การพัฒนาการอบแห้งปลาหมึกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโมดุล

The Development of Drying Squid with a Solor Modular Dryer

จงจิตร์ หิรัญลาภ* วารุณี เตีย* เสริม จันทร์ฉาย** ศิรินุช จินดารักษ์***

บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งแบบโมดุลเป็นเครื่องอบแห้งที่มีลักษณะพิเศษ คือ สามารถทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศ และอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องอบแห้งแบบโมดุลมาทำการทดลองอบแห้งปลาหมึก โดยทำการอบแห้งปลาหมึกได้ครั้งละประมาณ 10 กิโลกรัม (135 ตัว) จากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 82 มาตรฐานเปียก ให้มีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 25 มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 14 ชั่วโมง โดยเริ่มทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง จากการทดลองหาค่าตัวแปรการอบแห้งที่เหมาะสม พบว่าการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศ 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 ของอากาศที่ใช้ทั้งหมด เป็นค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาหมึก เมื่อศึกษาการสิ้นเปลืองพลังงาน ในวันที่มีรังสีอาทิตย์ตกบนแผงรับแสง 19.05 เมกกะจูลต่อตารางเมตร และประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าร้อยละ 28.84 มีการใช้พลังงานความร้อนในการอบแห้ง 12.29 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 44.43 พลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 14.89 พลังงานความร้อนที่ได้จากมอเตอร์พัดลมเป่าอากาศร้อยละ 12.86 และพลังงานความร้อนที่ได้จากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 27.83 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ที่อุณหภูมิ และอัตราการไหลของอากาศเดียวกัน พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 25.86 ของพลังงานที่สิ้นเปลืองทั้งหมด เมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 15 ปี ต้นทุนรวมที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาหมึกมีค่า 13.84 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

คำสำคัญ (Keywords) : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ / ปลาหมึก / การอบแห้ง/ ความสิ้นเปลืองพลังงาน / พลังงานเสริม

* *คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ*

** *ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม*

*** *ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก*

Abstract

The solar modular dryer has special characteristics, that it has the ability to dry various kinds of products, and also able to control the drying temperatures, the air-flow rates an the ratio of spent air to be recycled.

The research used the dryer for presering squid, with a production capacity of 10 kg (135 squid). The initial moisture content of the product is 82% wb., with a finally moisture content of 25% wb.. The overall drying time is 14 hours by operating at 60°C for the firs 5 hours and 40 °C for the remaining 9 hours. The air-flow rate recorded was 0.048 kg/s, and 80% of the total air use for drying was recycled.

The energy consumption during drying was 12.29 MJ/kg H_2O evap., that is when solar radiation was at 19.05 MJ/m^2-d, permitting a solar collector efficiency of 28.84% The electrical energy consumed 44.43% The heat generated from the blower consumed were 12.86%, the solar energy 14.89% and energy from recycle air was 27.83% of the total energy consumed. The comparison of drying at the same temperatures and air-flow rates with 80% recycled and without recycled, it was determind that if the air recycle 80% was saved the energy consumption 25.86% of the total energy consumption when without recycle.

The life expectancy of the system is 15 years, with an operation cost of drying squids at 13.84 Baht/kg H_20 evap.

Keywords :Solar dryer / Dried squid / Drying / Energy consumption / Auxiliary energy

บทนำ

การตากแห้งปลาหมึก มีการทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และอุตสาหกรรมในครัวเรือนการอบแห้งปลาหมึกได้มีการพัฒนากรรมวิธีกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากปลาหมึกแห้งมีคุณค่าทางอาหารสูง กองโภชนาการ กรมอนามัย [1] ได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของปลาหมึกแห้ง พบว่าปลาหมึกแห้งปริมาณโปรตีนสูง และยังเป็นแหล่งของวิตามิน B_1, B_2 และ Niacin ปลาหมึกแห้งสามารถทำรายได้เข้าประเทศโดยเป็นสินค้าออกได้อีกด้วย เรืองอุไร โตกฤญณะ และคณะ [2] รายงานว่า มีการทำปลาหมึกแห้งหลายแบบ คือ ปลาหมึกแขวน ปลาหมึกแก้ว ปลาหมึกหนัง ปลาหมึกกลม และปลาหมึกวง การเรียกชื่อนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมปลาหมึกสด และ วิธีการตากแห้ง การพัฒนาการตากแห้งปลาหมึกเริ่มต้นจากการตากแห้งตามธรรมชาติ ในแต่ละท้องถิ่นจะมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันออกไป ประเสริฐ รัตนชู [3] และกอบแก้ว จรรยานิทัศน์ [4] กล่าวถึงการตากแห้งปลาหมึกที่ตำบลบ้านเพ และที่หัวหิน ตามลำดับ ขั้นตอนเริ่มต้นการเตรียมปลาหมึกสดทั้งสองที่จะเหมือนกัน คือผ่ากลางลำตัว นำใส้ ไข่ และ

ส่วนที่อยู่ภายในออกให้หมดลอกหนังและครีบออก การล้าง ปลาหมึกจะแตกต่างกัน ที่บ้านเพล้าง ด้วยน้ำทะเล แต่ที่หัวหินจะนำปลาหมึกไปแช่ในน้ำเกลือที่มีสีขาวขุ่นซึ่งมีส่วนผสมของผงชูรส น้ำตาล และยาฆ่าเชื้อ แล้วนำออกตาก โดยการแขวน หรือตากบนตะแกรง ประเสริฐ สายสิทธิ์ [5] รวบรวมกรรมวิธีการตากแห้งปลาหมึก พบว่า เมื่อล้างปลาหมึกให้สะอาดแล้ว นำมาแขวน หรือตากบนแผ่นกระดาน ถ้าแสงแดดดีจะใช้เวลาประมาณ 20-30 ชั่วโมง ถ้าแดดไม่ดีจะใช้ เวลาประมาณ 48-72 ชั่วโมง นำปลาหมึกแห้งที่ได้มาวางซ้อนกัน ใช้ผ้าใบหรือพลาสติกคลุมไว้ นำเอาของหนักวางทับข้างบน ทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน ปลาหมึกจะมีลักษณะยืดหยุ่นมากขึ้นเนื่องจากมีการแพร่กระจายของความชื้นภายในเนื้อเยื่อขึ้นมาใหม่ จากนั้นจึงนำปลาหมึกมาตากแห้งอีก 1-2 วัน การตากแห้งปลาหมึกตามธรรมชาติต้องอาศัยแสงแดดช่วยในการตากแห้ง ทำให้ไม่สามารถทำการตากแห้งได้ในฤดูฝน และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาปลาหมึกสดในวันที่ไม่มีแดด อีกทั้งยังประสบกับปัญหาการปนเปื้อนของฝุ่นละออง และการรบกวนจากแมลงอีกด้วย การตากแห้งในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้บางส่วน อัญชลี ศิริโชค [6] ได้ศึกษาการตากแห้งปลาหมึกในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีแผงรับรังสีขนาด 3.3 ตารางเมตร พื้นที่สำหรับวางวัตถุดิบ 2.0 ตาราง เมตร ทำการอบแห้งปลาหมึก 5 กิโลกรัม สามารถอบแห้งปลาหมึกได้ดีที่สุด มีอัตราการระเหยของน้ำ 0.380 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในขณะที่การตากแห้งตาม ธรรมชาติมีอัตราการระเหยน้ำ 0.371 กิโลกรัม/ชั่วโมง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 13.45 ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งต่อหน่วยพลังงานของตู้อบแห้ง มีราคาประมาณ 0.81 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง นอกจากการอบแห้งปลาหมึกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานอาทิตย์แล้ว ยังมีการแก้ไขปัญหาเรื่องการอบแห้งในวันที่ไม่มีแดด และในฤดูฝน โดยการอบแห้งในห้องอบแห้งที่ใช้แหล่งความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่น แสงไทย พจน์สมพงษ์ และคณะ [7] กล่าวว่า ชาวบ้านที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีทำการอบแห้งปลาหมึก โดยใช้ห้องอบแห้งที่ทำด้วยอิฐบล็อก ภายในห้องอบแห้งประกอบด้วย เตาความร้อนที่ใช้น้ำมันโซลาร์เป็นเชื้อเพลิง พัดลมเป่าลมร้อน และพัดลมดูดอากาศ ชั้นวางปลาหมึกสูง 1.5 เมตร ใช้เวลาในการอบแห้ง 4-8 ชั่วโมง แต่ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งยังต่ำอยู่ และจากการไปดูงานการแห้งของชาวบ้านที่ตำบลบางเสร่ ได้มีการทำปลาหมึกแขวนในห้องอบแห้งที่ทำด้วยไม้ขนาด 25 ตารางเมตร ใช้ความร้อนจากถ่านไม้ภายในห้องอบแห้งประกอบด้วย เตาถ่านขนาดกลาง 9 ลูก พัดลมเป่าอากาศเป็นพัดลมดาน 3 ใบพัด 6 เครื่อง แบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง โดยเติมถ่านให้เต็มเตาอยู่เสมอ นำออกมานวดและในช่วงที่ 2 ทำการอบแห้งจนกว่าจะได้ความชื้นที่ต้องการอีกเป็นเวลา 11-12 ชั่วโมง แต่จะใช้ถ่านน้อยๆ การตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์หรือการใช้เครื่องอบแห้งที่ผ่านมานี้ ไม่สามารถแก้ปัญหาของการอบแห้งได้ทั้งหมด การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบโมดุลเป็นการแก้ปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้น เพราะเป็นเครื่องอบแห้งต้นแบบที่สามารถควบคุมตัวแปรที่จำเป็นสำหรับการอบแห้งได้ และสามารถใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น ในการวิจัยนี้เลือกใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริม เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่ง่ายต่อการควบคุม โดยศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการอบแห้งปลาหมึกหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม สำหรับการอบแห้งปลาหมึกของเครื่องอบแบบโมดุล และหาต้นทุนการอบแห้งปลาหมึก

เครื่องอบแห้งแบบโมดุล

เครื่องอบแห้งแบบโมดุลซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก และใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริมในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งนี้มีความสามารถในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด และสามารถกำหนดระยะเวลาในการอบแห้งได้ค่อนข้างคงที่ เพราะสามารถควบคุมตัวแปรที่จำเป็นในการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศได้อีกที่ยังมีระบบที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน คือ ระบบของการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ ระบบการไหลเวียนของอากาศภายในห้องอบแห้งเป็นแบบบังคับโดยใช้พัดลมเป่าอากาศ 746 วัตต์ การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งใช้ เทอร์โมสแตท และใช้ขดลวดความร้อนไฟฟ้าขนาด 830 วัตต์ จำนวน 3 ตัว สำหรับให้ความร้อนกับเครื่องอบแห้งในกรณีอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งไม่เพียงพอ แผงรับรังสีอาทิตย์เป็นแผ่นเรียบขนาด 2.5 ตารางเมตร ขนาดของตู้บรรจุผลิตภัณฑ์ 0.6 ตารางเมตร ท่อนำอากาศร้อน และท่อนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.12 เมตร แสดงดังรูปที่ 1 ปลาหมึกแห้งที่ได้เป็นปลาหมึกแขวน ทำการอบแห้งปลาหมึกที่อุณหภูมิในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในช่วง 0.83-4 เมตรต่อวินาที และอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 50 และ 80 ของอากาศที่ใช้แล้วทั้งหมด

วิธีการทดลองและผล

จากการสำรวจการอบแห้งปลาหมึกของชาวบ้านที่ทำการอบแห้งภายในตู้อบแห้งแบบที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง พบว่าในการอบแห้งปลาหมึกจะแบ่งการอบแห้งเป็น 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ ในช่วงแรกของการอบจะใช้อุณหภูมิสูงในการอบ และช่วงท้ายของการอบแห้งจะใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 16 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้ใช้ปลาหมึกกล้วยในการอบแห้งโดยมีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 82 มาตรฐานเปียก และปลาหมึกหลังอบแห้งแล้วมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 25 มาตรฐานเปียก และจากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 องศาเซลเซียสในช่วงหลัง ความเร็วลมที่ใช้ คือ 0.83 เมตรต่อวินาที ทำการปรับเทียบให้เป็นอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องอบแห้งแบบโมดุล มีค่าเท่ากับ 0.060 กิโลเมตรต่อวินาที และกำหนดอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ ร้อยละ 80 และร้อยละ 50 ของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด พิจารณาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งแบบโมดุล จากลักษณะทางกายภาพของปลาหมึกแห้งที่ได้ ความสิ้นเปลืองพลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึกของเครื่องอบแห้งแบบโมดุล จะได้มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน แต่ถ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งร้อนได้ถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้แล้ว เครื่องควบคุมอุณหภูมิก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ ทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งร้อนขึ้น โดยใช้ความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าและพลังงานที่ได้จากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ จากการใช้พลังงานที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะแบ่งเป็นพลังงานที่สามารถประหยัดได้ คือ พลังงานที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์และพลังงานจากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับขดลวดความร้อน และพัดลมเป่าอากาศภายในห้องอบแห้ง เป็นพลังงานที่สิ้นเปลืองสำหรับการอบแห้ง ผลการทดลองแสดงได้ดังตาราง

Table 1 Experimental results of squid drying

Description	Test No.						
	1	2	3	4	5	6	7
Drying air condition							
temperature (°C)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
air flow rate (kg/s)	0.036	0.036	0.048	0.048	0.060	0.060	0.048
fraction of air	50	80	50	80	50	80	No re.
recycle (%)							
Ambient condition							
temperature (°C)	29.4	30.9	31.6	29.9	32.9	31.0	30.1
relative humidity (%)	79.19	73.51	72.03	84.65	74.42	74.78	79.45
Condition of squid							
before drying (%db)	467.86	497.73	492.42	507.53	485.82	472.74	507.90
after drying (%db)	61.54	24.61	33.26	39.10	35.28	28.87	37.04
initial weight (kg)	9.09	9.67	9.51	9.72	8.51	9.83	8.69
dry matter (kg)	1.60	1.62	1.61	1.60	1.45	1.72	1.43
Solar radiation	12.45	22.65	22.38	19.05	20.92	15.76	8.94
(MJ/m^2-d)							
Energy consumption							
(MJ/kg H_20 evap.)							
Heater	6.50	4.59	4.48	5.46	5.62	5.80	7.74
Motor	1.63	1.67	1.40	1.58	1.90	1.88	2.20
Solar	1.74	1.93	3.37	1.83	4.02	1.96	2.06
Specific Energy	9.87	8.16	9.25	8.86	11.54	9.37	11.95
Consumption							
Recycle	1.63	2.37	1.85	3.42	2.46	4.03	0.00
Energy saving							
Solar (%)	15.11	18.02	30.66	14.89	27.71	12.64	16.77
Recycle (%)	14.71	22.56	16.62	27.83	12.61	30.09	0.00
Total (%)	29.92	40.58	47.28	42.72	41.32	42.73	16.77
Drying time (h)							
T = 60°C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
T = 40°C	10.00	11.00	7.00	9.00	7.00	9.00	5.00
Total time (h)	15.00	16.00	12.00	14.00	12.00	14.00	10.00

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาด้านการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้ง พบว่าสภาวะอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดเมื่อพิจารณาถึงสมบัติทางกายภาพของปลาหมึกแห้ง และการกระจายของอากาศในห้องอบแห้ง พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที มีการกระจายของอากาศดีที่สุด และปลาหมึกแห้งที่ได้มีลักษณะดี แต่ถ้าอบแห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.036 กิโลกรัมต่อวินาที จะได้ปลาหมึกแห้งที่มีกลิ่นไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน อาจเนื่องมาจากในช่วงที่ปลาหมึกมีความชื้นสูง (ช่วงแรกของการอบแห้ง) มีอัตราการแห้งต่ำ และถ้าอบแห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.060 กิโลกรัมต่อวินาที จะได้ปลาหมึกแห้งที่แข็งไม่น่ารับประทาน อัตราการอบแห้งแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้งที่เหมาะที่สุดสำหรับการอบแห้งปลาหมึกด้วยตู้อบแห้งแบบโมดุล คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 9 ชั่วโมง รวมเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 14 ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้ง 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 จะสามารถประหยัดพลังงานได้ และปลาหมึกแห้งจะมีลักษณะทางกายภาพที่ดี ตรงกับความต้องการของท้องตลาด และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งใกล้เคียงกับการอบแห้งของชาวบ้าน

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งแบบโมดุล สามารถคำนวณได้จากสมการ [8]

$$e_c = 15.1 + 1553.2\ m - 12{,}736.8\ m^2 \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ e_c = ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งแบบโมดุล (%)

m = อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ (กิโลกรัมต่อวินาที)

จากการทดลอง เมื่อใช้อัตราการไหลเวียนกลับของอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 ทำให้อากาศไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ร้อยละ 20 เมื่ออัตราการไหลของอากาศในห้องอบแห้ง 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที แทนค่าอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ 0.0096 กิโลกรัมต่อวินาที จะได้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ร้อยละ 28.84 ในวันที่ทำการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับรังสีอาทิตย์ มีค่า 19.05 เมกกะจูลต่อตารางเมตร และแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถใช้ในการอบแห้งมีค่า 13.73 เมกกะจูล

พลังงานความร้อนที่ได้จากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{re} = m_{re}\ Cp\ (T_o - T_a) \quad \text{..... (2)}$$

เมื่อ

Q_{re} = พลังงานความร้อนที่ได้จากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ (กิโลจูล/วินาที)

m_{re} = อัตราการไหลของอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่ (กิโลกรัมต่อวินาที)

Cp = ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ(กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

T_o = อุณหภูมิอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง (องศาเซลเซียส)

T_a = อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

จากการวิจัย โดยทำการอบแห้งที่อัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้

ใหม่ร้อยละ 80 จะได้ค่าพลังงานความร้อนในส่วนนี้เท่ากับ 25.65 เมกกะจูล

สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ สำหรับมอเตอร์พัดลมเป่าอากาศภายในห้องอบแห้ง มีค่า 10.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง แฟคเตอร์ที่ใช้ในการคิดเทียบพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล มีค่า 2.93 และกำหนดให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์พัดลมมีค่าร้อยละ 80 [9] จะได้พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งของพัดลมเป่าอากาศมีค่าเท่ากับ 11.81 เมกกะจูล และขดลวดความร้อนมีการใช้ไฟฟ้า 11.37 กิโลวัตต์ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 40.92 เมกกะจูล สำหรับสัดส่วนพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึกสามารถแสดงได้ดังตาราง

Table 2 Energy consumption of the modular solar dryer

Energy source	Energy consumption (MJ/kg H_20 evap.)
Motor	1.58
Heater	5.46
Solar	1.83
Recycle	3.42
Total	12.29

จากตารางที่ 2 พบว่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึก จะแบ่งออกเป็น พลังงานที่ได้จากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 27.83 พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 57.28 และพลังงานที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ร้อยละ 14.89 ของพลังงานที่ต้องการในการอบแห้งปลาหมึก ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้มีค่าสูงถึงร้อยละ 42.72 ของพลังงานที่ต้องการทั้งหมดทำให้สามารถกล่าวได้ว่า ระบบการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่นี้สามารถประหยัดพลังงานได้ เพราะอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้วอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศแวดล้อม การนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ในสัดส่วนที่พอเหมาะจะทำให้ประหยัดพลังงานได้มาก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบระบบที่ไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่สามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 25.86 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด แสดงดังกราฟรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะ 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที ในขณะที่มีการนำอากาศร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 และไม่มีการนำอากาศร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ตามลำดับ ส่วนพลังงานที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์ เมื่อแผงรับรังสีมีประสิทธิภาพร้อยละ 28.84 ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับอาทิตย์ 19.05 เมกกะจูล ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 14.89 และเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึก จากสมมติฐานที่ใช้ คือ

1. เงินทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง 34,478 บาท เมื่อได้รับการปรับราคาเป็นราคาในปัจจุบันจากราคาเดิม 32,000 บาท

2. อัตราส่วนลดตลอดอายุการใช้งานร้อยละ 15.75 ต่อปี

3. อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 15 ปี

4. ค่าบำรุงรักษาต่อปีร้อยละ 10 ของมูลค่าเครื่องอบแห้ง

5. ไม่คิดมูลค่าซากของเครื่องอบแห้ง

6. ค่าไฟฟ้าสำหรับขดลวดความร้อนและมอเตอร์ใช้ในการอบแห้ง 5,148.64 บาทต่อปี สำหรับค่าไฟฟ้าคิดด้วยอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก [10]

7. การทำงานของเครื่องอบแห้ง 14 ชั่วโมง/วัน อบแห้งปลาหมึกได้ 2,332.8 กิโลกรัม ปริมาณน้ำที่ระเหยได้ 1,800 กิโลกรัม และได้ปลาหมึกแห้ง

532.8 กิโลกรัม/ปี

8. กำหนด Escalation rate มีค่าร้อยละ 4 ต่อปี

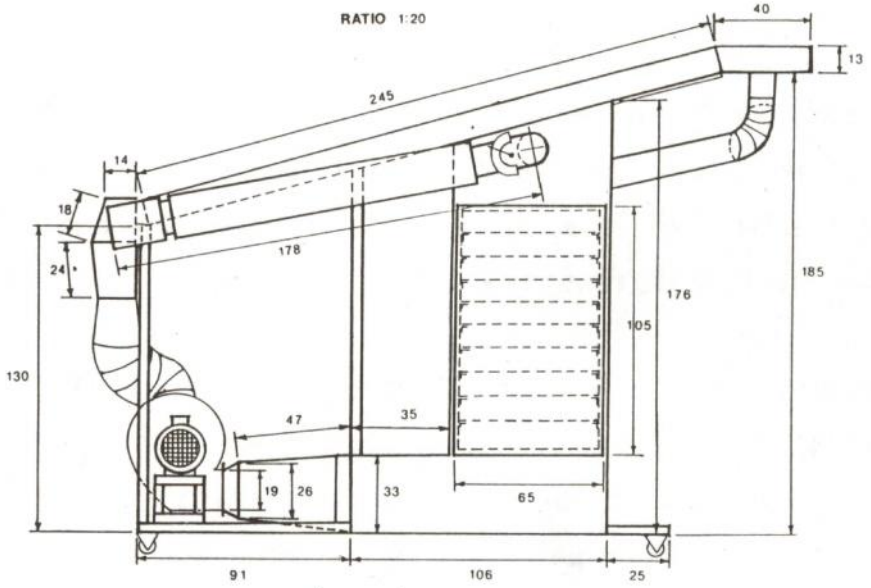
จากสมมุติฐานดังกล่าวข้างต้น เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมรายปี โดยใช้วิธี Levelized Annual Cost จะมีค่าใช้จ่ายรายปี 24,914.69 บาท ทำให้ทราบต้นทุนในการอบแห้งต่อกิโลกรัมน้ำระเหยเป็น 13.85 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย แบ่งต้นทุนในการอบแห้งออกเป็นส่วนๆ ตามที่มาของรายจ่ายที่ใช้ คือ ต้นทุนสำหรับเครื่องอบแห้ง 3.40 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ต้นทุนสำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและค่าแรงงาน 7.00 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และต้นทุนสำหรับพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 3.45 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย เมื่อคิดเป็นร้อยละต่อต้นทุนที่ใช้ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 24.57 , 50.58 และ 24.93 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

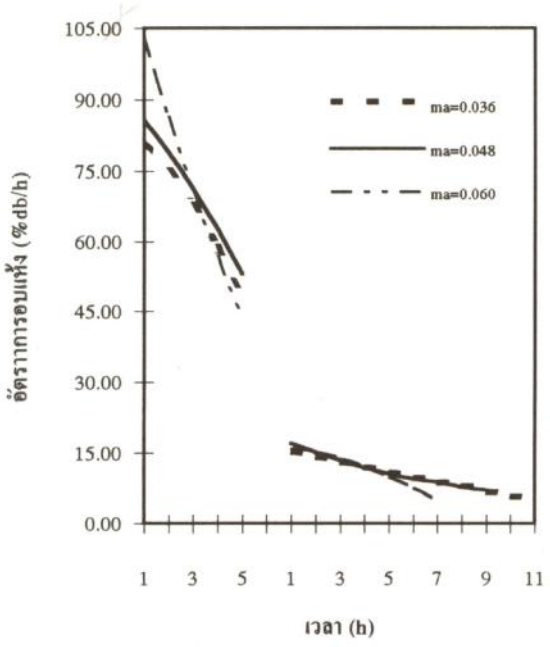
การใช้เครื่องอบแห้งแบบโมดุลในการอบแห้งปลาหมึก สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 ทำการอบแห้งปลาหมึก 10 กิโลกรัม (135 ตัว) ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 82 มาตรฐานเปียก จนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 25 มาตรฐานเปียก พลังงานความร้อนจำเพาะที่ใช้ในการระเหยน้ำ 12.29 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง แบ่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้า 7.04 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย พลังงานแสงอาทิตย์ 1.83 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และพลังงานที่ได้จากการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ 3.42 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ซึ่งในการอบแห้งนี้สามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งได้ร้อยละ 42.72 ของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึก 13.84 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

กิตติกรรมประกาศ

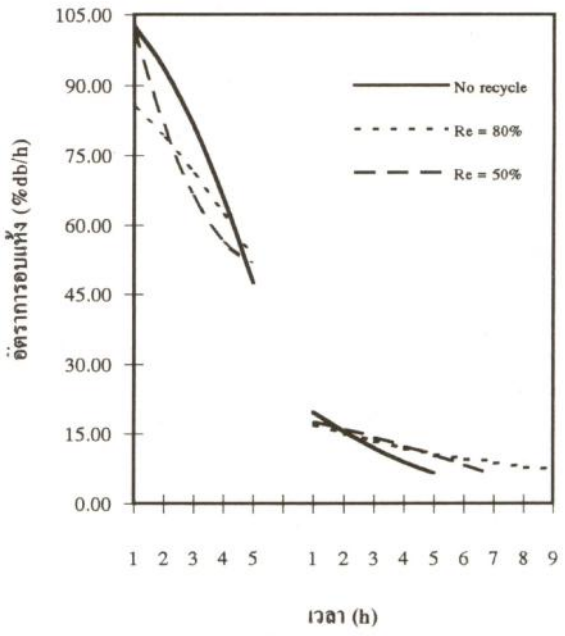
งานวิจัยนี้ ส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2533-2535 ของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม



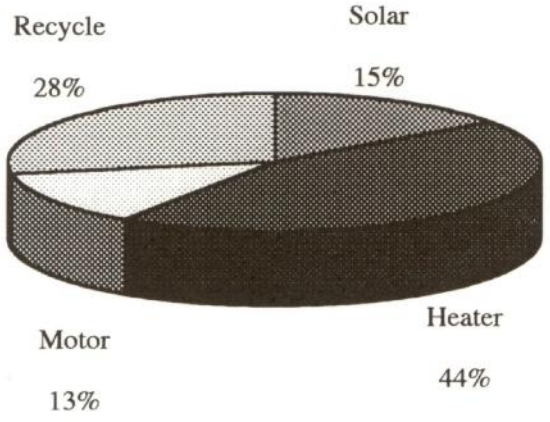
รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบโมดุล



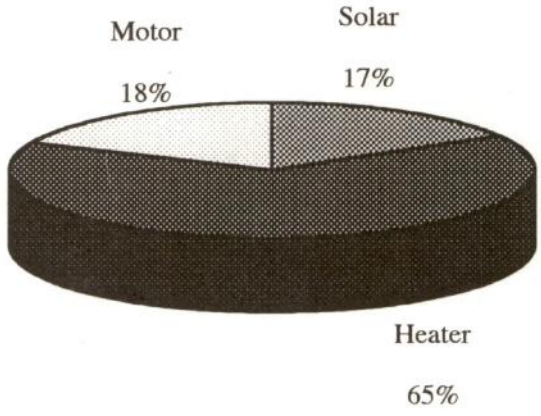
รูปที่ 2 อัตราการอบแห้ง ที่ Recycle 80%



รูปที่ 3 อัตราการอบแห้ง ที่ m_a = 0.048 kg/s



รูปที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ m_a = 0.048 kg/s , Recycle 80%Total energy 8.87 MJ/kg H_2O evap.



รูปที่ 5 ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ m_a = 0.048 kg/s , No recycle Total energy 11.94 MJ/kg H_2O evap.

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอนามัย, กองโภชนาการ, 2530, "ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม," หน้า 38.
2. เรืองไร โรกฤญณะ, สมคิด ทักษิณาวิสุทธิ์, มารุธ เมืองแก้ว และศานิต เก้าเอี้ยน, 2538, ระบบตลาดสินค้าปลาหมึกสดในประเทศไทย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 239 หน้า.
3. ประยุทธ รัตนชู, 2516 "ไปดูการทำปลาหมึกแห้งที่บ้านเพ," วารสารการประมง, สำนักงานกรมประมง กระทรวงกระเกษตรและสหกรณ์, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2, หน้า 263-267.
4. กอบแก้ว จรรยานิทัศน์, 2520, "ของดีที่หัวหิน," อุตสาหกรรมสาร, ปีที่ 20, ฉบับที่ 1, หน้า 48-51.
5. ประเสริฐ สายสิทธิ์, 2527, กรรมวิธีอุตสาหกรรมประมง ตอนที่ 3, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 109 หน้า.

6. อัญชลี ศิริโชค, 2528, การอบแห้งปลาหมึกกล้วย (Liligo sp.) โดยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 160 หน้า.
7. แสงไทย พจน์สมพงษ์ และศิโรจน์ ดุละลัมพะ, 2522, "การประดิษฐ์เครื่องตากแห้งสัตว์น้ำ," รายงานผลการทดลอง ปี 2522, กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 1-8.
8. ณัฐวุฒิ ดุษฎี, จงจิตร์ หิรัญลาภ, สมชาติ โสภณรณฤทธ์, พิชัย นามประกาย และ ศิริชัย เทพา, 2535, "การจำลองแบบการอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม," วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 1-12.
9. จงจิตร์ หิรัญลาภ, สุภวรรณ ฎิระวณิชย์กุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2835, "แนวทางการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองแบบเป็นงวด," วารสารสงขลานครินทร์, ปีที่ 14,ฉบับที่ 1, หน้า 33-46.
10. "อัตราค่าไฟฟ้า," เอกสารเผยแพร่การไฟฟ้านครหลวง พ.ศ.2534, 7 หน้า.
11. Duttie. J.A. and Backman, W.A., 1980, Solar engineering of thermal Processes, New York, Wiley & Son Inc., 386 p.
12. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535, การอบแห้งเมล็ดธัญพืช, พิมพ์ครั้งที่ 5, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 378 หน้า
13. W.F. Stoecker, 1989, Design of thermal systems, third Edition, Singapore, McGraw-Hill, Inc., pp. 27-52.