

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารตามนโยบาย
หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์จังหวัดนครนายก

เรื่อง การออกแบบและสร้างตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำ
(Freeze-dryer)

โดย
นายพิชัย อัมมมงคล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

กันยายน 2546

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทบวงมหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2545

บทคัดย่อ

ในการถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นานนั้นมีหลายวิธี เช่น การแช่เย็น การดอง การหมัก การอบด้วยอากาศร้อน เป็นต้น ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความชื้นในอาหารลงจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่วิธีการถนอมอาหารดังกล่าวข้างต้น อาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการบางอย่างของอาหารสูญเสียไป โดยเฉพาะสารอาหารจำพวกวิตามิน ซึ่งจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อ ได้รับ ความร้อนและกลิ่นของอาหารเองมักสูญเสียไปกับความร้อน เช่นกัน จึงมีการพัฒนานำหลักการ ระเหิดของน้ำแข็งมาใช้ในการอบแห้งอาหาร ซึ่งสามารถอบแห้งอาหารหรือผลิตผลทางการเกษตรได้ หลักการทำงานของระบบนี้คือนำผลิตผลไปแช่แข็งภายใต้อุณหภูมิต่ำซึ่งจะทำให้น้ำในผลิตผล กลายเป็นน้ำแข็ง แล้วนำผลิตผลไปอบแห้งภายใต้ความดันต่ำ น้ำในผลิตผลจะระเหิดออกมา ดังนั้นการอบแห้งแบบการระเหิดน้ำจึงเป็นที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรักษาคุณค่า ที่สำคัญบางอย่างในตัวผลิตภัณฑ์นั้นไว้เช่น กาแฟ ผลไม้หรือน้ำผลไม้ ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น วิธีการอบแห้งชนิดนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ ใช้กับผลิตภัณฑ์ทาง การแพทย์ เช่น เซรุ่ม หรือวิตามิน และอาหารเสริมต่างๆ ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อออกแบบและพัฒนา เครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ เพื่อทดลองอบแห้งเห็ดฟาง และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ภายใต้โครงการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ อาหารตามนโยบาย “หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์” ของจังหวัดนครนายก ซึ่งในจำนวนนี้มีผลิตภัณฑ์ เห็ดฟางของ ตำบล อาษา อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

จากการทดลองอบแห้งเห็ดฟางโดยหั่นเป็นชิ้นมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 87%โดยน้ำหนัก เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 28 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ $40^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$ ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีสีคล้ำลง เล็กน้อย การหดตัวของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย และเมื่อนำไปคั่ว น้ำพบว่าสามารถคืนรูปใกล้เคียงกับวัตถุก่อนนำไปอบ ความชื้นที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์หลังอบเฉลี่ย เท่ากับ 5% น้ำหนักรวมหลังการอบแห้งเท่ากับ 130 กรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 950 กรัม

Abstract

The objective of the food preservation by freezing or drying is to decrease the moisture content in the food stuff to minimize microorganism growth. Generally, drying using heat in the process can destroy some mineral, vitamin or flavor. There are numbers of development focusing on preserving food by freeze-drying method which required minimal heat. In freeze-drying process, food is frozen and put under vacuum chamber. Heat then applied, ice in the food then sublimated. Using this method, dried products such as instant coffee, fruits, as well as fruit juice powder can be produced. This is an example of how value added applies to agriculture products. Freeze-drying method can also be applied to produce medical or pharmaceutical products such as serum, vitamin and food supplements.

The objective of this research project is to design and build the freeze-drying machine. Straw mushroom is used to test the machine and to study the parameters of drying such as temperature and drying time. This project is funded for development of food products of the Nakornnayok province under the “One Tambon One Product” project. Owing to the SWOT analysis straw mushroom from Tambon Arsa Ampua Banna is one of the interesting product to be developed.

Sliced straw mushroom of 950 grams was frozen to the temperature of -30°C . Its measured moisture content was 87% by weight. The mushroom then put into a vacuum chamber to be dried. The drying temperature was about $40-45^{\circ}\text{C}$ and the drying time was approximately 28 hours. The finished product has the weight of 130 grams and its moisture content was approximately 5% by weight.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัยที่เป็นผู้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท Danfoss ประเทศไทยจำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์การทำความเย็นบางส่วนแก่งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.สินศุภา จัษฎจุลเจิม ตลอดจนอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ ได้เอื้อเฟื้อในการหาค่า ความชื้นของเห็ดฟาง และความรู้ในด้านอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และนิสิตของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

พิชัย อัมฤมมงคล



สารบัญ

บทที่

หน้า

1. บทนำ.....	1
ความเป็นมา	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
แผนการดำเนินงาน	3
2. ทฤษฎี	4
3. ผลการวิจัย	6
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	11
บรรณานุกรม	12
ภาคผนวก ก.....	13
ภาคผนวก ข.....	17
ประวัติย่อผู้วิจัย	18

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ไดอะแกรมแสดงสถานะของน้ำ	4
2 ขั้นตอนในการอบแห้งแบบระเหิด	5
3 เครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ	6
4 ไอน้ำที่ระเหิดจากวัตถุดิบกลั่นตัวและถูกทำให้เป็นน้ำแข็ง.....	7
5 กราฟแสดงอุณหภูมิของวัตถุดิบ(Tfood1-3) อุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน (THeater 1-2) และอุณหภูมิของอุปกรณ์ดักจับไอ(TVtrap) (การทดสอบครั้งที่1).	8
6 ผลึกภัณฑ์หลังอบแห้งเทียบกับวัตถุดิบ.....	8
7 กราฟแสดงอุณหภูมิของวัตถุดิบ(Tfood1-3) อุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน (THeater 1-2) และอุณหภูมิของอุปกรณ์ดักจับไอ(TVtrap) (การทดสอบครั้งที่2)	9
8 ผลึกภัณฑ์หลังอบแห้งเทียบกับวัตถุดิบ และผลึกภัณฑ์ที่คั่นรูป.....	9
9 ผลึกภัณฑ์ภายใต้การทดสอบการคั่นรูปแล้วเครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ	10

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

การเพาะเห็ดฟางขายเป็นอาชีพที่ได้รับการส่งเสริมให้เป็นอาชีพในโครงการ 1 ผลิตภัณฑ์ 1 ตำบล ของตำบลอาษา อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก จุดแข็งของการผลิตเห็ดฟางในตำบลนี้คือ มีพันธุ์เห็ดดอกหนา เนื้อแน่น ดอกบานช้าแต่ธรรมชาติของเห็ดฟางจะมีอายุสั้นเก็บได้ไม่นาน เน้นเสียง่าย เมื่อผลิติดอกมามาก ล้นตลาดจึงถูกกดราคา เพื่อแก้ปัญหาในระยะยาว คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลจึงได้คิดกระบวนการถนอมรักษาเห็ดฟางให้มีอายุการเก็บนานขึ้นโดยใช้การอบแห้งแบบระเหิดน้ำซึ่งจะเป็นการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่งด้วย

ในการถนอมอาหารให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานนั้นมีหลายวิธี เช่น การแช่เย็น การหมักด้วยเกลือการอบแห้งด้วยอากาศร้อน เป็นต้น ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความชื้นในอาหารลงจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่วิธีการถนอมอาหารดังกล่าวข้างต้นอาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารบางอย่างสูญเสียไป โดยเฉพาะสารอาหาร จำพวกวิตามิน และกลีโคไซด์ของอาหารมักสูญเสียไปกับความร้อน จึงมีการพัฒนานำหลักการระเหิดของน้ำแข็งมาใช้ในการอบแห้ง โดยการนำผลิตผลไปลดอุณหภูมิลงให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส) แล้วทำให้น้ำแข็งในผลิตผลระเหิดกลายเป็นไอน้ำไต่ความดันต่ำ ดังนั้น การอบแห้งแบบระเหิดน้ำ จึงนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรักษาคุณค่าที่สำคัญบางชนิดในตัวผลิตภัณฑ์นั้นไว้เช่น กาแฟ ผลไม้ หรือน้ำผลไม้ และยารักษาโรค เป็นต้น

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีผลผลิตทางการเกษตรอยู่มาก แต่ผลผลิตทางการเกษตรไม่สามารถเก็บไว้ให้มีคุณภาพดีและนานที่สุด จึงจำเป็นต้องแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรกรรมให้อยู่ในรูปอุตสาหกรรมการอบแห้ง อีกทั้งอุตสาหกรรมในด้านอาหารและยาก็ยังสามารถใช้กรรมวิธีการอบแห้งแบบระเหิดน้ำ แต่ในปัจจุบันการอบแห้งแบบระเหิดน้ำนี้ ในประเทศไทยยังต้องพึ่งพาเทคโนโลยีในรูปของการนำเข้าเครื่องจักรดังกล่าว ซึ่งมีราคาสูงมากทำให้เสียดุลการค้ากับต่างประเทศและทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย จากคุณประโยชน์และแนวโน้มที่ปริมาณความต้องการในการใช้เครื่องจักรมากขึ้นดังกล่าว จึงเป็นสิ่งจูงใจให้เกิดความคิดที่จะทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบการระเหิดน้ำขึ้น

ข้อดีของวิธีการอบแห้งแบบการระเหิดน้ำคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ยังคงมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตผลก่อนการอบแห้ง ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางด้าน สี กลิ่น รสชาติต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ยังคงมีโครงรูปเหมือนเดิม ไม่มีการหดตัว (Shrinkage) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปให้น้ำใหม่ (Rehydrate) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับของสดปริมาณของผลิตภัณฑ์แห้งจะเท่ากับผลิตผลก่อนอบแห้ง แต่น้ำหนักลดลงเนื่องจากน้ำในผลิตภัณฑ์ถูกทำให้ระเหิดออกไปทำให้สะดวกในการขนส่งเนื่องอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่ำ[2,3] จึงไม่ทำให้คุณค่าทาง

อาหาร หรือคุณภาพลดลง และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์(Enzyme) หรือปฏิกิริยาทางเคมีปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมได้ในประเทศไทย ทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สนใจที่จะสร้างตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำเพื่อเป็นเครื่องจักรต้นแบบ เพื่อที่จะพัฒนาไปสู่ ระดับอุตสาหกรรมและลดการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศที่มีราคาแพง [5]

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำ โดยจะสามารถนำไปใช้อบแห้งผลิตผลทางการเกษตร โดยเฉพาะเห็ดฟาง
2. เพื่อเป็นโครงการตัวอย่างของการร่วมมือระหว่างสถาบันอุดมศึกษาและชุมชนในการพัฒนาแบบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้เครื่องจักรต้นแบบสำหรับชุมชน ที่จะทำผลิตภัณฑ์อบแห้งเช่นเห็ดฟาง และยังอาจปรับปรุงไปใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นในโครงการ เช่นปลาร้า ปลาตูดเป็นเครื่องต้นแบบในโครงการห้องปฏิบัติการชุมชน ในโครงการนาร่องการสร้างเครือข่ายระหว่างสถาบันอุดมศึกษากับชุมชน ในจังหวัดนครนายกเพื่อพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชนและเศรษฐกิจฐานราก

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ออกแบบและสร้างตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำทดสอบการใช้ตู้อบแห้งกับเห็ดฟาง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นก่อนและหลังการอบแห้ง และศึกษาการยุบตัวของผลิตภัณฑ์แห้งเพื่อเทียบกับวัตถุดิบ
2. จัดทำคู่มือการใช้งานและการบำรุงรักษา ของตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำ

ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำที่มีหน่วยแช่แข็งและหน่วยอบแห้งภายใต้สัญญาภาคภายในชุดเดียวกัน ตู้อบแห้งต้นแบบจะสามารถอบแห้งวัตถุดิบได้ครั้งละ 0.5-1 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง และหรือ เก็บข้อมูล

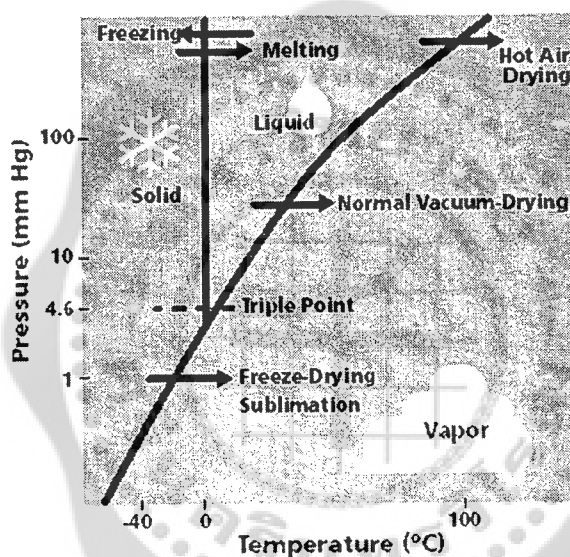
ใช้ระยะเวลาในการทำวิจัย 1 ปี โดยใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเคมี และวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒองครักษ์ จังหวัดนครนายก

บทที่ 2

ทฤษฎี

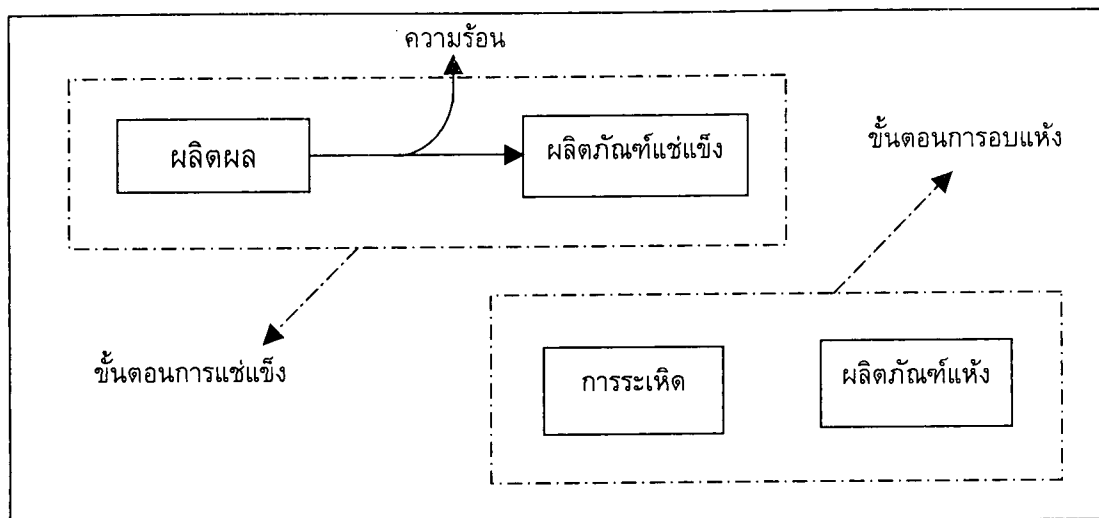
การอบแห้งแบบระเหิดน้ำอาศัยหลักการสำคัญคือทำให้น้ำที่อยู่ในสถานะของแข็ง (น้ำแข็ง) กลายเป็นไอ ภายใต้ความดันต่ำ หรือในสภาวะสุญญากาศ และอุณหภูมิต่ำ

จากไดอะแกรมแสดงสถานะของน้ำ (Phase diagram) ดังภาพที่ 1 แสดงสถานะบริสุทธิ์ทั้งสามสถานะ (ของแข็ง, ของเหลว, ไอ) ซึ่งอยู่ในสมดุลกัน และเขียนแทนด้วยกราฟ 3 เส้น ซึ่งจะตัดกันที่จุดๆ หนึ่ง เรียกว่า Triple point (ที่อุณหภูมิ 0.01°C , ความดัน 6.09 mbar) ถ้าน้ำอยู่ในสถานะของแข็ง (น้ำแข็ง ณ จุด A) และถูก ลดความดันบริเวณรอบ ๆ น้ำแข็งลง (ต่ำกว่า 6.09 mbar) น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากน้ำแข็งเป็นไอน้ำ (ณ จุด B) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการระเหิดน้ำ (Sublimation) [4,1]



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมแสดงสถานะของน้ำ

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นนี้ จะสามารถนำมาใช้ในการอบแห้งอาหารหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งสามารถแยกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ [1,5]



ภาพที่ 2 ขั้นตอนในการอบแห้งแบบระเหิดน้ำ

ขั้นตอนแรก การแช่แข็งเป็นการนำผลิตผลมาแช่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารละลายในอาหารนั้น (สารละลายในอาหารจะมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าน้ำบริสุทธิ์)

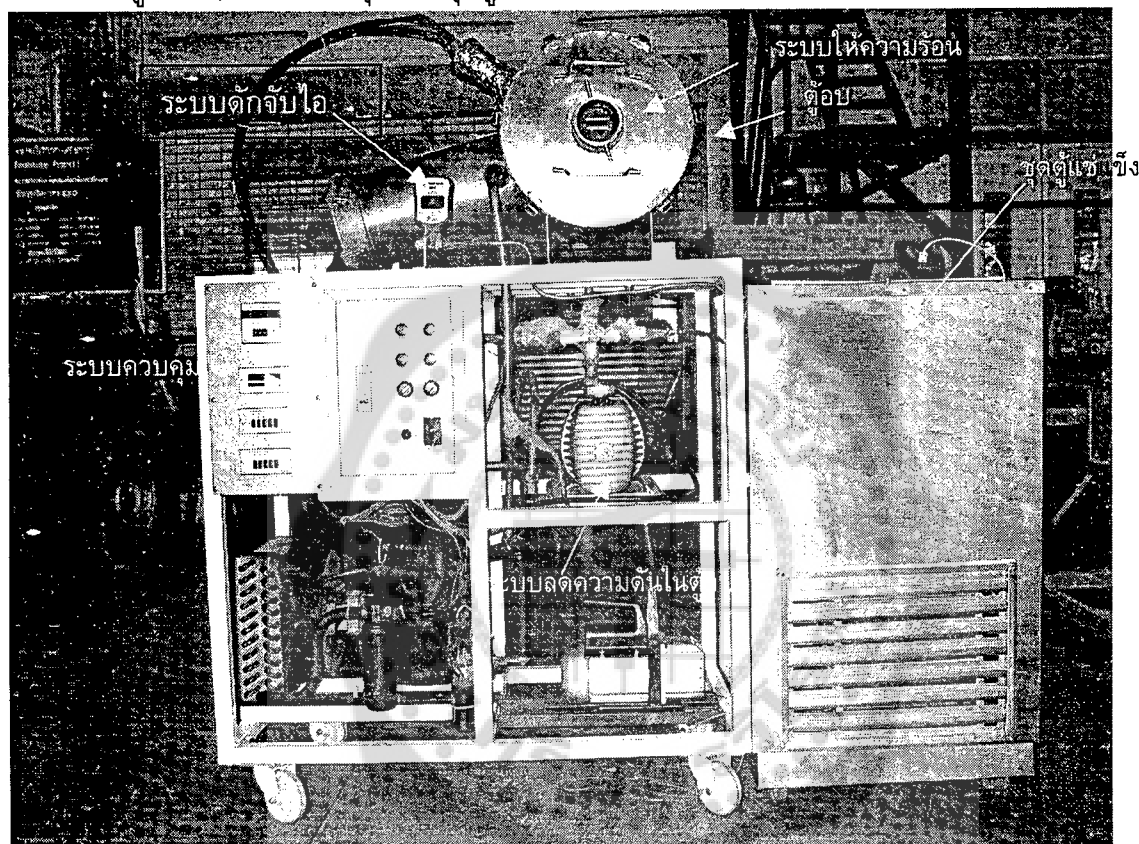
ขั้นตอนที่สอง การอบแห้งเป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งไปไว้ในภาชนะที่ควบคุมความดัน จากนั้นลดความดันในภาชนะลง และเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้น้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ เกิดการระเหิดกลายเป็นไออย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์เกือบทั้งหมดถูกถ่ายเทออกไป และทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง

บทที่ 3

ผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างตู้อบแห้งแบบระเหิดน้ำ

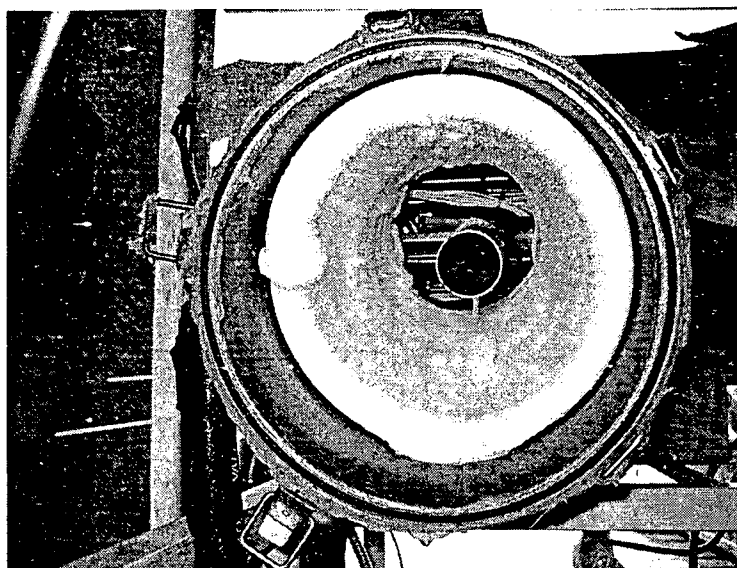
ระบบการอบแห้งแบบระเหิดน้ำจะมีอุปกรณ์ประกอบดังนี้ คือ 1) ตู้อบ 2) ระบบดักจับไอน้ำที่ระเหิดออกมาจากวัตถุดิบ 3) ระบบลดความดันในตู้อบ 4) ระบบให้ความร้อนกับวัตถุดิบภายในตู้อบ 5) ระบบควบคุม 6) ชุดตู้แช่แข็ง



ภาพที่ 3 เครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ

หลักการทำงานของเครื่อง

วัตถุดิบถูกนำไปแช่แข็งภายในตู้แช่ จนได้อุณหภูมิต่ำกว่า -30°C จากนั้นนำวัตถุดิบไปใส่ในตู้อบ และจึงลดความดันในตู้อบลงจนถึง 1.5 – 3 มิลลิบาร์ เริ่มให้ความร้อนกับวัตถุดิบโดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน (Heater) น้ำในวัตถุดิบจะเริ่มระเหิดออกมาและจะถูกดักไว้ในระบบดักจับไอน้ำ (ดังภาพที่ 4) ระยะเวลาในการอบแห้งจะขึ้นกับ ความดันภายในตู้อบและอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน



ภาพที่ 4 ไอน้ำที่ระเหิดจากวัตถุดิบกลั่นตัวและถูกทำให้เป็นน้ำแข็ง

การทดสอบตู้อบแห้ง

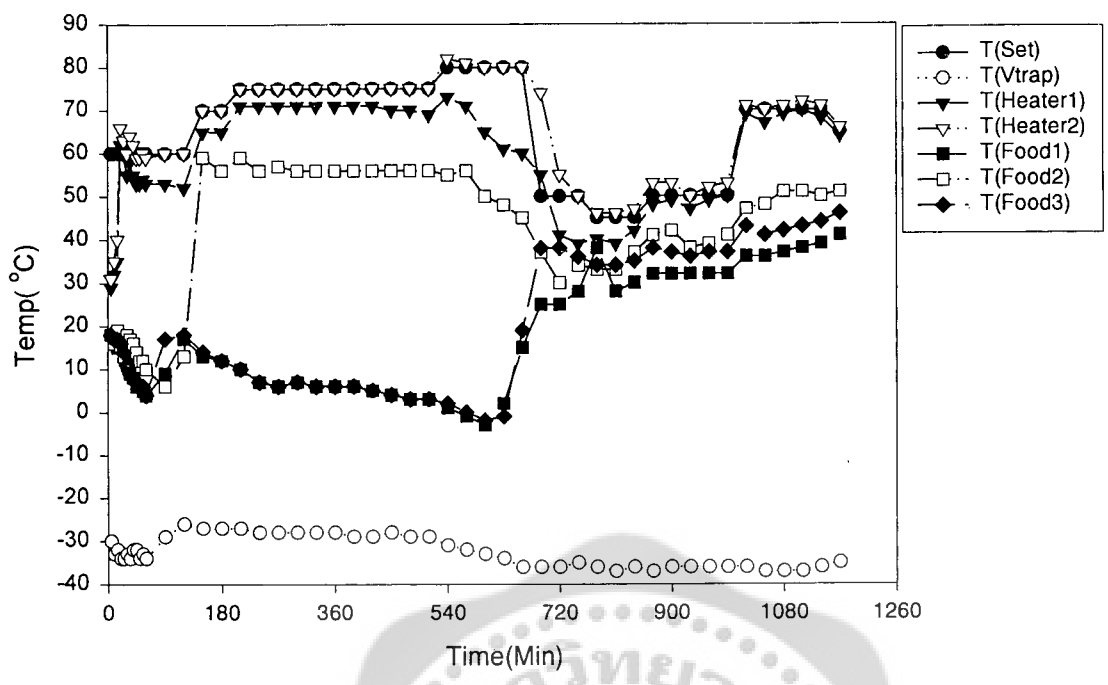
การทดสอบตู้อบแห้งใช้เห็ดฟางเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการอบเห็ดฟาง เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

หัวข้อการทดสอบ

ทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเห็ดฟางและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ขั้นตอนการทดสอบครั้งที่ 1

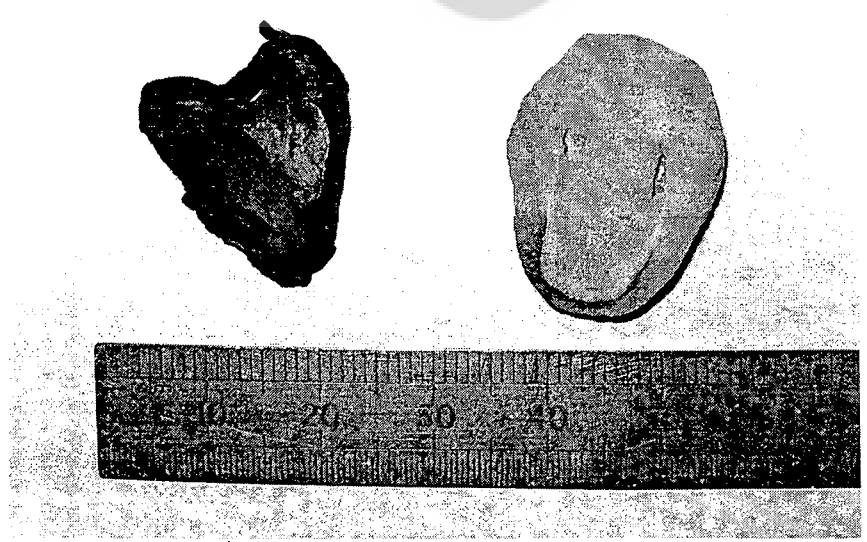
นำเห็ดฟางน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม มาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ความหนาประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตรและนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปแช่แข็งให้อุณหภูมิต่ำกว่า -30°C จากนั้นนำเข้าสู่ตู้อบแห้งเดินเครื่อง แล้วตั้งอุณหภูมิของแผ่นความร้อนที่เริ่มต้น 55°C และเพิ่มเป็น 80°C เมื่ออุณหภูมิของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นใกล้ $40 - 45^{\circ}\text{C}$ จึงลดอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนลงความดันในตู้อบวัดได้ 5 – 12 มิลลิบาร์ อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน อุณหภูมิของวัตถุดิบ และอุณหภูมิของอุปกรณ์ดักจับไอน้ำ แสดงดังภาพ 5



ภาพที่ 5 กราฟแสดงอุณหภูมิของวัตถุดิบ(Tfood1-3) อุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน (THeater 1-2) และอุณหภูมิของอุปกรณ์ดักจับไอ(TVtrap) (การทดสอบครั้งที่1)

ผลการทดสอบ

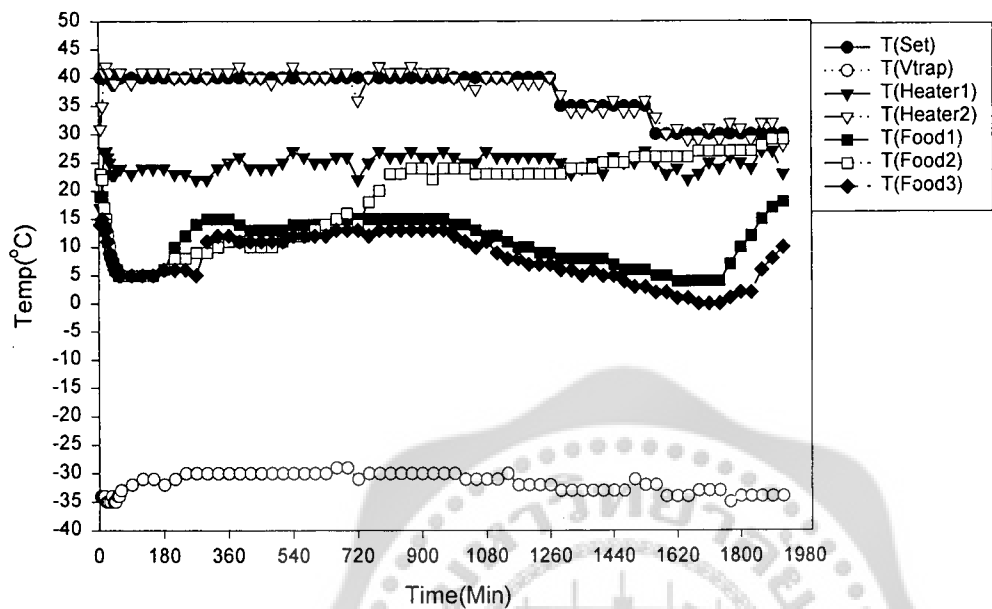
หลังจากเดินเครื่องไป 24 ชั่วโมง แล้วนำเห็ดฟางออกจากตู้อบ พบว่าเห็ดฟางมีสีคล้ำลงมาก และขนาดหดลงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบก่อนนำเข้าตู้อบ ดังภาพ 6



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งเทียบกับวัตถุดิบ

การทดสอบครั้งที่ 2

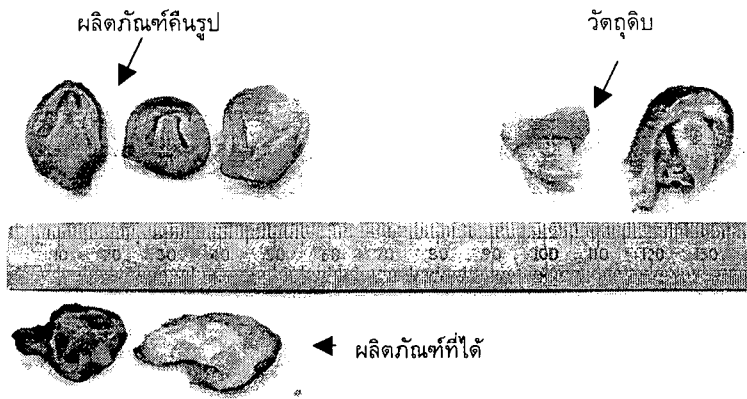
การทดสอบครั้งนี้ใช้เห็ดฟางแห้งเป็นชิ้นบางรวม น้ำหนัก950 กรัม ตั้งค่าอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนที่ 40 – 45 °C ตลอดการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 7



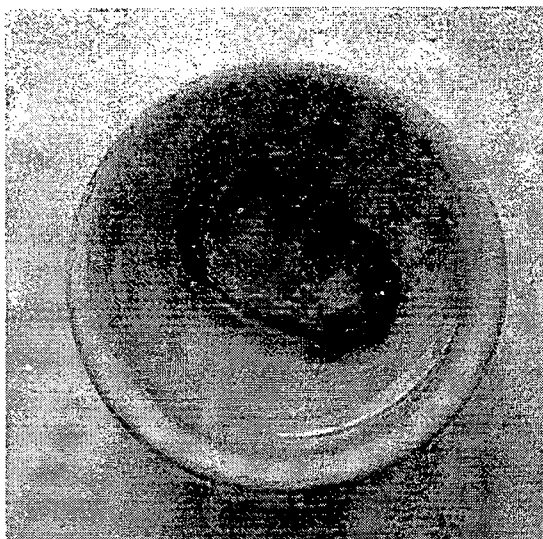
ภาพที่ 7 กราฟแสดงอุณหภูมิของวัตถุดิบ(Tfood1-3) อุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน (THeater 1-2) และอุณหภูมิของอุปกรณ์ดักจับไอน้ำ(TVtrap) (การทดสอบครั้งที่2)

ผลการทดสอบ

เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 24 ชั่วโมงเป็น 28-30 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีสีคล้ำลงเล็กน้อย การหดตัวของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย และเมื่อนำไปคั้นน้ำพบว่าสามารถคั้นรูปใกล้เคียงกับวัตถุก่อนนำไปอบ ดังรูปที่ 8 และ 9 ความชื้นที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์หลังอบคือ 5 % จากความชื้นตั้งต้น 87 % น้ำหนักรวมหลังการอบแห้งเท่ากับ 130 กรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 950 กรัม



ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งเทียบกับวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ที่คั้นรูปแล้ว



ภาพที่ 9 ผลัดภัณฑ์ภายใต้การทดสอบการคืนรูปแล้ว



บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

เครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำที่ได้สร้างขึ้นนั้น จากการทดสอบการทำงาน สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์คือสามารถอบแห้งเห็ดฟางให้แห้งได้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดฟางโดยใช้วิธีระเหิดน้ำ อยู่ที่ $40^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$ ใช้ระยะเวลาในการอบที่ 28 – 30 ชั่วโมง โดยประมาณ จะได้ความชื้นของเห็ดฟางแห้งเฉลี่ยที่ 5 % โดยประมาณ ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีการหัดตัวน้อยแต่มีสีคล้ำลง และสามารถคืนรูปได้ดีโดยการแช่น้ำ โดยจะคืนรูปได้ใกล้เคียงกับขนาดของวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง

ข้อเสนอแนะ

ตัวแปรที่สำคัญในการอบแห้งแบบระเหิดน้ำ คือคุณภาพของวัตถุดิบ และการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงเกินไป จะทำให้น้ำแข็งในวัตถุดิบละลายและเดือดกลายเป็นไอ แทนที่จะระเหิดจากวัตถุดิบ ตัวแปรเหล่านี้ล้วนเป็นผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง จึงควรที่จะต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด

ในส่วนของอุปกรณ์ในระบบนั้น ส่วนระบบดักจับไอน้ำควรต้องมีการปรับปรุงในอนาคต โดยระบบเดิมนั้นจะเป็นระบบปิด คือจะต้องรอให้หยุดเครื่องก่อน จึงจะทำการละลายน้ำแข็งที่อยู่รอบ ๆ ขวดของท่อทำความเย็น ซึ่งจะทำให้เวลาในการเตรียมเครื่องเพื่อทำงานในครั้งต่อไปยาวนานขึ้น แนวทางการแก้ไขคือ ออกแบบระบบกับดักไอน้ำใหม่ให้ทำงานได้ในลักษณะต่อเนื่อง คือเป็นสองส่วนทำงานสลับกัน จะเป็นการลดเวลาในการเตรียมเครื่องเพื่อทำงานในครั้งต่อไปลง และป้องกันไม่ให้ความดันในห้องอบเพิ่มขึ้นเนื่องจากกับดักไอน้ำมีน้ำแข็งมากเกินไป

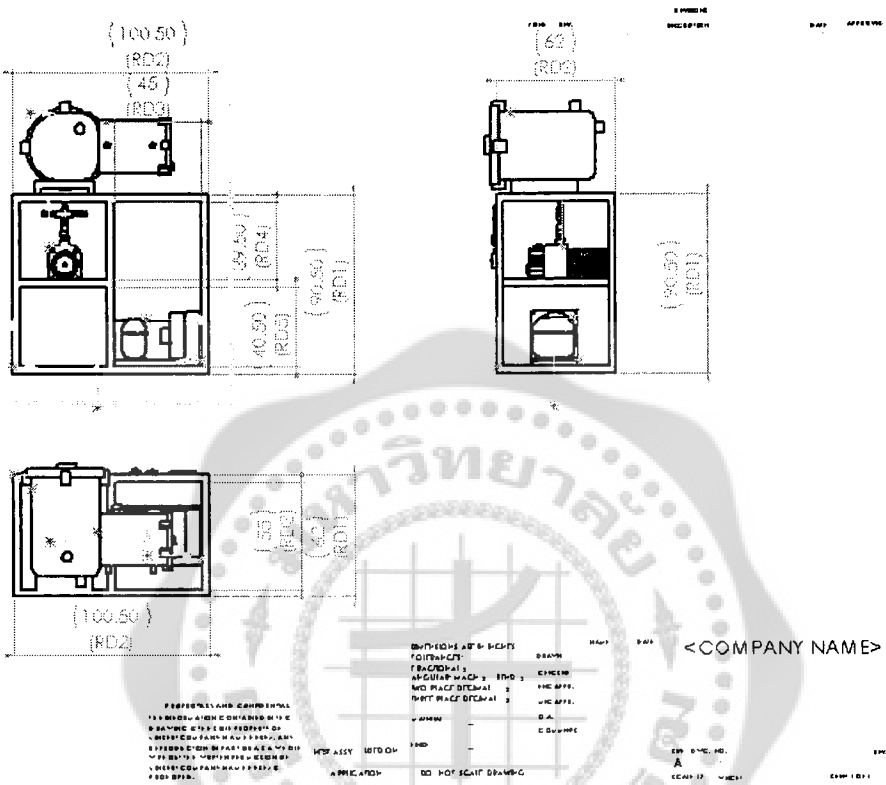
วิธีการอบแห้งแบบระเหิดน้ำจะเป็นวิธีถนอมอาหารที่สามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้อย่างครบถ้วน และเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตทางการเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย

บรรณานุกรม

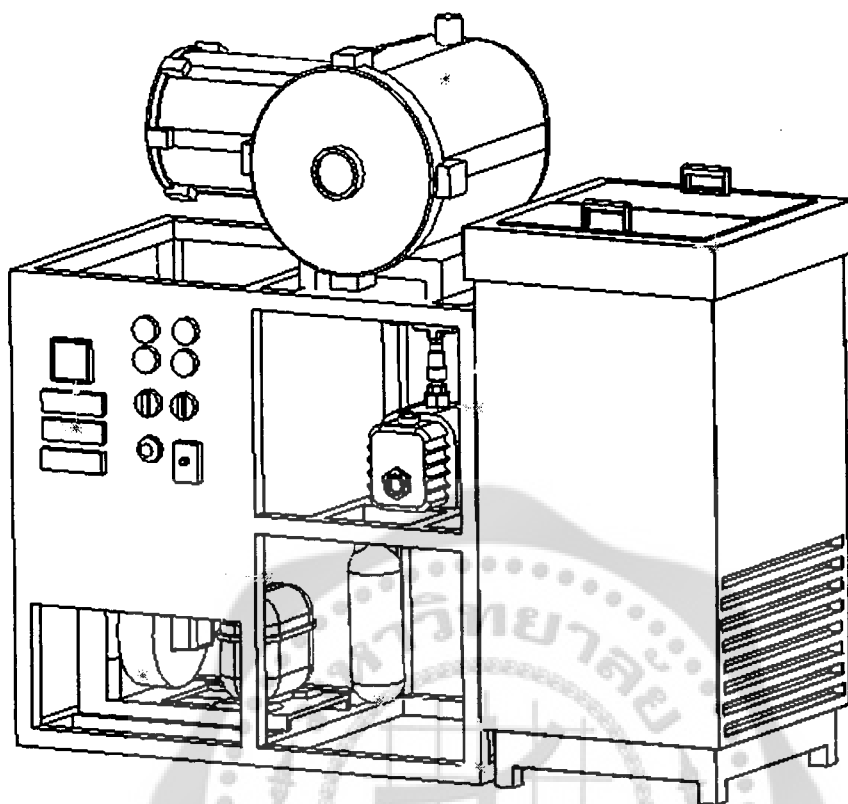
1. J.D. Mellor “Fundamentals of Freeze-Drying” Academic Press, USA, 1978.
2. G.W. Oetjen “Freeze-Drying” Wiley-VCH, Germany, 1999.
3. E.W. Flosdorf “Freeze-Drying (Drying by Sublimation)” Reinhold Publishing Corporation, USA, 1949.
4. Atlas.Co.Ltd, “Freeze-dry” Catalogue 2003, 2003.
5. พิชัย อึ้งมวงคล “การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ” วิทยานิพนธ์
ระดับบัณฑิตศึกษา(ปริญญาโท) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พ.ศ.2538



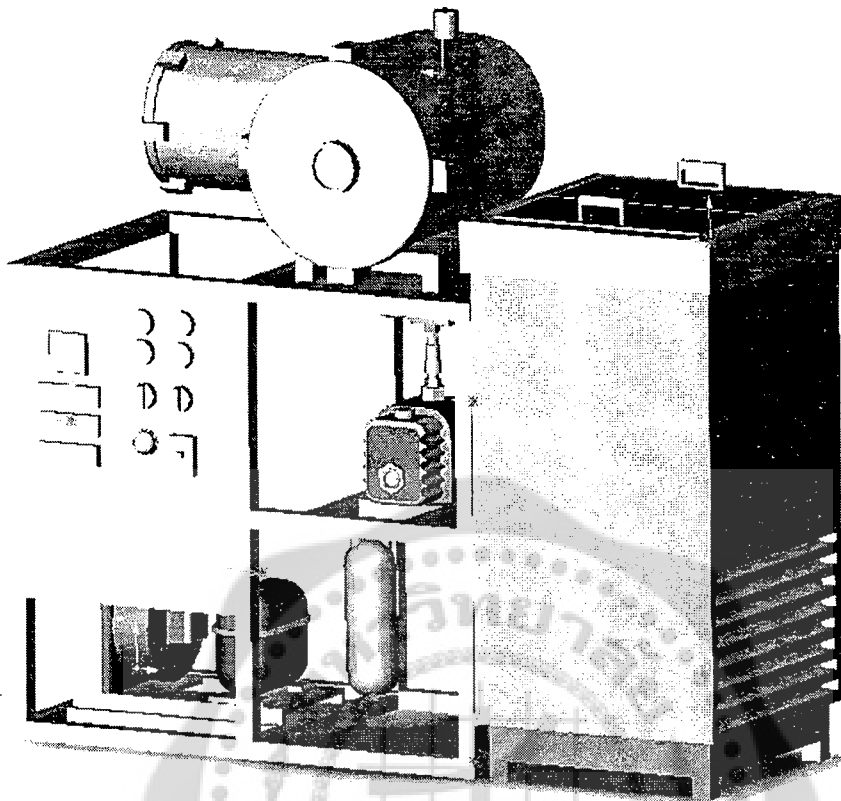
ภาคผนวก ก
แบบเครื่องอบแห้ง



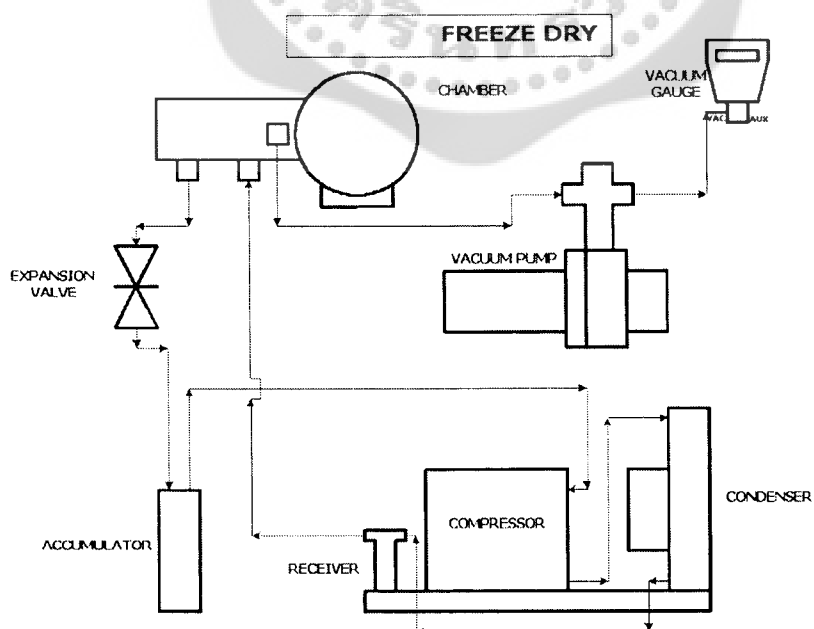
ภาพฉาย 3 ด้านของเครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ



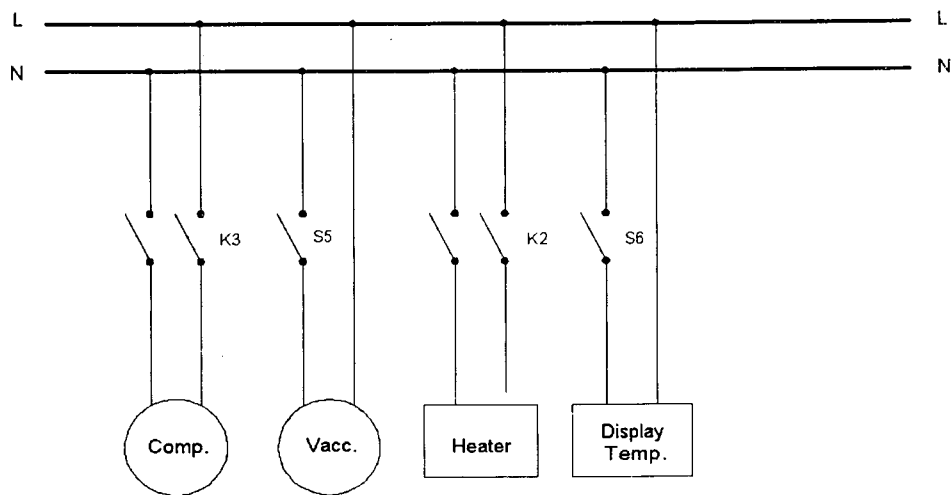
ภาพลายเส้น สามมิติของเครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ



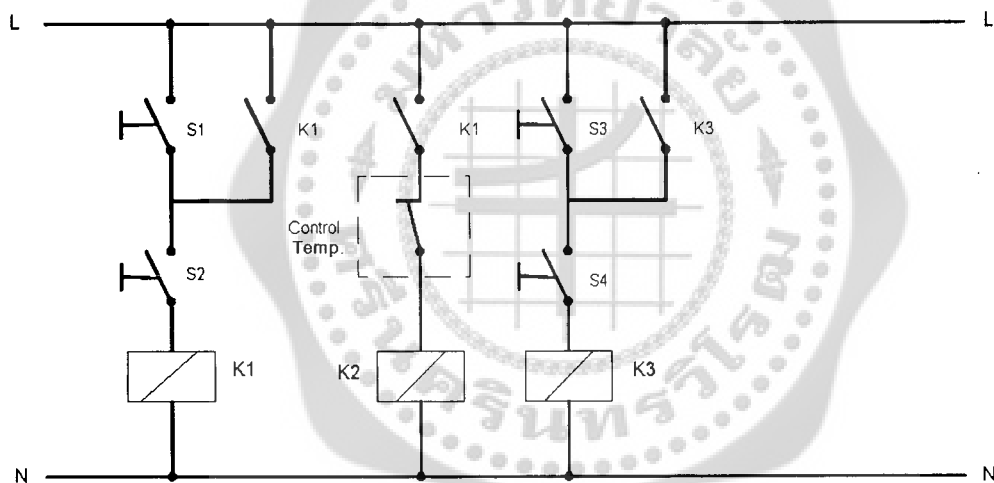
ภาพสามมิติของเครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ



วงจรระบบท่อของเครื่องอบแห้งแบบระเหิดน้ำ



วงจรไฟฟ้ากำลัง



วงจรไฟฟ้าควบคุม

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้เครื่องอบแห้งแบบการระเหิด

1. เปิดระบบทำความเย็นทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมงก่อนทำการอบแห้งแล้วเปิดอ่านค่าอุณหภูมิที่ T_1 ให้ได้ประมาณ -30 องศาเซลเซียส
2. เปิดฝาตู้อบ ออกแล้วนำอาหารที่ทำการแช่แข็งมาแล้วที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส มาเข้าตู้อบแห้งแล้วปิดฝาตู้อบแห้งให้สนิท
3. กดสวิทช์ Vacuum pump ให้ทำงาน
4. ทาการตั้งอุณหภูมิที่ Temperature control ของ Heater ที่ 55 องศาเซลเซียส (ทำการตั้งค่าก่อนกดสวิทช์ Heater ก่อนเสมอ)
5. กดสวิทช์ Heater ให้ทำงาน
6. อ่านค่าอุณหภูมิต่าง ๆ และจดบันทึกค่า
5. เปิดอ่าน T_4 , T_5 และ T_6 หากอุณหภูมิที่อ่านได้ใกล้เคียงประมาณ 40 องศาเซลเซียส ให้ปรับตั้งค่าที่ Temperature control ให้ลดลงมาที่ 40 องศาเซลเซียส
6. อ่านค่า T_4 , T_5 และ T_6 เทียบกับ T_2 ให้เท่ากัน(อย่างน้อย 4 ชั่วโมง) แล้วจากนั้นทำการปิดสวิทช์เครื่องอบแห้งแล้วปล่อยอากาศเข้าตู้อบแห้ง
7. นำอาหารออกมาจากเครื่องอบแห้ง แล้วทำการวัดความชื้นของอาหารหลังจากการอบแห้ง

หมายเหตุ

- ถ้าเดินเครื่องแล้วความดันในถังอบไม่ลดลง หรือลดลงช้าเกินไป ให้ตรวจเช็คที่น้ำมันของ Vacuum pump ว่าลดลงต่ำกว่าขีดกำหนดหรือไม่ และตรวจดูว่าระบบมีการรั่วหรือไม่
- เปลี่ยนน้ำมันของ Vacuum pump ทุกๆ 5 ครั้งของการเดินเครื่อง หรือเมื่อน้ำมันของ Vacuum pump ขุ่น
- ทำความสะอาดแผงระบายความร้อนของระบบทำความเย็นเสมอๆ
- ทำความสะอาดแผ่นให้ความร้อน และระวังอย่าให้มีสิ่งสกปรกติดอยู่ จะทำให้เกิดการไหม้ขึ้น

ประวัติย่อผู้วิจัย
Curriculum Vitae

Pichai ASADAMONGKON

Mechanical Engineering Department,
 Faculty of Engineering,
 Srinakharinwirot University,
 Ongkhroak, Nakonnayok, 26120. Thailand.
 Tell 66-2-664-1000 Ext 2055,2063
 Fax 66-37-322609
 Email: pichaias@swu.ac.th

Educational Background

- | | |
|------|---|
| 1992 | B.Sc. (Mechanical Engineering) Mongkut's Institute of Technology north Bangkok, Bangkok, Thailand. |
| 1995 | M.Eng. (Mechanical Engineering) King Mongkut's Institute of Technology north Bangkok, Bangkok, Thailand. |
| 2001 | Ph.D. (Mechanical Engineering) King's College London, University of London, London, UK. |

Work Experience

- | | |
|---------------|---|
| 1992-1994 | Plant Engineer, Siam preserved food CO., LTD. |
| 1994-1996 | Consultant Engineer, Siam preserved food CO., LTD. |
| 1995-Present | Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkhroak, Nakonnayok. Thailand. |
| 2001- Present | Head of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkhroak, Nakonnayok. Thailand. |
| 2002-2003 | Professional Consultant Engineer in Energy Conservation to the Federation of Thai Industries (FTI). |

Teaching Subjects

- | | |
|-----------------------|--|
| Under Graduate | - Refrigeration and Air-condition, Power plant Engineering, Thermodynamic, Heat Transfer, Energy Conservation. |
| Post Graduate | - Advance Thermodynamic, Energy Conservation in Industry, Systems Thermal Design. |

Publications

1. **Asadamongkon, P. 1995** “*Design and development of freeze-drying unit*” Masters’ Degree Thesis, King Mongkut’s Institute of technology north Bangkok, Bangkok, Thailand (in Thai).
2. **Asadamongkon P.,** St Hill, N., Lee K. C. and Yiannesskis, M. 2000. “*On the turbulence and cyclic variation levels in the internal combustion engine cylinders*” .Proc.I.Mech.E. Conf ”Automobile Engineering”, pp. 79-88, C587/021/2000.
3. **Asadamongkon P.,** St Hill, N., Lee K. C. 2000. “*A study of turbulence and cyclic variations levels in internal combustion engine cylinder*” Proc. 10 th. Symp. “Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics”, Lisbon, Portugal, July 2000.
4. **Asadamongkon P., 2001.** “*Characteristic of the Flow Through Dual-Intake Valves Gasoline Engines*”. Ph.D. Thesis, King’s College London, University of London.
5. **Asadamongkon P., 2001** “*Study of Turbulence and Cycle to Cycle Variation Level in SI Engine Cylinders*” 15th ME-net conference Bangkok Thailand.
6. H. C. Mak, D. Hann, **Asadamongkon. P+** and M. Yianneskis “*The variation of the steady flow in a DI engine intake due to vortex shedding*” (in preparation of ImechE paper).