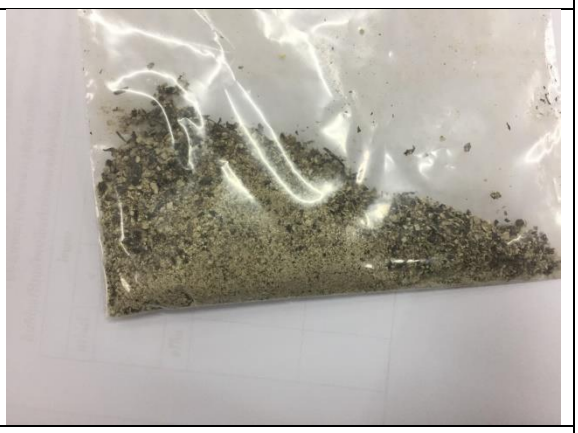
ปริมาณเปลือกแห้วที่ใช้ในการทดลอง 100 กรัม อุณหภูมิอบแห้ง 50 ℃			
ชั่วโมงที่	น้ำหนัก	ความชื้นมาตรฐานเปียก	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
1	100	0.00	0.00
2	88	12.00	13.64
3	80	20.00	25.00
4	70	30.00	42.86
5	60	40.00	66.67
6	54	46.00	85.19
7	42	58.00	138.10
8	40	60.00	150.00
9	32	68.00	212.50
10	32	68.00	212.50
11	30	70.00	233.33
12	25	75.00	300.00
13	24	76.00	316.67
14	22	78.00	354.55
15	22	78.00	354.55
16	22	78.00	354.55

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้วที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 ℃

ปริมาณเปลือกแห้วที่ใช้ในการทดลอง 100 กรัม อุณหภูมิอบแห้ง 60 ℃			
ชั่วโมงที่	น้ำหนัก	ความชื้นมาตรฐานเปียก	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
1	100	0.00	0.00
2	86	14.00	16.28
3	80	20.00	25.00
4	70	30.00	42.86
5	62	38.00	61.29
6	54	46.00	85.19
7	46	54.00	117.39
8	38	62.00	163.16
9	30	70.00	233.33
10	24	76.00	316.67
11	22	78.00	354.55
12	22	78.00	354.55
13	22	78.00	354.55
14	22	78.00	354.55

เปลือกแห้วสดที่นำมาทดลองอบแห้งในห้องปฏิบัติการ

เปลือกแห้วสดขณะอบแห้งในห้องปฏิบัติการ



เปลือกแห้วอบแห้งที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 4.16 เปลือกแห้วอบแห้งที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

4.3 ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม

จากสมมติฐานตั้งต้น จากลักษณะของเปลือกแห้วจะมีลักษณะของโครงสร้างเป็น 2 ชั้น นั้นคือ ชั้นของเปลือกและ ชั้นของเนื้อแห้วที่ยังติดอยู่ที่เปลือก ดังนั้นในการคำนวณเพื่อออกแบบต่างๆจะคิดที่ความชื้นสูงสุดก่อนอบแห้ง และ ต่ำสุดหลังอบแห้ง โดยพิจารณาการออกแบบ และ อบแห้งภายในเงื่อนไขต่อไปนี้

ความชื้นเริ่มต้นสูงสุด 90% WB

ปริมาณเริ่มต้น 5 kg

ความชื้นสุดท้ายต่ำสุดที่ต้องการ 5% dB

4.3.1 ผลการออกแบบอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ผลต่อความชื้นของเปลือกแห้วในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองและใช้การกระจายแรงดันและสนามไฟฟ้า ที่แรงดันและระยะการกระจาย โดยโปรแกรม FEM สามารถ สรุปได้ว่า สามารถใช้ อิเล็กโทรดสม่ำเสมอที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้ต้นกำลังจากหม้อแปลงแรงดันสูงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อลดความชื้นในเปลือกแห้ว เมื่อทำงานร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 1 - 5 kV

4.3.2 ผลการออกแบบ และหาพารามิเตอร์ของชุดปั๊มความร้อน เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วปั๊มความร้อน

- ขนาดของตู้อบจะมีขนาด 70 x 70 x 110 = 539,000 cm^3 ประมาณ 0.539 m^3
- ขนาดของถาดอบแห้งคือ 60 x 60 cm. สูง 2 cm.
- อัตราของอากาศที่หมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง 0.156 kg_a/s
- อัตราของอากาศที่เข้าเครื่องระเหย 0.0312 kg_a/s
- ขนาดของเครื่องระเหย 1.525 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวใน 0.811 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวนอก 1.669 kW
- ขนาดของเครื่องอัดไอ 0.93 kW

4.4 ผลการการทดลองผลของปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้วจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C

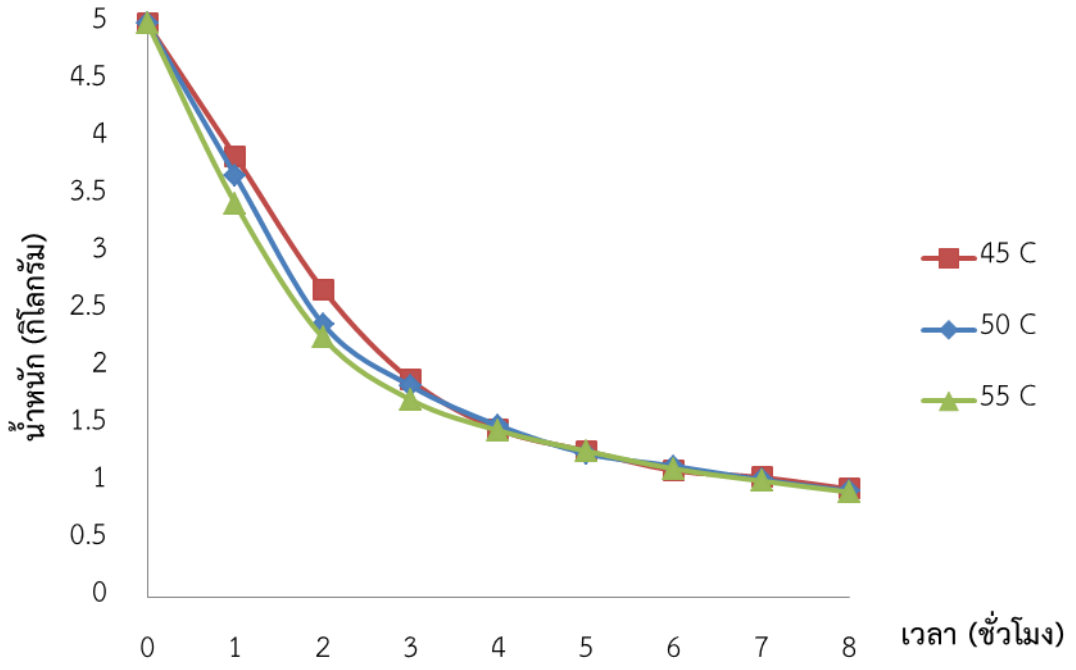
เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	M_d (%)	SEC (MJ/kg_w
เริ่ม	5	0	0	0
1	3.844	23.12	30.07	1.64
2	2.683	46.34	86.36	0.82
3	1.895	62.10	163.85	0.61
4	1.464	70.72	241.53	0.54
5	1.277	74.46	291.54	0.51
6	1.105	77.90	352.49	0.49
7	1.046	79.08	378.01	0.48
8	0.944	81.12	429.66	0.47
เฉลี่ย				0.73

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C

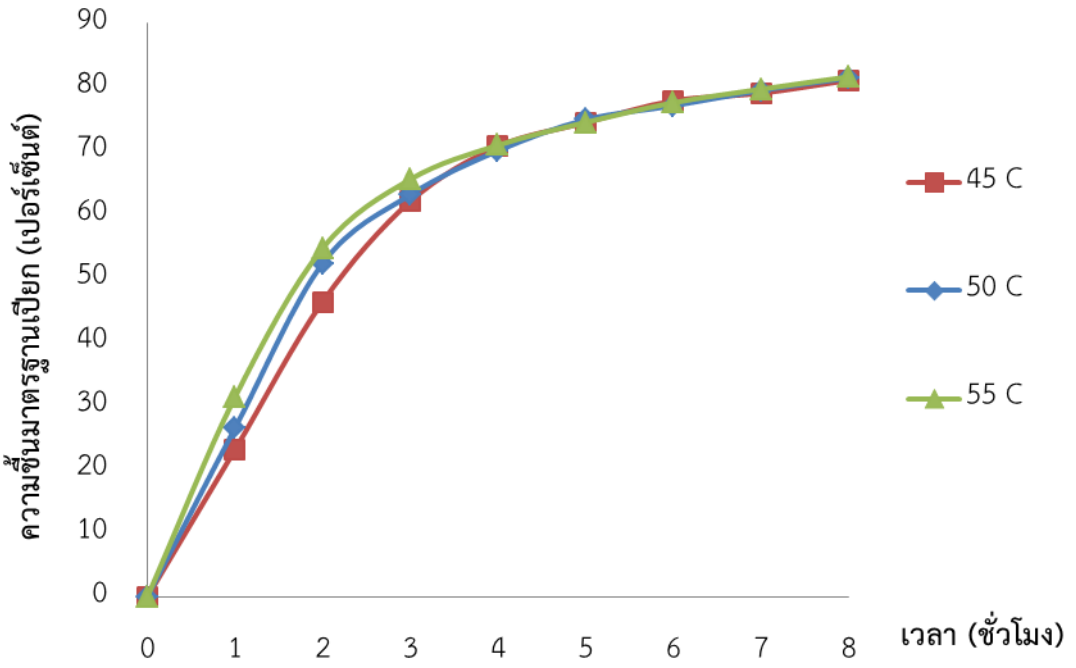
เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	M_d (%)	SEC (MJ/kg_w
เริ่ม	5	0	0	0
1	3.675	26.50	36.05	1.57
2	2.382	52.36	109.91	0.79
3	1.843	63.14	171.30	0.66
4	1.498	70.05	233.89	0.59
5	1.254	74.92	298.72	0.56
6	1.144	77.12	337.06	0.54
7	1.024	79.52	388.28	0.52
8	0.927	81.46	439.37	0.51
เฉลี่ย				0.75

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 ℃

เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	M_d (%)	SEC (MJ/kg_w
เริ่ม	5	0	0	0
1	3.433	31.34	45.65	1.51
2	2.263	54.74	120.95	0.86
3	1.722	65.56	190.36	0.72
4	1.454	70.92	243.88	0.67
5	1.275	74.50	292.16	0.63
6	1.120	77.60	346.43	0.61
7	1.014	79.72	393.10	0.59
8	0.917	81.66	445.26	0.58
เฉลี่ย				0.80



ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากภาพที่ 4.17 – 4.18 แสดงผลการทดลองอบแห้งเปลือกแห้วจำนวน 5 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 - 55 °C พบความแตกต่างของความสามารถในการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์น้อยมาก โดยพบว่าที่ 1 – 4 ชั่วโมงของการอบแห้ง เครื่องอบแห้งสามารถดึงความชื้นได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากชั่วโทงที่ 4 เป็นต้นมาพบว่าอัตราการการระเหยของความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการอบแห้ง

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

จากผลการทดลองผลการทดลองการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 4 kV ร่วมกับลมร้อน 50 °C ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ พบว่าการใช้สนามไฟฟ้าเข้าไปร่วมในการอบแห้งนั้นจะเห็นผลชัดเจนที่สุดในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งเท่านั้น หลังจาก 2 ชั่วโมงไปแล้ว ผลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อการระเหยของความชื้นในผลิตภัณฑ์ มีค่าน้อยมาก

ดังนั้นในการติดตั้งสนามไฟฟ้าเข้าไปในเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจะใช้ขนาดของสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอที่พัดกัด 4 kV และจะเปิดสนามไฟฟ้าในช่วง 2 ชั่วโมงแรกในการทดลองเท่านั้น ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 ℃

เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	M_d (%)	SEC (MJ/kg_w
เริ่ม	5	0	0	0
1*	2.987	40.26	67.39	1.61
2*	1.813	63.74	175.79	1.02
3	1.318	73.64	279.36	0.88
4	1.244	75.12	301.93	0.86
5	1.155	76.90	332.90	0.84
6	0.955	80.90	423.56	0.80
เฉลี่ย				1.00

หมายเหตุ *เปิดใช้งานสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอที่แรงดัน 4 kV

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 ℃

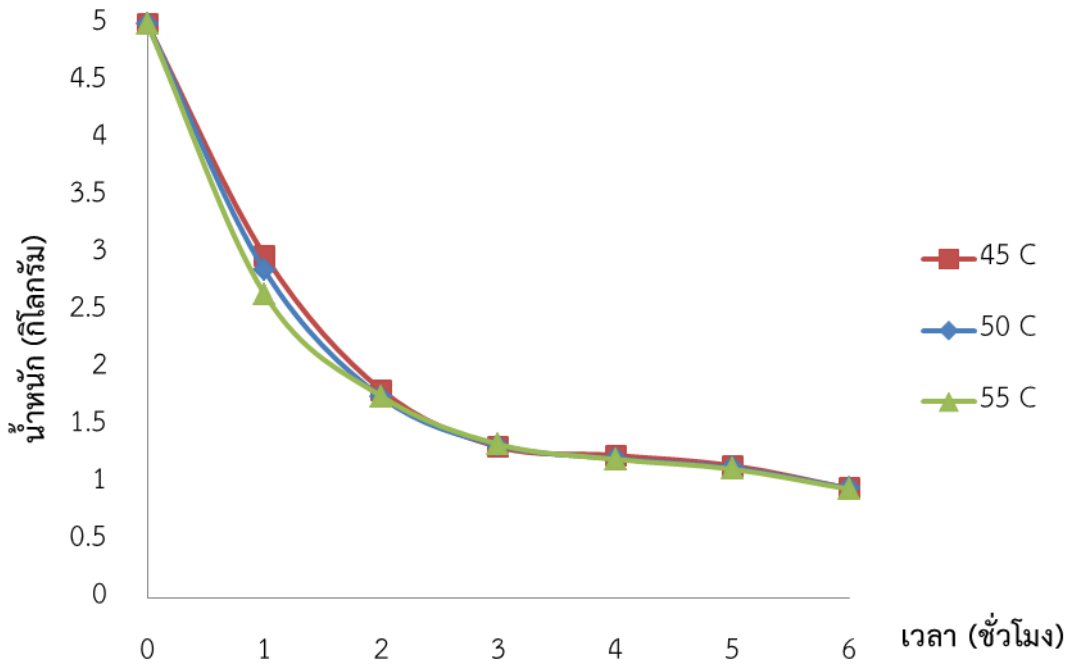
เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	M_d (%)	SEC (MJ/kg_w
เริ่ม	5	0	0	0
1*	2.856	42.88	75.07	1.60
2*	1.751	64.98	185.55	1.05
3	1.332	73.36	275.38	0.93
4	1.215	75.70	311.52	0.91
5	1.134	77.32	340.92	0.89
6	0.956	80.88	423.01	0.85
เฉลี่ย				1.04

หมายเหตุ *เปิดใช้งานสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอที่แรงดัน 4 kV

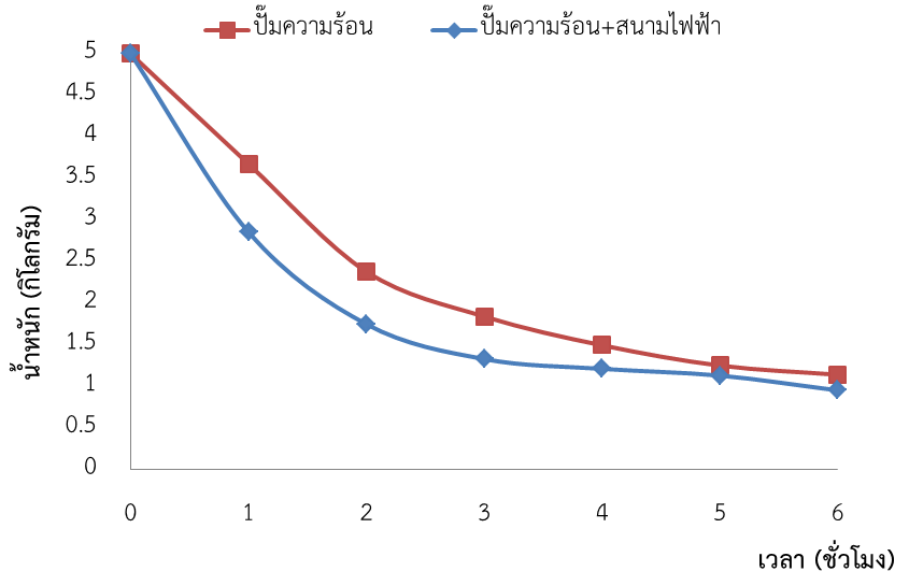
ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 ℃

เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	M_d (%)	SEC (MJ/kg_w
เริ่ม	5	0	0	0
1*	2.650	47.00	88.68	1.58
2*	1.758	64.84	184.41	1.14
3	1.340	73.20	273.13	1.01
4	1.210	75.80	313.22	0.98
5	1.124	77.52	344.84	0.96
6	0.949	81.02	426.87	0.92
เฉลี่ย				1.10

หมายเหตุ *เปิดใช้งานสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอที่แรงดัน 4 kV



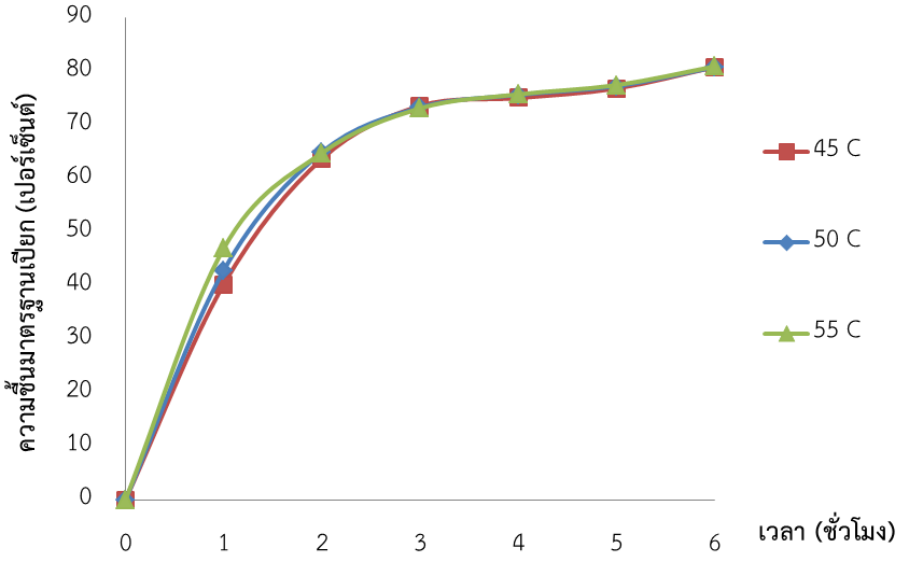
ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน



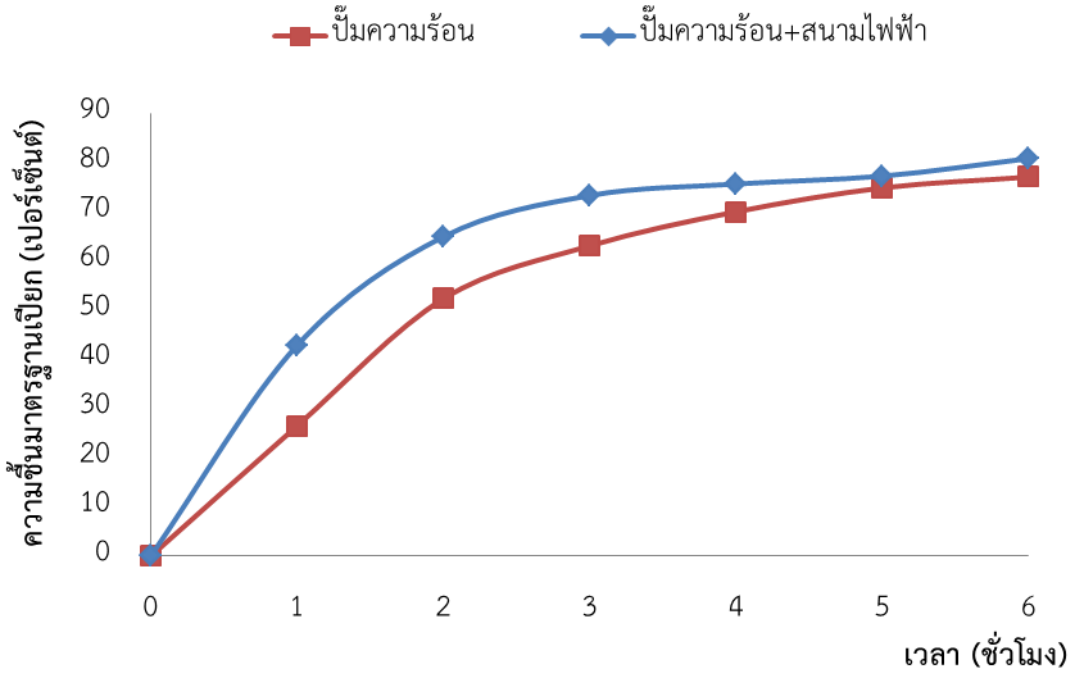
ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนกับเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากภาพที่ 4.19 – 4.20 พบว่าเมื่อมีการนำสนามไฟฟ้ามาใช้ในการการอบแห้งเปลือกแห้ว ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งพบว่า น้ำหนักของเปลือกแห้วลดลงเร็วกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียวเฉลี่ยที่ 14.5% และใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมงในการอบแห้งให้ได้น้ำหนักที่ต้องการ



ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน



ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนกับเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 ℃

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากภาพที่ 4.21 – 4.22 พบว่าเมื่อมีการนำสนามไฟฟ้ามาใช้ในการการอบแห้งเปลือกแห้ว ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งพบว่า ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกหรือปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากตัวเปลือกแห้ว มีอัตราการระเหยที่เร็วกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว เฉลี่ยที่ 28.81% และยังพบว่าใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมงในการอบแห้งให้ได้น้ำหนักที่ต้องการ

4.6 ผลการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน จะมีลักษณะการทำงานของปั๊มความร้อน โดยมีเทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุมการทำงานในลักษณะตัดและต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ นั้นคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิใช้งาน คอมเพรสเซอร์จะหยุดการทำงาน มีเพียงพัดลมและสนามไฟฟ้า เท่านั้นยังคงทำงานอยู่ และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงคอมเพรสเซอร์ก็จะเริ่มทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งอีกครั้ง จากหลักการทำงานดังกล่าวสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้ดังนี้

$$\text{การใช้พลังงานไฟฟ้า (kW.hr)} = ((\ V \times I \times PF\ ) / 1000\ ) \times hr \qquad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1 จากการตรวจวัดการทำงานของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนพบว่า

แรงดันไฟฟ้า	220	Volt
กระแสเฉลี่ยช่วง On	7.03	Amp
กระแสเฉลี่ยช่วง Off	2.876	Amp
PF	0.85	
เวลาเฉลี่ยในช่วง On	32	min/hr
เวลาเฉลี่ยในช่วง Off	28	min/hr

จะได้ $\frac{(220 \times 7.03 \times 0.85 \times (32 / 60)) + (220 \times 2.876 \times 0.85 \times (28 / 60))}{1000}$

= 0.95 kW.hr ต่อ ชั่วโมงการทำงาน

ดังนั้นหากใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง คิดราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ kW.hr ละ 4 บาท พบว่า จะใช้ต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง 11.40 บาท

คิดเป็นต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัม = 2.28 บาทต่อกิโลกรัม

4.7 ต้นทุนโดยประมาณเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน กรณีสร้างเชิงพาณิชย์ (ที่พิกัด 5 กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.18 ต้นทุนโดยประมาณเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน กรณีสร้างเชิงพาณิชย์ (ที่พิกัด 5 กิโลกรัม)

ลำดับ	รายการ	ราคา	จำนวน	รวม
1	คอมเพรสเซอร์ 12,000 BTU/hr	5,500	1	5,500
2	คอนเดนเซอร์	2,500	2	5,000
3	อีวาเพอร์เรเตอร์	2,500	1	2,500
4	อุปกรณ์ลดแรงดัน	1,000	1	1,000
5	มอเตอร์และชุดโบวเวอร์	1,500	3	4,500
6	ชุดควบคุมการทำงานของปั๊มความร้อน	3,000	1	3,000
7	วัสดุโครงสร้างเกรดอาหารเฉพาะจุดสัมผัส	35,000	1	35,000
8	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	1,500	5	7,500
9	อิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า	1,000	10	10,000
10	ชุดควบคุมการทำงานของสนามไฟฟ้า	3,000	1	3,000
11	ค่าแรงประกอบและติดตั้งระบบ	10,000	1	10,000
รวม				87,000

4.8 การเปรียบเทียบการอบแห้งแบบเดิมของกลุ่มผู้แปรรูปกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบการอบแห้งแบบเดิมของกลุ่มผู้แปรรูปกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ด้าน	ใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน	ใช้ LPG	พลังงานแสงอาทิตย์
สี	สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงน้อยมาก	มีการเปลี่ยนแปลงของสีบ้าง เนื่องจากความร้อนไม่ทั่วถึง	มีการเปลี่ยนแปลงของสี เนื่องจากแสงอาทิตย์มีผลต่อสี
อัตราการคืนตัว	มีการคืนตัวสูงการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกน้อย	มีการคืนตัวต่ำมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก	มีการคืนตัวต่ำมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก
ความชื้น	ความชื้นหลังการอบแห้งมีความสม่ำเสมอควบคุมได้	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ	ไม่สามารถควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์
อุณหภูมิ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีความสม่ำเสมอและใช้อุณหภูมิต่ำ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่ทั่วถึง	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับความเข้ม
เวลา	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีความแน่นอนและควบคุมได้สูง	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีความแน่นอนและควบคุมได้ต่ำ	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีความไม่แน่นอนและควบคุมไม่ได้
ต้นทุนด้านพลังงาน	2.28 บาทต่อกิโลกรัม	3.75 บาทต่อกิโลกรัม	-
ราคาเชิงพาณิชย์	พิกัด 5 กก. 87,000 บาท	พิกัด 5 กก. 85,000 บาท	-

4.9 ความก้าวหน้าในการจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร ที่เกิดขึ้นจากเครื่องต้นแบบอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ตารางที่ 4.20 สถานะความก้าวหน้าในการจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร

ที่	ขั้นตอนการดำเนินการ	สถานะ การดำเนินการ
1	แบบพิมพ์คำขอรับสิทธิบัตรแบบ สป/สผ/อสป/001-ก	อยู่ระหว่างการดำเนินการ
2	รายละเอียดการประดิษฐ์	ดำเนินการเสร็จสิ้น
3	ข้อถือสิทธิ	ดำเนินการเสร็จสิ้น
4	รูปเขียน	ดำเนินการเสร็จสิ้น
5	บทสรุปการประดิษฐ์	ดำเนินการเสร็จสิ้น
6	คำรับรองเกี่ยวกับสิทธิขอรับสิทธิบัตร	ดำเนินการเสร็จสิ้น
7	จัดส่งให้สถาบันวิจัยและพัฒนาดำเนินการต่อในส่วนที่เกี่ยวข้อง	ดำเนินการเสร็จสิ้น

***รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข. เอกสารประกอบการยื่นขอจดสิทธิบัตร**

บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัย

5.1 บทสรุปงานวิจัย

จากบริบทเบื้องต้นของพื้นที่ ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี พบพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งคือ แห้วจีน จากข้อมูล ปี 2553-2556 จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ปลูกแห้วจีนทั้งสิ้นประมาณ 9,517 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 16,785 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 4,034 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ปัญหาสำคัญในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแห้วจีนคือ หลังจากกระบวนการปอกเปลือกแห้วจีนเพื่อจำหน่ายเนื้อแห้วแล้วนั้น ส่งผลให้มีเปลือกแห้วจีนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลภาวะแวดล้อมทางกลิ่น จึงทำให้ เกิดการแปรรูปผ่านกระบวนการทำให้แห้งเพื่อผลิตเป็นชา จากเปลือกแห้วจีน ซึ่งปัจจุบันนับเป็นอีกสินค้าชนิดหนึ่งของกลุ่มผู้แปรรูป

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นที่มาของโครงงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เพื่อจุดประสงค์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกแห้วจีน เพราะจากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่พบว่าแห้ว 1 ถัง น้ำหนัก 15 กิโลกรัมพบว่าเมื่อมีการปอกเปลือกเพื่อทำการแปรรูปจะเป็นส่วนของเนื้อ 8 กิโลกรัม และเป็นเปลือก 7 กิโลกรัม และกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการนำเปลือกแห้วมาทำเป็นชาเพื่อจำหน่าย ดังนั้นเครื่องอบแห้งต้นแบบที่สร้างขึ้นเป็นการพัฒนาและแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรรูปแบบใหม่ และเป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่นไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น และในเชิงอุตสาหกรรมอาหารต่อไปได้ในอนาคต

เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน ที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบที่การนำเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 รูปแบบมาใช้ในการอบแห้งในพิกัด 5 กิโลกรัม ซึ่งจากการอบแห้งเดิมของกลุ่มผู้แปรรูป พบการแปรรูปใน 3 รูปแบบคือ การตากแดดตามวิธีดั้งเดิมคือการนำเปลือกแห้วมาใส่ภาชนะแล้วนำมาตากแดด และวิธีที่ 2 คือ อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก และวิธีที่ 3 คืออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตู้อบลมร้อน สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 1 ชั่วโมง และมีอัตราการลดลงของน้ำหนักได้เร็วกว่า 14.5% และมีอัตราการระเหยที่เร็วกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว เฉลี่ยที่ 28.81% และมีต้นทุนด้านพลังงานในการอบแห้งต่อกิโลกรัมต่ำที่ 2.28 บาทต่อกิโลกรัม

5.2 ผลที่ได้จากงานวิจัย

5.2.1 ต้นแบบเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนและ เทคโนโลยีการอบแห้งแบบใหม่ที่ช่วยลดการใช้พลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ในการสร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งเปลือกแห้ว ด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน ในโครงการวิจัยนี้ เป็นเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ที่

ต้องการแปรรูปหรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการลดความชื้นให้ได้ตามค่าที่กำหนดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งเมื่อนำเทคโนโลยีการอบแห้งที่ได้จากเครื่องต้นแบบนี้ไปใช้ก็จะสามารถ ลดต้นทุนด้านพลังงาน และ เวลา ที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งได้เป็นอย่างดี โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

- ขนาดของตู้อบจะมีขนาด 70 x 70 x 110 = 539,000 cm^3 ประมาณ 0.539 m^3
- ขนาดของถาดอบแห้งคือ 60 x 60 cm. สูง 2 cm.
- อัตราของอากาศที่หมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง 0.156 kg_a/s
- อัตราของอากาศที่เข้าเครื่องระเหย 0.0312 kg_a/s
- ขนาดของเครื่องระเหย 1.525 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวใน 0.811 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวนอก 1.669 kW
- ขนาดของเครื่องอัดไอ 0.93 kW
- ใช้สนามไฟฟ้าด้วยแรงดัน 4 kV ที่ลักษณะสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ

โดยมีต้นทุนการผลิตในเชิงพาณิชย์โดยประมาณดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ต้นทุนโดยประมาณเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน กรณีสร้างเชิงพาณิชย์ (ที่พิกัด 5 กิโลกรัม)

ลำดับ	รายการ	ราคา	จำนวน	รวม
1	คอมเพรสเซอร์ 12,000 BTU/hr	5,500	1	5,500
2	คอนเดนเซอร์	2,500	2	5,000
3	อีวาเพอร์เรเตอร์	2,500	1	2,500
4	อุปกรณ์ลดแรงดัน	1,000	1	1,000
5	มอเตอร์และชุดโบวเวอร์	1,500	3	4,500
6	ชุดควบคุมการทำงานของปั๊มความร้อน	3,000	1	3,000
7	วัสดุโครงสร้างเกรดอาหารเฉพาะจุดสัมผัส	35,000	1	35,000
8	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	1,500	5	7,500
9	อิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า	1,000	10	10,000
10	ชุดควบคุมการทำงานของสนามไฟฟ้า	3,000	1	3,000
11	ค่าแรงประกอบและติดตั้งระบบ	10,000	1	10,000
รวม				87,000

5.2.2 ผลของการอบแห้งเปลือกแห้วเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

เมื่อทำการอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนเปรียบเทียบกับการใช้ตู้อบลมร้อน สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 1 ชั่วโมง และมีอัตราการลดลงของน้ำหนักได้เร็วกว่า 14.5% และมีอัตราการระเหยที่เร็วกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว เฉลี่ยที่ 28.81% และมีต้นทุนด้านพลังงานในการอบแห้งต่อกิโลกรัมต่ำที่ 2.28 บาทต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างจากการใช้งานตู้อบลมร้อนหรือตากแดดแบบดังเดิมดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบการอบแห้งแบบเดิมของกลุ่มผู้แปรรูปกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ด้าน	ใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน	ใช้ LPG	พลังงานแสงอาทิตย์
สี	สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงน้อยมาก	มีการเปลี่ยนแปลงของสีบ้างเนื่องจากความร้อนไม่ทั่วถึง	มีการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากแสงอาทิตย์มีผลต่อสี
อัตราการคืนตัว	มีการคืนตัวสูงการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกน้อย	มีการคืนตัวต่ำมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก	มีการคืนตัวต่ำมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก
ความชื้น	ความชื้นหลังการอบแห้งมีความสม่ำเสมอควบคุมได้	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ	ไม่สามารถควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์
อุณหภูมิ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีความสม่ำเสมอและใช้อุณหภูมิต่ำ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่ทั่วถึง	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับความเข้ม
เวลา	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีความแน่นอนและควบคุมได้สูง	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีความแน่นอนและควบคุมได้ต่ำ	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีความไม่แน่นอนและควบคุมไม่ได้
ต้นทุนด้านพลังงาน	2.28 บาทต่อกิโลกรัม	3.75 บาทต่อกิโลกรัม	-
ราคาเชิงพาณิชย์	พิกัด 5 กก. 87,000 บาท	พิกัด 5 กก. 85,000 บาท	-

5.2.3 ความก้าวหน้าในการจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร ที่เกิดขึ้นจากเครื่องต้นแบบอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ตารางที่ 5.3 สถานะความก้าวหน้าในการจดอนุสิทธิบัตร หรือสิทธิบัตร

ที่	ขั้นตอนการดำเนินการ	สถานะ การดำเนินการ
1	แบบพิมพ์คำขอรับสิทธิบัตรแบบ สป/สผ/อสป/001-ก	อยู่ระหว่างการดำเนินการ
2	รายละเอียดการประดิษฐ์	ดำเนินการเสร็จสิ้น
3	ข้อถือสิทธิ	ดำเนินการเสร็จสิ้น
4	รูปเขียน	ดำเนินการเสร็จสิ้น
5	บทสรุปการประดิษฐ์	ดำเนินการเสร็จสิ้น
6	คำรับรองเกี่ยวกับสิทธิขอรับสิทธิบัตร	ดำเนินการเสร็จสิ้น
7	จัดส่งให้สถาบันวิจัยและพัฒนาดำเนินการต่อในส่วนที่เกี่ยวข้อง	ดำเนินการเสร็จสิ้น

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยมีความต้องการต้องการสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน เพื่อใช้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบแห้งแบบใหม่นี้ให้กับกลุ่มผู้แปรรูปที่อยู่ในพื้นที่ รวมถึงหากมีผู้สนใจไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิตหรือผู้ที่ต้องการใช้งาน ก็สามารถนำความรู้ที่ได้จากเครื่องต้นแบบไปใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้ง ก็สามารถเพิ่มทางเลือกในสร้างอาชีพในการผลิตเครื่องจักรเพื่อในการแปรรูป ซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนาไม่ว่าจะเป็นการส่งเสริมผลิตภัณฑ์ในชุมชน หรือภาคอุตสาหกรรม อย่างยั่งยืนต่อไป แต่อย่างไรก็ตาม การสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกแห้ว ด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน ในครั้งนี้ ยังพบข้อค้นพบและข้อเสนอแนะดังนี้

- การสร้างเครื่องต้นแบบในลักษณะของการใช้เทคนิคการอบแห้งร่วมกัน 2 ชนิดนี้ อุปกรณ์บางอย่างเช่นคอมเพรสเซอร์ อินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในงานเชิงการทดลองหรือวิจัยซึ่งเป็นขนาดที่เล็กแตกต่างจากที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่มีขนาดที่ใหญ่ จึงต้องอาศัยการดัดแปลงอุปกรณ์บางอย่างเพื่อให้เครื่องทำงานได้

- วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร มีราคาสูง ควรพิจารณาใช้เฉพาะจุดที่สัมผัสหรือเกี่ยวข้องกับอาหารเพื่อลดต้นทุนการผลิต

- การใช้งานสนามไฟฟ้าในการอบแห้ง เป็นการแปลงจากกระแสแรงดันต่ำให้เป็นแรงดันสูง จึงต้องคำนึงด้านความปลอดภัยในการใช้งาน

- ลักษณะการทำงานของการสร้างแรงดันของสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ ที่ใช้ในการอบแห้งต้องทำการวิเคราะห์และทดลองกับวัตถุดิบที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อค่าที่เหมาะสมในการติดตั้ง ดังนั้นหากมีการนำไปใช้กับวัตถุดิบชนิดอื่นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบและติดตั้งเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดเสมอ

บรรณานุกรม

[1] องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุพรรณบุรี, 2556, “ข้อมูลสังคมและเศรษฐกิจ จังหวัดสุพรรณบุรี.” หน้า 1-54.

[2] เชิญพร จันทรสนาม, สุพรรณิการ์ โกสุม และ อมรรัตน์ เจริญชัย. 2555. “การพัฒนาผลิตภณัฑ์แห้วทอดกรอบปรุงรส.” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์ ปีที่ 2. ฉบับที่ 1. หน้า. 54-63.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552, เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน, โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.

[4] G. Zhan, Lei. Pan, Shu. Mao, W. Zhang, Y. Wei and K. Tu. 2014. “Study on antibacterial properties and major bioactive constituents of Chinese water chestnut (Eleocharis dulcis) peels extracts/fractions” Journal of Food Science. p. 789-796.

[5] G. Zhan, Lei. Pan, K. Tu and S. Jiao. 2016. “Antitumor, Antioxidant, and Nitrite Scavenging Effects of Chinese Water Chestnut (Eleocharis dulcis) Peel Flavonoids.” Journal of Food Science. Vol. 81, No. 10, p. 2578-2586.

[6] Y. Yanli, Xu. Duan , Xi. Wei , X. Su , M. Zhao , J. Sun , N. Ruenroengklin and Yu. Jiang. 2007. “Identification of major phenolic compounds of Chinese water chestnut and their antioxidant activity.” PubMed, Vol. 25, No. 4

[7] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2549. “ข้อกำหนดและความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร.” เล่มที่ 123. หน้า. 1-37.

[8] ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. " เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน: การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน."วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 35. ฉบับที่ 2, หน้า. 269-283.

[9] W. Cao, Y. Nishiyama, S. Koide and Z.H. Lu. 2004. " Drying Enhancement of Rough Rice by an Electric Field. " Biosystem Engineering, Science Direct. vol. 87. p. 445-451.

[10] ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, สันติ สุดเฉลียว และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. 2552. "การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแครอทอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า." Agricultural Sci. ฉบับที่ 40. หน้า. 473-476.

[11] Nikolai Lebovka, Nikolai Shynkaryk and Eugene Vorobiev. 2007. "Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue." Journal of Food Engineering, Science Direct. vol. 78. p. 606-613.

[12] วิสุทธิ์ ตันติรุ่งเรือง. 2554. " เทคนิคการลดความชื้นในอากาศด้วยสนามไฟฟ้า." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[13] T. Jongjaipak, S. Wiriyaumpaiwong and J. Laohavanich. 2014. " Electric field enhancement of macadamia drying." Journal of Food, Agriculture & Environment. vol. 12. p. 114-117.

[14] อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล, ณัฐพล ภูมิสะอาด, ละมุล วิเศษและประสิทธิ์ โสภา. 2555. "การศึกษาความเป็นไปได้ของสภาวะการอบแห้งด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์." Journal of Science and TechnologyMSU. vol. 32, No. 4, p. 494-498.

[15] วิสุทธิ์ ตันติรุ่งเรือง และ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล. 2553. "เทคนิคการควบคุมการลดความชื้นในอากาศด้วยสนามไฟฟ้า." EECON 33.

[16] Kreewatcharin, T., Chaktranond, C., and Rattanadecho, P. (2010). “Effects of electrode arrangement on the combined Hot-Air flow and electric field drying.” The 24th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand. Ubon ratchathani, Thailand: TSF 60.

[17] ธัชพงศ์ กรีวัชรินทร์, ไชยณรงค์ จักรธรานนท์, สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2554. “การวิเคราะห์การเพิ่มการพาความร้อนและการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งโดยใช้อิเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. กระบี่. TSF 21.

[18] เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2555, “การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน” รายงานการวิจัย, เงินอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

[19] อัญชณา อุประกูล, จรัญ คนแรง, ไพโรจน์ ด้วงนคร, 2558, “การอบแห้งผักตบชวาโดยใช้ระบบปั๊มความร้อน” สักทอง: วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2558, หน้า 35 – 39

[20] ศิวะ อัจฉริยวิริยะ, เมธาวุฒิ โชติสวัสดิ์, 2550, “การเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่มีเครื่องอัดไอชนิดความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงกับชนิดความเร็วคงที่” การประชุมเครือข่ายเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, ENET2550-037

[21] นพรัตน์ อมัติรัตน์, 2554, การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD 22, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[22] สำรวย สังข์สะอาด. " หนังสือวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง " พิมพ์ครั้งที่ 1 เมษายน 2547

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14

E-NETT 14
14th Conference On Energy Network of Thailand
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
Modern Energy for Smart City
พลังงานยุคใหม่สู่การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ
13 - 15 มิถุนายน 2561 ณ โนโวเทล ระยอง
สาขาบทความการนำเสนอผลงานวิจัย
พลังงานทดแทน (Renewable energy)
การอนุรักษ์และการจัดการพลังงาน (Energy conservation and management system)
นโยบายด้านพลังงาน (Energy policy)
นวัตกรรมด้านพลังงาน (Energy Innovation)
เทคโนโลยีด้านการสะสมพลังงาน (Energy Storage Technology)
ระบบพลังงานอัจฉริยะเพื่อ... (Smart Energy for ...)
- ชุมชน (Community)
- ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle)
- เมืองใหญ่ (City)
กำหนดการส่งบทความวิชาการ
ส่งบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ 17 เม.ย. 61
วันตอบรับบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ 30 เม.ย. 61
วันส่งบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ (ฉบับแก้ไข) 12 พ.ค. 61
วันชำระเงินค่าลงทะเบียน 12 พ.ค. 61
ติดต่อสอบถามได้ที่
ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี
02-5493497
enett14.2018@gmail.com
http://www.e-nett.org

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน

Designing Chestnut Peel Dryer by Heat Pump

เอกชัย รัตนบรรลือ[1*], สมบัติ ก้ำมอญ[1] และ นิรันดร์ วัชโรดม[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

*: aekchai.r@rmutsb.ac.th, 035-504043

EI-04-054

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน โดยการออกแบบเครื่องอบแห้งที่ปริมาณเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัม เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาดปริมาตรภายใน 70 x 70 x 110 cm^3 ชั้นถาดบรรจุถาดขนาด 60 x 60 cm^2 จำนวน 5 ถาด อัตราของอากาศที่หมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง 0.156 kg_a/s อัตราของอากาศที่เข้าเครื่องระเหย 0.0312 m^3/s ขนาดของเครื่องระเหย 1.525 kW ขนาดของเครื่องควบแน่นด้านใน 0.811 kW ขนาดของเครื่องควบแน่นด้านนอก 1.669 kW ขนาดของเครื่องอัดไอ 0.93 kW แล้วนำไปทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45, 50 และ 55 องศาเซลเซียส สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยคงที่ ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเริ่มต้นของเปลือกแห้วอยู่ที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อบจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งและการใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้งน้อยมาก โดยที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นก็จะทำให้มีอัตราการแห้งของเปลือกแห้วเร็วขึ้น แต่ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงการใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 ℃ จะมีค่าพลังงานจำเพาะของการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 0.73 MJ/kg_w คิดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 0.95 kW.hr ต่อ ชั่วโมง

คำหลัก: เครื่องอบแห้ง, ปั๊มความร้อน, เปลือกแห้ว

Abstract

This paper aims investigated of design Chestnut Peel dryer by heat pump. The design of the dryer was 5 kg of chestnut peels. The dryer consists of a volume chamber 70 x 70 x 110 cm^3 and 60 x 60 cm^2 tray with 5 trays. The rate of air circulation within the dryer is 0.156 kg_a / s. The rate of air entering the evaporator is 0.0312 m^3 / s. The size of the evaporator is 1,525 kW and size of the condenser inside 0.811 kW, and size of the condenser outside 1.669 kW the compressor is 0.93 kW. The experimental to find the efficiency of the dryer at 45, 50 and 55 ℃ .The evaporation rate of the evaporation evaporator is constant at 60 percent. The initial moisture content of the chestnut peel is about 80 percent wet basis. Bake until the final moisture is about 20 percent wet basis. The results showed that the drying air temperature had an effect on the drying rate and The specific energy consumption of drying is smallest by increasing the drying air temperature, the drying rate of the chestnut peels is increased. And the temperature drying at 45 ℃ had lowest specific energy consumption of drying was 0.73 MJ/kg_w. Drying with energy consumption of 0.95 kW.hr per hour.

Keywords: Dryer, Heat Pump, Chestnut Peel.

1. บทนำ

จังหวัดสุพรรณบุรีมีรายได้จากเกษตรกรรมเป็นรายได้หลัก โดยพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี คือ ข้าว, อ้อย, มะม่วงและ แห้วจีน เนื่องจากแห้วจีนสามารถปลูกและได้ผลผลิตดีเพียงแห่งเดียวในประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากแห้วจีนเป็นพืชที่ เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีลักษณะพิเศษคล้ายชั้นดินดานลึกประมาณ 50-70 เซนติเมตร ซึ่งดินลักษณะนี้พบได้ที่เขตอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี จากข้อมูล ปี 2553-2556 [1] จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ปลูกแห้วจีนทั้งสิ้นประมาณ 9,517 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 16,785 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 109.10 ล้านบาท มีผลผลิตเฉลี่ย 4,034 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เนื่องจากแห้วจีนให้ผลผลิตในปริมาณที่สูง และมีสภาวะล้นตลาดในช่วงเดือนพฤศจิกายน– ธันวาคม ของทุกปี จากสภาวะการล้นตลาดทำให้ราคาแห้วจีนตกต่ำลง

แต่ปัญหาสำคัญในกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตแห้วจีน คือ หลังจากกระบวนการปอกเปลือกแห้วจีนเพื่อจำหน่ายเนื้อแห้วแล้วนั้น ส่งผลให้มีเปลือกแห้วจีนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลภาวะแวดล้อมทางกลิ่น จึงทำให้เกิดความสนใจ และได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น เช่น 1. การศึกษาคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียที่สำคัญของสารสกัดจากเปลือกแห้วจีน [2] พบว่าสารเอธิลอะซิเตทที่ได้จากการสกัดจากเปลือกแห้วจีนมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้ 3 ชนิด ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษในมนุษย์ คือ Staphylococcus aureus, Escherichia coli และ Listeria monocytogenes 2. การศึกษาสารฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้จากเปลือกแห้วจีน [3] ซึ่งมีผลต่อการต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการทำลายไนไตรท์ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง พบว่า สารฟลาโวนอยด์ สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของเซลล์มะเร็งปอดในมนุษย์ได้ 3. ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบฟีนอลในเปลือกของแห้วจีน [4] พบว่า สารสกัดฟีนอลช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดไลโนเลอิก โดยใช้การวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH assay ซึ่งการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบ ฟีนอล ในเปลือกแห้วจีนมีฤทธิ์สำหรับการต้านอนุมูลอิสระและอาจเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปผลิตยาในทางการแพทย์ต่อไป จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เราสามารถใช้ประโยชน์จากการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ แต่ในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง นั่นคือการลด

ความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity: Aw) ต่ำกว่า 0.60 ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [5] ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดและความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ทราบว่าความชื้นมีผลต่อการเก็บรักษาสินค้าเกษตรและอาหาร จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษากระบวนการลดความชื้นและนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถนำเอาพลังงานมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ไม่ขึ้นกับสภาพอากาศภายนอก ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ ใช้พลังงานน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบอื่นๆ และจากการทบทวนวรรณกรรมยังพบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนยังส่งผลการการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์ต่ำและมีอัตราการคืนรูปที่สูง จึงเป็นที่มาของโครงงานวิจัยนี้ ในการสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วแบบปั๊มความร้อน จุดประสงค์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกแห้วจีน เพราะจากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่พบว่าแห้ว 1 ตัน น้ำหนัก 15 กิโลกรัมพบว่าเมื่อมีการปอกเปลือกเพื่อทำการแปรรูปจะเป็นส่วนของเนื้อ 8 กิโลกรัม และเป็นเปลือก 7 กิโลกรัม และกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี มีการนำเปลือกแห้วมาทำให้แห้งเพื่อแปรรูปเป็นชาเพื่อจำหน่าย จึงมีแนวคิดสร้างเครื่องอบแห้งดังกล่าว เพื่อพัฒนาและแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรรูปแบบใหม่ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น และในเชิงอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน
- เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง [6] คือการให้พลังงานความร้อนแก่วัสดุอบแห้ง เพื่อระเหยน้ำในวัสดุ หรือลดปริมาณความชื้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผัก , ผลไม้ และ เนื้อสัตว์ต่างๆ จะไม่ใช้วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ ความชื้นในวัสดุ ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและเมล็ดพืชมีทั้งความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้น นี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กๆ (Capillaries) ที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในเนื้อวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 1 ซึ่งการแสดงความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในทางการค้า

$$M_w = \frac{w - dx100}{w} \quad (1)$$

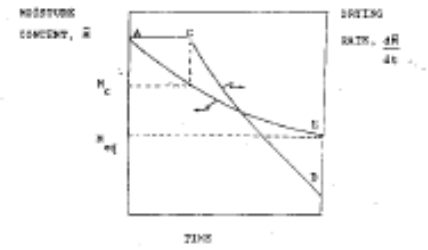
เมื่อ M_w – เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก
w – น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น, kg
D – น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังจากสมการที่ 2 การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านงานวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของวัสดุคงที่

$$M_d = \frac{w - dx100}{d} \quad (2)$$

เมื่อ M_d – เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง
w – น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น, kg
D – น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

ปรากฏการณ์การอบแห้ง (Drying phenomena) วัสดุจากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นลักษณะรูพรุน เมื่อทำการอบแห้งวัสดุเหล่านี้ที่สภาวะอากาศคงที่จะได้อัตราการอบแห้งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (AC) (Constant rate period) และ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) (CD) ดังแสดงในภาพที่ 1



รูปที่ 1 การลดความชื้นของวัสดุจากสิ่งมีชีวิตในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง

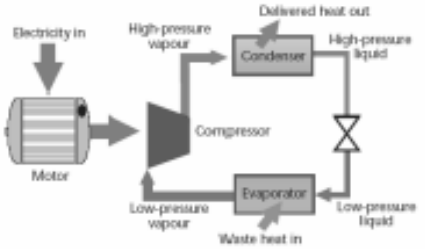
จากรูปที่ 1 จุด C คือจุดความชื้นวิกฤต (Critical Moisture Content) เป็นจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เป็นลดลง ซึ่งจุดความชื้นวิกฤตนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และสภาวะในการอบแห้ง ช่วง AC เป็นช่วงที่มีอัตราการอบแห้งคงที่ ระยะนี้ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าสูงกว่าจุดความชื้นวิกฤต ที่ผิวนอกของวัสดุ จะอยู่ในสภาพอิ่มตัวน้ำเคลื่อนที่จากภายในวัสดุมายังผิวเร็วพอๆ กับการระเหยของน้ำจากผิว การกระจายความชื้นที่ผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอ ความชื้นจะถูกพาออกไปโดยอากาศ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น วัสดุมีค่าความชื้นต่ำ เช่น พวกเมล็ดพืชจะมีระยะนี้สั้นมากหรือไม่มีเลย

จุด E คือจุดที่ปริมาณความชื้นสมดุลของวัสดุ ความชื้นของวัสดุมีค่าคงที่ทั้งนี้เนื่องจาก ความดันไอน้ำจากวัสดุมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำในบรรยากาศ ที่รอยวัสดุนั้น โดยที่ค่าความชื้นนี้จะ

ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ช่วง CD เป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง ระยะนี้ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำ ภายในท่อเล็กๆ ในเนื้อวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือ ไอน้ำ ได้ช้ามากและช้ากว่าการระเหยของน้ำจากผิว

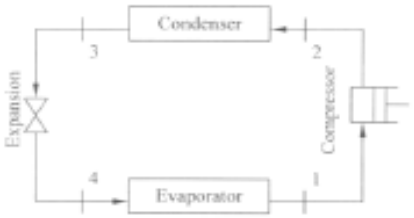
2.2 ปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อน [6] คือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งานอีกตำแหน่งหนึ่งโดยใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้ วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ ที่มีการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปในเครื่องปรับอากาศ ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อน ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน

กระบวนการการทำงานของปั๊มความร้อน [7] ระบบปั๊มความร้อนประกอบด้วย เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดันและเครื่องทำระเหย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาลีดา บรมพิชัยชาศิกุล [8] การทำแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหารที่สำคัญ โดยการลดความชื้นของอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลให้อาหารเสีย แต่การทำให้แห้งผลิตภัณฑ์นั้น มักพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหาร เช่น สี กลิ่น การหดตัวฯลฯ ดังนั้น การอบแห้งแบบผสมผสานเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่นำมาแก้ไขข้อบกพร่องของการทำแห้งในขั้นตอนเดียว การอบแห้งแบบผสมผสานอาจใช้เครื่องอบแห้งชนิดเดียวหรือต่างชนิดกันก็ได้ หรือเป็นการนำวิธีหรือข้อดีของการอบแห้งแบบต่างๆมาใช้ร่วมกัน เพื่อทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

อัญชญา อุประกูล [9] การอบแห้งผักตบชวาโดยใช้ระบบปั๊มความร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในกระบวนการไล่ความชื้นจากผักตบชวา เพื่อทดแทนการไล่ความชื้นแบบเดิมคือการตากแดด เพราะเครื่องอบแห้งโดยใช้ระบบปั๊มความร้อนสมรรถนะเวลาในการกำจัดความชื้นลงในทุกช่วงของสภาพอากาศ โดยใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr ใช้เวลาเพียง 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 °C ซึ่งหากใช้การตากแดดต้องใช้เวลาถึง 2 -3 วัน

เทวรัตน์ ทิพยวิมล [10] ศึกษาคุณภาพผักอบแห้งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาดปริมาตรภายใน 70x70x85 cm^3 ถาดอบแห้งขนาด 50x60 cm^3 จำนวน 10 ถาด โดยใช้ระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ 13,900 BTU/hr ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน มีอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ 0.51 m^3/s อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ทำการอบแห้งแครอท หอมสับ และ ข้าวโพดหวาน ตัวอย่างทดสอบละ 10 kg ที่ 45, 50 และ 55 °C พบว่าวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และเมื่อนำไปคืนตัวด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C โดยไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและ การคืนตัวมีค่าอยู่ในระดับดี

ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และคณะ [11] เปรียบเทียบถึงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนระหว่าง ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD กับ ปั๊มความร้อนระบบ BWF-HPD และใช้อบกล้วยน้ำว้าแผ่น ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-35 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ที่อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องระเหย 60 70 และ 80% ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบ 1.27 เมตรต่อวินาที อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องระเหยมีผลกระทบต่อสมรรถนะของ ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD เพียงเล็กน้อย และส่งผลกระทบต่อต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อนระบบ BWF-HPD ค่อนข้างมาก และยังพบว่า ปั๊มความร้อนแบบระบบ VSD-HPD มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่า

3. การดำเนินการทดลอง

3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน

ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน จากสมมติฐานตั้งต้น จากลักษณะของเปลือกแห้วจะมีลักษณะของโครงสร้างเป็น 2 ชั้น นั่นคือ ชั้นของเปลือกและ ชั้นของเนื้อแห้วที่ยังติดอยู่ที่เปลือก ดังนั้นในการคำนวณเพื่อออกแบบต่างๆจะคิดที่ ความชื้นสูงสุดก่อนอบแห้ง และ ต่ำสุดหลังอบแห้ง โดยพิจารณาการออกแบบ และ อบแห้งดังนี้

3.1.1 ขนาดของห้องอบแห้ง

การออกแบบเครื่องอบแห้งได้กระทำตามขอบเขตของงานวิจัยที่ตั้งไว้คือ กำหนดไว้ครั้งละ 5 kg ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวนำมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบขนาดของเครื่องอบแห้ง ด้วยถาดใส่วัตถุอบแห้งจำนวน 5 ถาด ถาดละ 1 kg กำหนดขนาดถาดคือ 60 x 60 cm.ความสูง 2 cm. และเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน ให้มีพื้นที่รอบๆถาดด้านละ 10 cm. ความสูงของระหว่างชั้นที่ไว้สำหรับวางถาด บนและล่าง ด้านละ 10 cm. รวมเป็น 22 cm. ต่อชั้น ดังนั้นความสูงรวมคือ 22 x 5 = 110 cm. ดังนั้นขนาดของเครื่องอบภายในคือ 70 x 70 x 110 cm^3

3.1.2 ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สำหรับอบแห้ง

เบื้องต้นกำหนดสมมติฐานจากความชื้นสูงสุดของเปลือกแห้วสดจะมีความชื้นที่ 80% M_w มีค่าความหนาแน่นที่ 350 kg/m^3 ดังนั้นหากบรรจุเปลือกแห้วต่อถาด 80% ของถาด จะได้ ปริมาณรวมที่ 350 kg/ m^3 x 0.6 x 0.6 x 0.008 m^3 = 1.01 kg/ถาด ดังนั้นหากเครื่องอบแห้งมีถาดอบแห้ง 5 ถาด จะได้สามารถทำการทดลองได้ที่ 1.01 x 5 = 5.05 kg/การอบ 1 ครั้ง ซึ่งเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดไว้

3.1.3 การออกแบบระบบปั๊มความร้อน

เนื่องจากลักษณะของเปลือกแห้วจะมีลักษณะของโครงสร้างเป็น 2 ชั้น นั่นคือ ชั้นของเปลือกและ ชั้นของเนื้อแห้วที่ยังติดอยู่เปลือกบ้าง ดังนั้นในการคำนวณเพื่อออกแบบขนาดของชุดระบบปั๊มความร้อนจะคิดที่ ความชื้นสูงสุดก่อนอบแห้ง และต่ำสุดหลังอบแห้ง โดยพิจารณาการออกแบบ และ อบแห้งภายในเงื่อนไขคือ 1. ความชื้นเริ่มต้น 80% M_w 2. ปริมาณเปลือกแห้ว 5 kg และ 3. ความชื้นสุดท้ายต่ำสุดที่ต้องการ 20% M_w จากเงื่อนไขดังกล่าวจะได้ขนาดต่างๆของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อนดังนี้

- ขนาดภายในของตู้อบมีขนาด 70 x 70 x 110 cm^3
- ขนาดของถาดอบแห้งคือ 60 x 60 cm.
- อัตราของอากาศที่หมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง 0.156 kg$_a$/s
- อัตราของอากาศที่เข้าเครื่องระเหย 0.0312 m^3/s
- ขนาดของเครื่องระเหย 1.525 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวใน 0.811 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวนอก 1.669 kW
- ขนาดของเครื่องอัดไอ 0.93 kW

3.2 ขอบเขตและข้อตกลงเบื้องต้นของการทดลอง

- สารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องอบแห้งคือ R-32
- เปลือกแห้วที่ใช้ในการทดลองคือ 5 kg ต่อ ครั้ง
- เครื่องอบแห้งมีจำนวนชั้นภายใน 5 ชั้น (1kg/ชั้น)
- เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 1 รอบคือ 8 ชั่วโมง
- อุณหภูมิที่ใช้ทดลองคือ 45°C, 50°C, และ55 °C
- อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องระเหยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ 60%
- การบันทึกผลการทดลองจะทำการบันทึกผลการทดลองชั่วโมงละ 1 ครั้ง

3.3 การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้ง

พลังงานจำเพาะของการอบแห้ง specific energy consumption of drying (SEC) สามารถหาได้จากสมการ

$$SEC = \frac{kW.hr \times 3.6}{kg_w} \quad (3)$$

เมื่อ SEC = พลังงานจำเพาะของการอบแห้ง, MJ/kg$_w$
kW.hr = พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอบใช้, kW.hr
kg$_w$ = น้ำหนักปริมาณของความชื้นที่ระเหย, kgw

รูปที่ 4 แสดงเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อนที่ออกแบบและสร้างขึ้น

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C

เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	SEC (MJ/kg$_w$
0	5		
1	3.844	76.88	1.64
2	2.683	53.66	0.82
3	1.895	37.90	0.61
4	1.464	29.28	0.54
5	1.277	25.54	0.51
6	1.105	22.10	0.49
7	1.046	20.92	0.48
8	0.944	18.88	0.47
เฉลี่ย			0.73

4.2 การทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C

ตารางที่ 2 ผลการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C

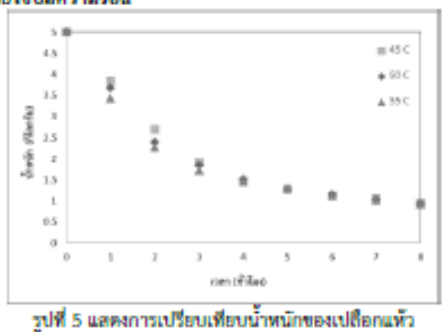
เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	SEC (MJ/kg$_w$
0	5	0	0
1	3.675	73.50	1.57
2	2.382	47.64	0.79
3	1.843	36.86	0.66
4	1.498	29.95	0.59
5	1.254	25.08	0.56
6	1.144	22.88	0.54
7	1.024	20.48	0.52
8	0.927	18.54	0.51
เฉลี่ย			0.75

4.3 การทดลองการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C

ตารางที่ 3 ผลการอบเปลือกแห้ว 5 กิโลกรัมด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C

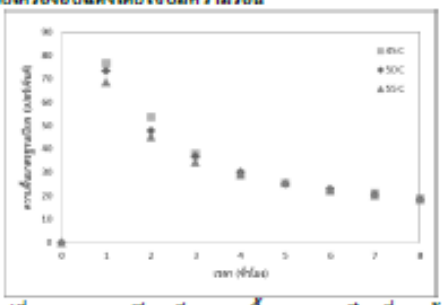
เวลา (hr)	น้ำหนัก (kg)	M_w (%)	SEC (MJ/kg_w
0	5	0	0
1	3.433	68.66	1.51
2	2.263	45.26	0.86
3	1.722	34.44	0.72
4	1.454	29.08	0.67
5	1.275	25.50	0.63
6	1.120	22.40	0.61
7	1.014	20.28	0.59
8	0.917	18.34	0.58
เฉลี่ย			0.80

4.4 น้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 45°C, 50°C, และ 55 °C

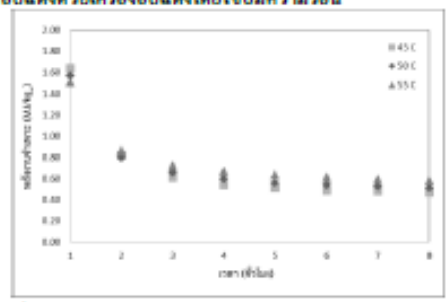
4.5 ความชื้นมาตรฐานเปียกของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานเปียกที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ45°C, 50°C, และ55 °C

จากรูปที่ 5 และ 6 แสดงผลการทดลองอบแห้งเปลือกแห้วจำนวน 5 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 - 55 °C พบความแตกต่างของความสามารถในการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์น้อยมาก โดยพบว่าที่ 1 – 4 ชั่วโมงของการอบแห้ง เครื่องอบแห้งสามารถดึงความชื้นได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากชั่วโมงที่ 4 เป็นต้นมาพบว่าอัตราการการระเหยของความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการอบแห้ง

4.6 การใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้งเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน



รูปที่ 7 แสดงการใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้งในเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 45°C, 50°C, และ55 °C

จากรูปที่ 7 พลังงานจำเพาะของการอบแห้งของเปลือกแห้วที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 45°C, 50°C, และ55 °C พบความแตกต่างของการใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้งในช่วง 1 – 3 ชั่วโมงแรกจะมีอัตราการใช้พลังงานที่สูงแต่เมื่อกระบวนการอบแห้งเลยจุดความชื้นวิกฤต (Critical Moisture Content) อัตราการใช้พลังงานจึงค่อยข้างคงที่และพบความแตกต่างน้อยมากซึ่งเป็นไปตามหลักการของการอบแห้ง

4.7 การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน ลักษณะการทำงานของปั๊มความร้อน มีเทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุมการทำงานในลักษณะตัดและต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ นั่นคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิใช้งานคอมเพรสเซอร์จะหยุดการทำงาน มีเพียงพัดลม เท่านั้นยังคงทำงานอยู่ และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงคอมเพรสเซอร์ก็จะเริ่มทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งอีกครั้ง จากหลักการทำงานดังกล่าวสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้ดังนี้

$$kW.hr = ((V \times I \times PF) / 1000) \times hr \qquad (4)$$

จากสมการที่ 3 จากการตรวจวัดค่าต่างๆในขณะที่เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อนทำงานเพื่อใช้ในการหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่า

แรงดันไฟฟ้า		220	Volt
กระแสเฉลี่ยช่วง On	7.03	Amp	
กระแสเฉลี่ยช่วง Off	2.876	Amp	
PF		0.85	
เวลาเฉลี่ยในช่วง On	32	min/hr	
เวลาเฉลี่ยในช่วง Off	28	min/hr	

ดังนั้นเมื่อคำนวณตามสมการที่ 3 จะได้ว่าพลังงานที่ใช้คือ 0.95 kW.hr ต่อ ชั่วโมง

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน

การออกแบบและสร้างและสร้างเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อนตามพิกัด 5 กิโลกรัม ได้ขนาดของเครื่องอบและอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

- ขนาดภายในของตู้อบจะมีขนาด 70x70x110 cm^3
- ขนาดของถาดอบแห้งคือ 60 x 60 cm. สูง 2 cm.
- อัตราของอากาศที่หมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง 0.156 kg_a/s
- อัตราของอากาศที่เข้าเครื่องระเหย 0.0312 kg_a/s
- ขนาดของเครื่องระเหย 1.525 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวใน 0.811 kW
- ขนาดของเครื่องควบแน่นตัวนอก 1.669 kW
- ขนาดของเครื่องอัดไอ 0.93 kW

5.2 ประสิทธิภาพการอบแห้งของเปลือกแห้วที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วโดยใช้ปั๊มความร้อน

- อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเปลือกแห้วคือ 50 °C พบว่าอัตราการลดลงของน้ำหนัก, อัตราการระเหยของน้ำและอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของการอบแห้งของต่อนข้างคงที่ โดยพบความแตกต่างของความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบ สีของผลิตภัณฑ์ และ คุณลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 ผลการทดลองน้อยมาก
- ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C มีค่าพลังงานจำเพาะของการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 0.73 MJ/kg_w
- อัตราการใช้พลังงานคือ 0.95 kW.hr ต่อชั่วโมง
- เวลาที่เหมาะสมของการอบแห้งอยู่ 4-6 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับความหนาและเนื้อแห้วที่ติดอยู่กับเปลือกแห้ว

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลการทดลองนี้ได้รับการสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ หน่วยนวัตกรรมเพื่อสังคมและชุมชน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และ กลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์แห้ว สตรีแม่บ้านอาสาสมัครสาธารณสุข (อส.ม.) ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ ด้านข้อมูล, วัตถุดิบ และความร่วมมือในหลายๆด้าน และขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ให้ความสะดวกในด้านสถานที่ เครื่องมือ และการสนับสนุน ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุพรรณบุรี, 2556, "ข้อมูลสังคมและเศรษฐกิจ จังหวัดสุพรรณบุรี." หน้า 1-54.

[2] G. Zhan, Lei. Pan, Shu. Mao, W. Zhang, Y. Wei and K. Tu. 2014. "Study on antibacterial properties and major bioactive constituents of Chinese water chestnut (Eleocharis dulcis) peels extracts/fractions" Journal of Food Science. p. 789-796.

[3] G. Zhan, Lei. Pan, K. Tu and S. Jiao. 2016. "Antitumor, Antioxidant, and Nitrite Scavenging Effects of Chinese Water Chestnut (Eleocharis dulcis) Peel Flavonoids." Journal of Food Science. Vol. 81, No. 10, p. 2578-2586.

[4] Y. Yanli, Xu. Duan , Xi. Wei , X. Su , M. Zhao , J. Sun , N. Ruenroengklin and Yu. Jiang. 2007. "Identification of major phenolic compounds of Chinese water chestnut and their antioxidant activity." PubMed, Vol. 25, No. 4

[5] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2549. "ข้อกำหนดและความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร." เล่มที่ 123. หน้า. 1-37.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552, เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน, โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.

[7] นพรัตน์ อมัตรัตน์, 2554, การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD 22, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[8] ชาลีดา บรมพิจิยชาศิกุล. 2555. " เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน: การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน."วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 35. ฉบับที่ 2, หน้า. 269-283.

[9] อัญชญา อุประกูล, จรัญ คนแรง, ไพโรจน์ ด้วงนคร, 2558, "การอบแห้งผักเตบชวาโดยใช้ระบบปั๊มความร้อน" สักทอง: วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2558, หน้า 35 – 39

[10] เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2555, "การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน" รายงานการวิจัย, เงินอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

[11] ศิวะ อัจฉริยวิริยะ, เมธาวุฒิ โชติสวัสดิ์, 2550, "การเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่มีเครื่องอัดไอชนิดความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงกับชนิดความเร็วคงที่" การประชุมเครือข่ายเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, ENET2550-037

ภาคผนวก ข.
การเอกสารประกอบการยื่นขอจดสิทธิบัตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
เลขที่รับ 0962
วันที่ ๒๔ พ.ค. ๒๕๖๑
เวลา 15.00 น.

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

VoIP: ๔๗๐๐๕

ที่ ศธ ๐๕๘๕.๐๙(๒) /- **วันที่** ๒๓ พฤษภาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอส่งข้อมูลเพื่อประกอบการขอจดสิทธิบัตร

เรียน คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ตามที่ ข้าพเจ้านายเอกชัย รัตนบรรลือ และคณะผู้วิจัย ได้รับ การอนุมัติ จาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ส.ก.ว.) และหน่วยนวัตกรรมเพื่อสังคมและชุมชน สถาบันวิจัยและพัฒนา ให้ดำเนินการโครงการวิจัย เรื่อง "เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน" ซึ่งคณะผู้วิจัย มีความประสงค์นำผลที่ได้จากโครงการวิจัยเรื่องดังกล่าว ไปขอรับการ จดสิทธิบัตร จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา ในชื่อผลงาน "เครื่องลดความชื้นเปลือกแห้วด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน" ซึ่งต้องดำเนินการผ่าน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ในการนี้เพื่อให้การขอรับการ จดสิทธิบัตร เรื่อง "เครื่องลดความชื้นเปลือกแห้วด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน" สำเร็จลุล่วง จึงขอส่งข้อมูลเพื่อประกอบการขอจดสิทธิบัตร เพื่อให้สถาบันวิจัยและพัฒนาดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องต่อไป ดังเอกสารแนบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(นายเอกชัย รัตนบรรลือ)
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เรียน คณบดี

ตามที่ อ. เอกชัย รัตนบรรลือ และคณะผู้วิจัย ได้รับอนุมัติทุนจาก สกว. และ สวพ ให้ดำเนินการวิจัย บัดนี้ได้ดำเนินโครงการวิจัยเสร็จสิ้นแล้ว มีความประสงค์ขอรับการจดสิทธิบัตร "เครื่องลดความชื้นเปลือกแห้วด้วยสนามไฟฟ้า ร่วมกับลมร้อน"

ในการนี้ เห็นควรจัดทำบันทึกเสนอ สวพ เพื่อดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

สุดารัตน์
24 พ.ค. 61

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ เครื่องลดความชื้นเปลือกแห้วด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมไฟฟ้าและเทคโนโลยีไฟฟ้า

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิยาการที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันแห้วจีนเป็นแห้วที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากมีหัวขนาดใหญ่ เนื้อมีสีขาว มีรสหวาน และมีประโยชน์ต่อร่างกาย จึงทำให้ผู้บริโภคหันมาสนใจสุขภาพและบริโภคเนื้อแห้วกันเพิ่มขึ้น และแห้วจีนนั้น มีประโยชน์มากมายสรรพคุณหลายด้าน อาทิ ช่วยต้านตับอักเสบ ต้านเชื้อแบคทีเรีย ช่วยบำรุงร่างกาย ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด บรรเทาโรคเบาหวาน แก้กระหายน้ำ กระตุ้นการย่อยอาหาร ช่วยลดไข้ แก้อาการร้อนใน ช่วยขับน้ำนม ช่วยสมานแผลในระบบทางเดินอาหาร กระตุ้นการอยากอาหารในเด็ก ช่วยแก้อาการไอ ช่วยแก้อาการท้องผูก ช่วยแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน แก้อาการเมาสุรา ช่วยบรรเทาอาการโรคริดสีดวง ช่วยแก้อาการพิษของทองแดง แก้อาการหัด เป็นต้น แต่ปัญหาที่สำคัญในกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตแห้วจีนคือหลังจากกระบวนการปอกเปลือกเพื่อจำหน่ายเนื้อแห้ว ส่งผลให้มีเปลือกแห้วจีนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากซึ่งจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องของกลิ่นได้ จึงมีหน่วยงานต่างๆให้ความสนใจและศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เราสามารถใช้ประโยชน์จากการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้แต่ในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งนั้นคือการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้และในปัจจุบันได้มีการศึกษากระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยกันอยู่หลายวิธี

ในวิธีที่ 1.การทำแห้งไมโครเวฟ เป็นการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (อนุสิทธิบัตรเลขที่ 11274) โดยการใช้งานจากงานวิจัยNattapolPoomsa, LamulWiset(2558)ได้รายงานว่าการลดความชื้นโดยหลักการไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส กำลังของไมโครเวฟ 300, 450 และ 600 วัตต์ การเพิ่มขึ้นของพลังงานไมโครเวฟ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศา สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุด แต่ใช้พลังงานในการใช้งานสูง 2.การใช้ความร้อนจากแสงของรังสีพระอาทิตย์ ในการอบแห้ง ทำงานในระบบปิด อาศัยหลักการสภาวะเรือนกระจก (สิทธิบัตรไทยเลขที่ 133746) โดยไม่มีการใช้พลังงานจากภายนอกแต่การลดความชื้นโดยวิธีนี้ต้องอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์จึงมีข้อจำกัดในการใช้งานจากสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติเช่น ฤดูฝนหรือเวลากลางคืน 3. รศ.ดร.บุญมี ศิริ,2550(อนุสิทธิบัตรเลขที่ 3465)ได้รายงานว่าการใช้ลมร้อนในการลดความชื้น สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยระบบลมแห้งในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส เมล็ดพันธุ์มีความชื้นลดลงต้องการสม่ำเสมอ และลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้หลายชนิดครั้งละ 40-60 กิโลกรัม แต่ต้องใช้ระยะเวลาถึง 10-12 ชั่วโมง 4. Ya-xiang BAI et

al.(2008) การลดความชื้นโดยใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง(DC) ที่แรงดันเท่ากับ 45 kv การระเหยอยู่ที่ 42 % อุณหภูมิอยู่ที่ 60 องศา มีความชื้นภายนอก 15 องศา ในเวลาหนึ่งชั่วโมง สามารถลดความชื้นได้ 65.3% เท่ากับ 6.2% ของความชื้นทั้งหมด

ด้วยวิธีดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการประดิษฐ์เครื่องลดความชื้นของเปลือกแห้วจีนโดยอาศัยหลักการสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนเพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพของการลดความชื้น

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

ในการประดิษฐ์เครื่องลดความชื้นจึงมีแนวคิดที่จะนำหลักการของสนามไฟฟ้ามาลดความชื้นร่วมกับหลักการของลมร้อน โดยสนามไฟฟ้าที่สร้างมาจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ด้วยอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้คุ้มค่าต่อการลดความชื้นมากที่สุด เพื่อลดการเกิดการเผาไหม้ เพื่อสร้างมูลค่า และเพื่อลดปริมาณขยะจากเปลือกแห้ว

การเปิดเผยสิ่งประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

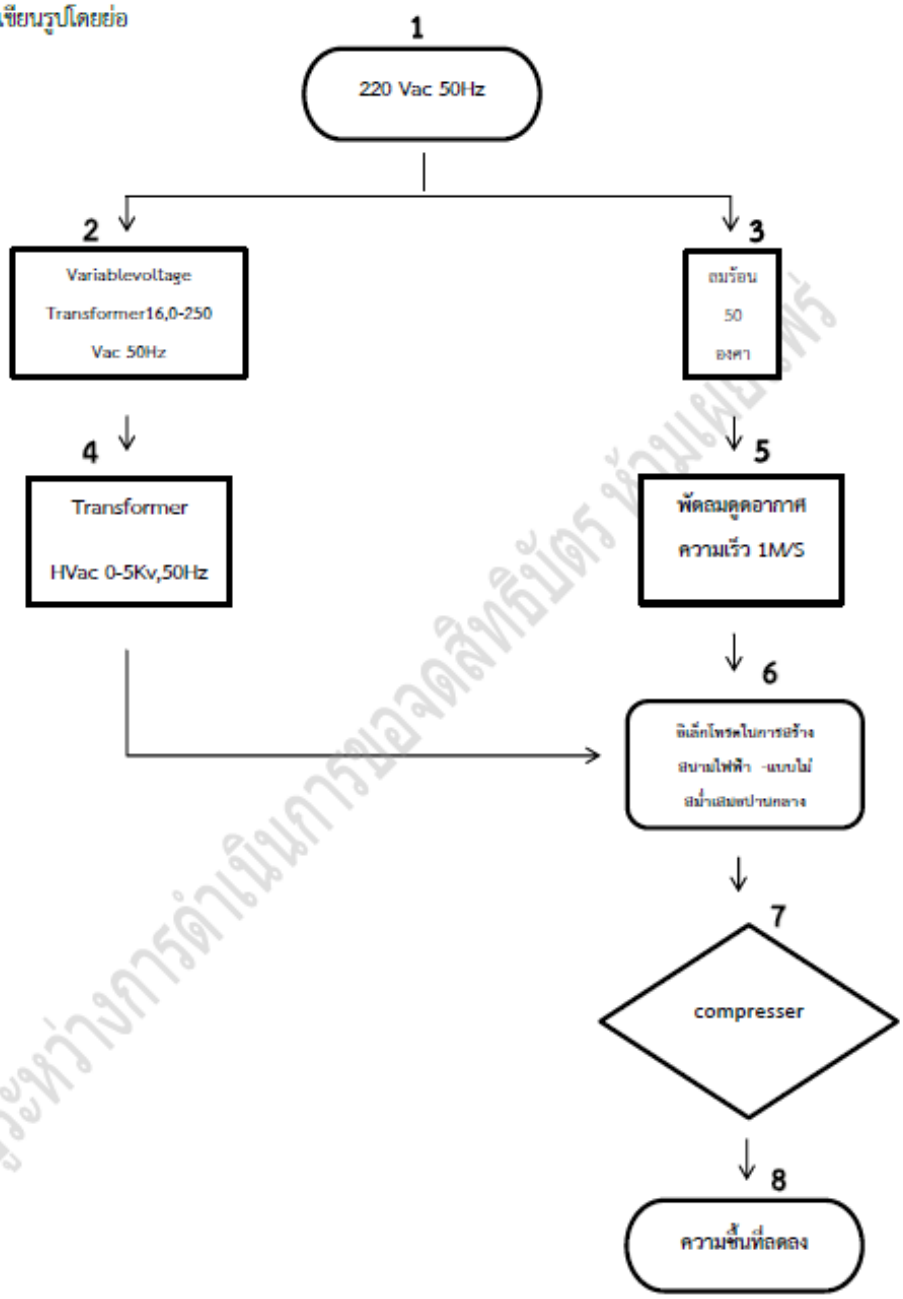
จากภาพที่1 ไดอะแกรมชุดเครื่องทดลองการลดความชื้นของเปลือกแห้ว หมายเลขที่1. แหล่งจ่ายที่ 220 Vac, 50Hz จ่ายไปยัง หมายเลข 2. ทำหน้าที่ ปรับแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับ 0-5kVac, 50Hz เพื่อส่งให้หม้อแปลงแรงดันสูง หมายเลข 3.ทำหน้าที่สร้างลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หมายเลขที่4. หม้อแปลงไฟฟ้า(step up) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรด ในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลาง หมายเลข5.พัดลมดูดอากาศ จะทำหน้าที่ในการดูดลมร้อนจากหมายเลขสามเพื่อส่งไปหมายเลขหก หมายเลขที่6. เปลือกแห้วจีนที่กำลังอยู่ในกระบวนการลดความชื้นโดยสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน หมายเลขที่7. คอมเพรสเซอร์ จะทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากเครื่อง หมายเลขที่8. ผลเปลือกแห้วจีนในการลดความชื้นโดยใช้หลักการสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางร่วมกับลมร้อนและวัดค่าความชื้นของเปลือกแห้วจีน จึงได้เปลือกแห้วจีนที่ผ่านการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางร่วมกับลมร้อน

ข้อถือสิทธิ์

เครื่องลดความชื้นเปลือกแห้วจีนโดยที่มีการสร้างสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางจากอิเล็กโทรดแบบพันขดลวดและระนาบ ใช้งานร่วมกับลมร้อน 50 องศาเซลเซียส แบบทิศทางเดียว

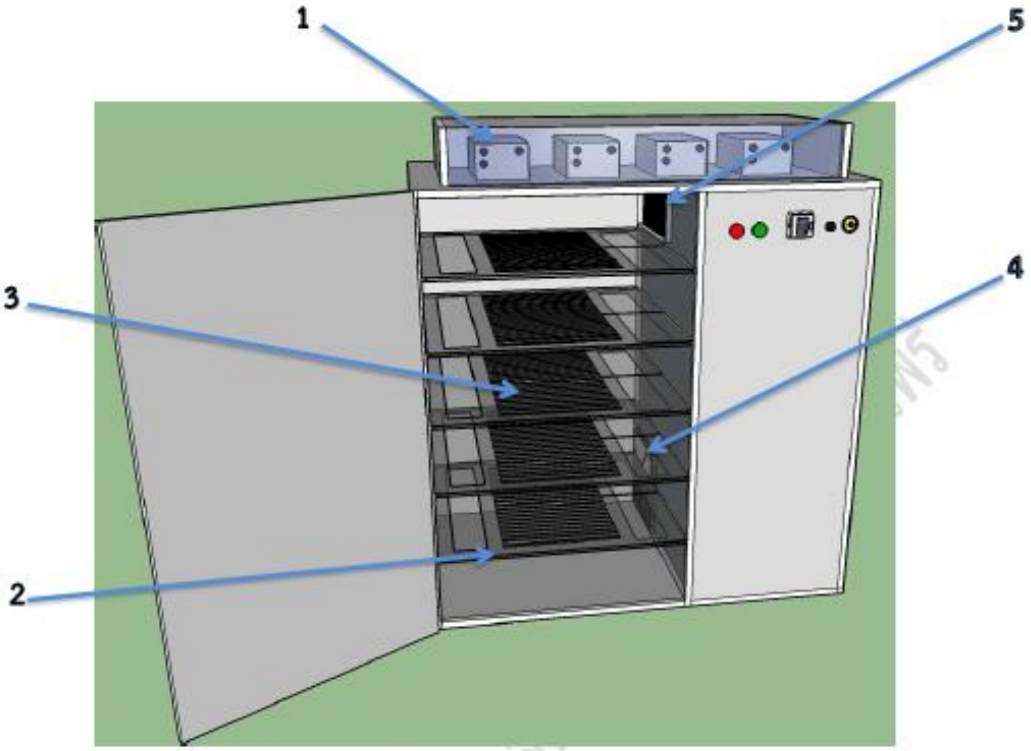
อยู่ระหว่างการดำเนินการของสำนักงานทรัพย์สินทางปัญญา ห้ามเผยแพร่

คำอธิบายเขียนรูปโดยย่อ

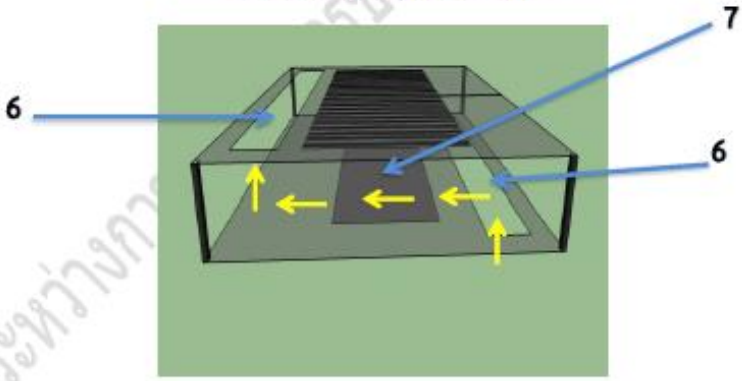


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมชุดเครื่องทดลองการลดความชื้นของเปลือกแห้ว

อยู่ระหว่างการดำเนินการขอจดสิทธิบัตร ห้ามเผยแพร่



ภาพที่ 2 โครงสร้างการทำงานของเครื่อง



ภาพที่ 3 ลักษณะการทำงานของอิเล็กโทรด

1.หม้อแปลงแรงดันสูง	5.ช่องลมร้อน(ออก)
2.แผ่นอะคิลิค	6.รูทางเดินลม
3.แผ่นสแตนเลสพันด้วยขดลวด	7.แผ่นสแตนเลส
4.ช่องลมร้อน(เข้า)	

บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องลดความชื้นเปลือกแห้วด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน 50 องศา ทิศทางเดียว โดยอิเล็กโทรดที่ใช้เป็นแบบขดลวดและระนาบเพื่อความสม่ำเสมอของผิวผลิตภัณฑ์แห้วจีนในการลดความชื้นภายใต้สนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน จากคุณสมบัติของสนามไฟฟ้าเมื่อโมเลกุลภายใต้สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำหรือที่เรียกว่าความชื้นเคลื่อนตัวออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นโดยไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายเนื่องจากสนามไฟฟ้าไม่มีความร้อน น้ำที่เคลื่อนตัวออกมาเมื่อใช้ร่วมกับลมร้อนแล้วสามารถเอาความชื้นออกจากระบบได้ดีขึ้น เครื่องลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าเครื่องลดความชื้นที่ใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวและสามารถลดระยะเวลาในการลดความชื้นได้และสนามไฟฟ้าใช้พลังงานในการสร้างน้อยกว่าไมโครเวฟซึ่งทำให้เครื่องลดความชื้นที่ใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนประหยัดพลังงานกว่าเครื่องลดความชื้นแบบไมโครเวฟกับลมร้อนด้วยในด้านพลังงาน

อยู่ระหว่างการดำเนินการขอลิขสิทธิ์บัตร ห้ามเผยแพร่

ภาคผนวก ค.
ตารางเปรียบเทียบแผนการดำเนินงานและผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ของกิจกรรม	กิจกรรม	ผู้เกี่ยวข้อง	จำนวนวันที่ใช้	สถานะการดำเนินการ
1 ศึกษาค่าพลังงานของสนามไฟฟ้าลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม ที่เหมาะสมต่อความชื้นในเปลือกแห้ว	1) รวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้แปรรูปทั้งในเรื่องของปริมาณ วิธีการที่ใช้และคุณภาพที่กลุ่มผู้แปรรูปทำได้	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์	30	ดำเนินการแล้ว
	2) ออกแบบ และสร้างอิเล็กโทรดเพื่อหาพารามิเตอร์ในการใช้งานพร้อมทั้งออกแบบชุดปั๊มความร้อนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	1)อ.สุธี 2)อ.ชิดชนก 3)อ.กิตติพงษ์	30	ดำเนินการแล้ว
	3) ทำการทดลองที่ 1		30	ดำเนินการแล้ว
	4) ทำการทดลองที่ 2	1)อ.เอกชัย 2)อ.สมบัติ 3)ดร.นิรันดร์	30	ดำเนินการแล้ว
2 ศึกษาประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนต่อความชื้นในเปลือกแห้ว	1) การทดลองที่ 3	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์	60	ดำเนินการแล้ว
3 สร้างสร้างเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง พร้อมจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรและบทความวิชาการหรือบทความวิจัยในวารสารสืบเนื่องระดับชาติหรือ	1) วิเคราะห์ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการในการทดลองที่ 1-3 2) ออกแบบเครื่องต้นแบบอบเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อนจากผลการทดลองขนาดพิกัด 5 กิโลกรัม 3) ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบอบ	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์ 7)ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	120	ดำเนินการแล้ว

นานาชาติ1 บทความ	เปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน			
วัตถุประสงค์ของกิจกรรม	**กิจกรรม**	**ผู้เกี่ยวข้อง**	**จำนวนวันที่ใช้**	**สถานะการดำเนินการ**
	4) ดำเนินการจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์	-	ดำเนินการแล้วและอยู่ระหว่างการดำเนินการระหว่างมหาวิทยาลัยและกรมทรัพย์สินทางปัญญา
	5) เผยแพร่บทความวิชาการหรือบทความวิจัยในการประชุมระดับชาติหรือนานาชาติ	1)อ.เอกชัย 2)อ.สุธี 3)อ.สมบัติ 4.อ.ชิดชนก 5)อ.กิตติพงษ์ 6)ดร.นิรันดร์	30	ดำเนินการแล้ว การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
4 สรุปส่งเล่มรายงาน	1.สรุปผลการดำเนินการทั้งโครงการและสรุปเล่ม		30	ดำเนินการแล้ว

ภาคผนวก ง.
เครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพภายนอกเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า
ร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพภายนอกเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า
ร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพภายนอกเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า
ร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพภายในเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า
ร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพภายในเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า
ร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพภายในเครื่องอบแห้งเปลือกแห้วด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า
ร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพเปลือกแห้วอบแห้งที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งเปลือกแห้ว
ด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาพเปลือกแห้วอบแห้งที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งเปลือกแห้ว
ด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับปั๊มความร้อน

ภาคผนวก จ.
ประวัตินักวิจัย

<u>หัวหน้าโครงการ</u>

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) **:** นายเอกชัย รัตนบรรลือ

(ภาษาอังกฤษ) **:** Mr.Aekchai Rattanabanlue

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) **:** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) **:** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 035-504043 **โทรสาร** 035-504043

โทรศัพท์มือถือ 084-217-270 **E-mail :** aekchai.r@rmutsb.ac.th

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 084-217-270 **โทรสาร** 035-504043

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2554	ปริญญาโท	ค.อ.ม	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2549	ปริญญาตรี	ค.อ.บ	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

งานวิจัยที่รับผิดชอบ *(กำลังดำเนินงาน) (ชื่อโครงการ แหล่งทุน และระยะเวลาดำเนินการ)*

- โครงการถ่านอัดแท่งจากเปลือกแห้วจีน, เปลือกกระจับ และเศษถ่านไม้ ภายใต้แผนงานวิจัยการแปรรูปขยะจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร(เปลือกแห้วจีน)เป็นพลังงานทดแทน พื้นที่อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี แหล่งทุนวิจัย กองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ระยะเวลาดำเนินการ ปีงบประมาณ 2558 – 2559 (ขยายเวลา)

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับชาติ และระดับนานาชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

[1]Niran watchrodom ,Aekchai Rattanabanlue " **Solar attic temperature evaluated by a mathematical model.**" The 5 th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture Eco Buildings Innovation and Indoor Air Quality Bangkok, 27-29 September,2016

[2] Aekchai Rattanabanlue ,Niran watchrodom, "**Experimental Investigation Efficiency of Air Conditioning**

System Use Thermal Energy By Thermal Storage System." The 5 th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture Eco Buildings Innovation and Indoor Air Quality Bangkok, 27-29 September, 2016

[3] พิเชษฐ์ พินิจ, ทวีวัฒน์ สุภารส, เอกชัย รัตนบรรลือ, และ จำรัส กิ่งสวัสดิ์, "**การออกแบบระบบกักเก็บพลังงานความร้อนแบบเปลี่ยนเฟสสำหรับระบบปรับอากาศ**", การประชุมวิชาการระดับชาติ "ม.อบ.วิจัย ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2551, หน้า 275 – 282.

[4] เอกชัย รัตนบรรลือ, ทวีวัฒน์ สุภารส, อนุศิษฏ์ อันมานะตระกูล, 2553, "**สมรรถนะระบบปรับอากาศร่วมกับระบบกักเก็บความร้อนด้วยสารพาราฟิน** ", การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7, วันที่ 7-8 ธันวาคม 2553, หน้า 123 – 124.

[5] เอกชัย รัตนบรรลือ, อนุศิษฏ์ อันมานะตระกูล, ทวีวัฒน์ สุภารส, 2555, "**ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานความร้อนจากระบบกักเก็บพลังงานความร้อน**", การประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย", มหาวิทยาลัยนเรศวร ครั้งที่ 4, วันที่ 12-13 มีนาคม 2555, หน้า 207 – 211.

[6] เอกชัย รัตนบรรลือ, จีรัฐติกุล กล้าหาญ, 2559, "**การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดย การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์**" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 วันที่ 8-10 มิถุนายน พ.ศ.2559

<u>นักวิจัยร่วมโครงการ (1)</u>

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) **:** นายสุธี ลี้จงเพิ่มพูน

(ภาษาอังกฤษ) **:** Mr. Sutee Leejongpermpoon

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) **:** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) **:** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 035-504043 **โทรสาร** 035-504043

โทรศัพท์มือถือ 094-495-6151 **E-mail :** sutee509@hotmail.com

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : 177 ถ.พรหมเทพ อ.เมือง จ.อุบลราชธานี

โทรศัพท์ 045254859 **โทรสาร** -

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
ปัจจุบัน	กำลังศึกษาระดับปริญญาเอก	วศ.ด	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2554	ปริญญาโท	วศ.ม	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2548	ปริญญาตรี	วศ.บ	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	ไทย

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

- หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

- ประธานหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า

งานวิจัยที่รับผิดชอบ *(กำลังดำเนินงาน) (ชื่อโครงการ แหล่งทุน และระยะเวลาดำเนินการ)*

1) ผู้ร่วมวิจัยโครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องต้นแบบลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางร่วมกับลมร้อน แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ระยะเวลา ตุลาคม 59 – กันยายน 60

2) หัวหน้าโครงการวิจัย ชุดจักรยานโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย แหล่งทุน กองทุนส่งเสริมงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

3) หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนากระบวนการแปลงเพศในกุ้งก้ามกรามด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับฮอร์โมน 17- อัลฟา เมธิลเทสโทสเตอโรน แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ระยะเวลา ตุลาคม 60 – กันยายน 61 (อยู่ระหว่างรอพิจารณาข้อเสนอโครงการ)

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับชาติ และระดับนานาชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

[1] S. Leejongpermpoon, 2014. " **Study on the Effect of Ultraviolet Light to Reduce Ozone Concentration**." 6th RMUTNC & 5th RMUTIC, Thailand.

[2] สุธี ลี้จงเพิ่มพูน, 2557. "**การศึกษาผลของแสงอัลตราไวโอเลตที่มีต่อความเข้มก๊าซโอโซน.**" **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 6

[3] สุธี ลี้จงเพิ่มพูนและ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, 2553. "**การศึกษาผลของสนามไฟฟ้าต่อการลดก๊าซมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์.**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33, ธันวาคม.

[4]สุธี ลี้จงเพิ่มพูนและ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, 2554."**การศึกษาผลของสนามไฟฟ้าในการลดก๊าซมลพิษที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง.**"การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34, ธันวาคม.

[5] สุธี ลี้จงเพิ่มพูน, ชิดชนก มากจันทร์, ศตายุ สุนแรแตร, รัฐพงษ์ แสงสว่าง และ นันทวุฒิ บุญเกิด, 2559 **“ชุดต้นแบบจักรยานโอโซนสำหรับห้องออกกำลังกาย” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 8**,** กรกฎาคม 2559

[6] กฤษณ์ กิจวัฒนา, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และ สุธีลี้จงเพิ่มพูน, 2554." **การศึกษาผลของสนามไฟฟ้าแบบไดอิเล็กตริกต่อการลดก๊าซมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์เครื่องเบนซิน.**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมทางไฟฟ้าครั้งที่ 34, ธันวาคม.

[7]S. Potivejkul, C. Markchun, S. Leejongpermpoon, 2014. "**A Development Design of Ozone Generator with a New Helix Coil Electrode for Micro Bacterial Disinfection in Hospitals.** " IEEE TENCON 2014, Thailand.

[8] C. Markchun, S. Potivejkul, W. Wongwiriyapan, S. Leejongpermpoon, 2013. " **The Duplication of Optimum Ozone Rating For use in Hospital.**" International symposium on EMC and transients in Infrastructures, p. 65-67, Thailand.

[9] ชิดชนก มากจันทร์, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุลและ สุธี ลี้จงเพิ่มพูน, 2555. **" การศึกษาการควบคุมปริมาณความเข้มข้นก๊าซโอโซนด้วยแสงอัลตราไวโอเลต.**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35.

[10] K. Kitwattana, S. Potivejkul, S. Leejongpermpoon, 2012. " **A Study of Effect of Electric Field and Catalytic ConverterforReducingPollutionGasfroma Gasoline Engine**." ISTS Thailand, p. 349 – 352, Thailand.

[11]K. Kitwattana, S. Potivejkul, S. Leejongpermpoon, 2011." **A Study of Electric Field and Catalytic Converter for Reducing Pollution Gas from a Gasoline Engine**" ISET, Thailand.

[12] วรกัลป์ ลิ้มเจริญ, กฤษณ์ กิจวัฒนา, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และ สุธีลี้จงเพิ่มพูน, 2555." **การศึกษาผลของสนามไฟฟ้า 3 แบบต่อการลดก๊าซมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์เครื่องเบนซิน.**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมทางไฟฟ้าครั้งที่ 35, ธันวาคม.

[13] P.Udomdat, S. Potivejkul, K. Kitwattana and S.Leejongpermpoon, 2013. " **A Study Effect of Three type Electric Field on Exhaust Emission Reductionand compare AC-DC Source for suitable from Benzene Engine.** " IEECON, Thailand.

[14] ปณิธาน อุดมเดช, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, กฤษณ์ กิจวัฒนาและ สุธี ลี้จงเพิ่มพูน, 2557."**การพัฒนาชุดต้นแบบลดก๊าซมลพิษจากไอเสียรถยนต์เครื่องยนต์แก๊สโซลีน**." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมทางไฟฟ้าครั้งที่ 37, ธันวาคม.

นักวิจัยร่วมโครงการ (2)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) **:** นายสมบัติ กำมอญ

(ภาษาอังกฤษ) **:** Mr.Sombat Kammon

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) **:** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) **:** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 035-504043 **โทรสาร** 035-504043

โทรศัพท์มือถือ 081-043-8228 **E-mail :** sombat.ka@hotmail.com

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : 9 ม.3 ตำบลไผ่ขวาง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72000

โทรศัพท์ 081-043-8228 **โทรสาร** - **ประวัติการศึกษา**

(ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
-	ปริญญาโท	วศ.ม	เทคโนโลยีอุณหภาพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
-	ปริญญาตรี	อ.ส.บ	เครื่องกล	มหาวิทยาลัยสยาม	ไทย

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

งานวิจัยที่รับผิดชอบ *(กำลังดำเนินงาน) (ชื่อโครงการ แหล่งทุน และระยะเวลาดำเนินการ)*

- การพัฒนาระบบไล่ความชื้นในข้าวเปลือกแบบความร้อนร่วมของอินฟาเรดและลมร้อนในชุดการขับป้อนผลผลิตต่อเนื่อง (2557 – 2558)

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับชาติ และระดับนานาชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

[1] สมบัติ กำมอญ, 2559, “ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของปั๊มสูบแบบชัก” วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ปีที่ 9 เล่ม 1, หน้า 99-105

นักวิจัยร่วมโครงการ (3)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) **:** นางสาวชิดชนก มากจันทร์

(ภาษาอังกฤษ) **:** Miss.Chidchanok Markchun

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) **:** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) **:** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 035-504043 **โทรสาร** 035-504043

โทรศัพท์มือถือ 093-327-2766 **E-mail :** chidchanok306@gmail.com

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ - **โทรสาร** -

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2557	ป.โท	วศ.ม	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2553	ป.ตรี	วศ.บ	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

งานวิจัยที่รับผิดชอบ *(กำลังดำเนินงาน) (ชื่อโครงการ แหล่งทุน และระยะเวลาดำเนินการ)*

1) ผู้ร่วมวิจัยโครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องต้นแบบลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอปานกลางร่วมกับลมร้อน แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ระยะเวลา ตุลาคม 59 – กันยายน 60

2) ผู้ร่วมวิจัยโครงการวิจัย ชุดจักรยานโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย แหล่งทุน กองทุนส่งเสริมงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับชาติ และระดับนานาชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

[1] S. Potivejkul, C. Markchun, S. Leejongpermpoon, "**A Development Design of Ozone Generator with a New Helix Coil Electrode for Micro Bacterial Disinfection in Hospitals** " IEEE TENCON 2014, Thailand.

[2] C. Markchun, S. Potivejkul, W. Wongwiriyapan, S. Leejongpermpoon, 2013. " **The Duplication of Optimum Ozone Rating For use in Hospital**" International symposium on EMC and transients in Infrastructures, p. 65-67.ธันวาคม.

[3] ชิดชนก มากจันทร์, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุลและ สุธี ลี้จงเพิ่มพูน, 2555. " **การศึกษาการควบคุมปริมาณความเข้มข้นก๊าซโอโซนด้วยแสงอัลตราไวโอเลต**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35,

[4] ชิดชนก มากจันทร์, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุลและ วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์, 2556. " **การจำลองพิกัดเครื่องกำเนิดโอโซนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในโรงพยาบาล**. " การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, เล่มที่ 1, หน้า. 177-180. ธันวาคม.

[5] ชิดชนก มากจันทร์, ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล,วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์ และ วรวุฒิ เมืองรัตน์, 2557. "

เทคนิคการ

กำหนดพิกัดเครื่องกำเนิดโอโซนและระยะเวลาทำงานด้วยการแพร่กระจายในอากาศและค่าครึ่งชีวิตของก๊าซโอโซน." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37,ธันวาคม.

[6] สุธี ลี้จงเพิ่มพูน, ชิดชนก มากจันทร์, ศตายุ สุนแรแตร, รัฐพงษ์ แสงสว่าง และ นันทวุฒิ บุญเกิด, 2559 “**ชุดต้นแบบจักรยานโอโซนสำหรับห้องออกกำลังกาย**” **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 8**,** กรกฎาคม

นักวิจัยร่วมโครงการ (4)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) **:** นายกิตติพงษ์ คล้ายดี

(ภาษาอังกฤษ) **:** Mr.Kittipong Klaydee

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) **:** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) **:** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 035-504043 **โทรสาร** 035-504043

โทรศัพท์มือถือ 082-254-3206 **E-mail :** boobj_44@hotmail.com

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 082-254-3206 **โทรสาร** -

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2554	ปริญญาตรี	วศ.บ	วิศวกรรมไฟฟ้า	-	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	ไทย

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

นักวิจัยร่วมโครงการ (5)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) **:** ดร.นิรันดร์ วัชโรดม

(ภาษาอังกฤษ) **:** Dr.Niran watchrodom

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) **:** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) **:** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เลขที่ 450 หมู่ 6 ถนนสุพรรณบุรี – ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์ 035-504043 **โทรสาร** 035-504043

โทรศัพท์มือถือ 081-385-1038 **E-mail :** niran.w@rmutsb.ac.th

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : 224/85 หมู่ที่ 4 ตำบลรั้วใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72000

โทรศัพท์ 081-385-1038 **โทรสาร** -

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
-	ปริญญาเอก	ปรด.	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน	-	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	
-	ปริญญาโท	M.Ed.	Industrial Education	-	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	
-	ปริญญาตรี	ค.อ.บ	วิศวกรรมเครื่องกล	-	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	ไทย

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

- อาจารย์ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- เป็นผู้รับผิดชอบพลังงานอาวุโส ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา
- หัวหน้าหน่วยงานอนุรักษ์พลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับชาติ และระดับนานาชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

[1] Aekchai Rattanabanlue, Niran watchrodom, “Experimental Investigation Efficiency of Air Conditioning System Use Thermal Energy By Thermal Storage System.” The 5 th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture Eco Buildings Innovation and Indoor Air Quality Bangkok, 27-29 September, 2016

[2] Niran watchrodom, Aekchai Rattanabanlue “Solar attic temperature evaluated by a mathematical model.” The 5 th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture Eco Buildings Innovation and Indoor Air Quality Bangkok, 27-29 September, 2016

[3] N.Watchrodom et.al "Experimental Investigation of Thermoelectric Power Generation Using Radiative Heat Exchange", Advanced Materials Research, Vols 1025-1026, pp. 1125-1133, Sep. 2014

[4] N. Watchrodom “Experimental Investigation of Energy Performance of Split type Air Conditioning for building under various indoor setpoint temperatures and different air flow rates through cooling coil”, International Science Index Vols 8,pp.665-669,Nov.2014

[5] Niran Watchrodom, Suwit Wongyuen A study of Energy Saving in Split Type Air Conditioning System Using Alternative Refrigerant The 4th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture Eco Buildings Innovation and Indoor Air Quality Bangkok, 30-31 March, 2015

[6] นิรันดร์ วัชโรดม การทดลองหาศักยภาพการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศโดยการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมเย็น การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, 22 มิถุนายน 2559

[7] นิรันดร์ วัชโรดม การออกแบบและสร้างนวัตกรรมระบบปรับอากาศประหยัดพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัยขนาดเล็ก การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 วันที่ 8-10 มิถุนายน พ.ศ.2559

[8] นิรันดร์ วัชโรดม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผนังปล่องรับรังสีอาทิตย์, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 วันที่ 8-10 พฤษภาคม พ.ศ.2556

[9] นิรันดร์ วัชโรดม และวิทยา พวงสมบัติ การลดการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศ: การระบายอากาศในห้องใต้หลังคาเปรียบเทียบกับการใช้แผ่นสะท้อนความร้อน, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ.2555 จังหวัดมหาสารคราม

[10 นิรันดร์ วัชโรดม และวิทยา พวงสมบัติ การประเมินอุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี