

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๖/๒๕๕๑



Technical Paper no. 6/2008

การออกแบบและทดลองประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

Design and Invent Hot Air Cabinet Fish Product Smoking

ฐิติวัฒน์ ทับจัน

สยาม เสริมทรัพย์

เพชรรัตน์ วงษ์จันทา

Titiwat Tubchan

Siam Sermsap

Petcharat Vongjanla

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

กรมประมง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Fishery Technological Development Division

Department of Fisheries

Ministry of Agriculture and Cooperative



การออกแบบและทดลองประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

Design and Invent Hot Air Cabinet Fish Product Smoking

ฐิติวัฒน์ ทับจัน

สยาม เสริมทรัพย์

เพชรรัตน์ วงษ์จันทา

Titiwat Tubchan

Siam Sermsap

Petcharat Vongjanla

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

กรมประมง

๒๕๕๑

Fishery Technological Development Division

Department of Fisheries

2008

รหัสทะเบียนวิจัยเลขที่ 50-0806-50010

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
ABSTRACT	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	3
วิธีดำเนินการ	3
ผลการศึกษา	5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	10
คำขอขอบคุณ	11
เอกสารอ้างอิง	11
ภาคผนวก 1 แสดงการคำนวณค่าจนวนความร้อนของผนังตู้	12
ภาคผนวก 2 แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานคุ้มทุน	14

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสุพรรณบุรี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การคำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนในการสร้างตู้อบลมร้อนและรวมวันผลิตกัณฑ์สัตว์น้ำ	7
2	การทดลองครั้งที่ 1 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (100,80) ^o C ปลาเขียงจำนวน 10.2-kg	8
3	การทดลองครั้งที่ 2 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (110,89) ^o C ปลาเขียงจำนวน 10.4-kg	8
4	การทดลองครั้งที่ 3 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (124,97) ^o C ปลาเขียงจำนวน 9.4-kg	8
5	การทดลองครั้งที่ 4 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (100,80) ^o C ปลาเขียงจำนวน 10.4-kg	8
6	การทดลองครั้งที่ 5 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (110,84) ^o C ปลาเขียงจำนวน 10.2-kg	9

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	5
2	แสดงรายละเอียดของตู้อบลมร้อน และรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	6
3	แสดงการเปรียบเทียบอัตราน้ำหนักปลาเชียงที่ลดลง	9
4	ระยะเวลาคื่นทุนของตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	10

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

การออกแบบและประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

ฐิติวัฒน์ ทับจัน สยาม เสริมทรัพย์ และ เพชรรัตน์ วงษ์จันทา*
กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

บทคัดย่อ

ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ได้ออกแบบประดิษฐ์ขึ้น เป็นตู้อบลมร้อนขนาดเล็กมีขนาด 60x95x200 ซม. ใช้งานง่ายสะดวกในการย้ายหรือเปลี่ยนที่ทำงาน โครงตู้ทำจากสแตนเลสกล่องขนาด 2.5x2.5 ซม. มีประตูเปิด-ปิด 2 บาน พนักตู้บุด้วยแผ่นฉนวนไม้อัดซีเมนต์หนา 8 มม. 2 ชั้น มีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำกว่า $0.25 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ และตู้ปิดทับแผ่นฉนวนด้วยแผ่นโลหะสแตนเลสหนา 0.4 มม. ทั้งภายในและภายนอกตู้เพื่อป้องกันการทำความสะอาดและปลอดภัยกับผู้บริโภค พนักตู้อบฯมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านความร้อนเท่ากับ $0.86 \text{ W/m}^2\text{C}$ ตู้ดังกล่าวสามารถรมควันและอบลมร้อนได้ในเวลาเดียวกันโดยอบได้ทั้งแบบแขวนแนวตั้งและวางบนแผงตะแกรงตะแกรงสแตนเลส จำนวน 5 ชั้น ติดตั้งท่อส่งเปลวความร้อนจากแก๊ส LPG. 3 ท่อ พร้อมวาล์วปรับแรงดัน ตัวตู้อบติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ 2 ตำแหน่ง คือลมร้อนก่อนผ่านผลิตภัณฑ์และลมร้อนหลังผ่านผลิตภัณฑ์เพื่อใช้กำหนดช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบประสิทธิภาพการอบของตู้ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบลมร้อนปลาเขียงอยู่ที่ $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมง สิ้นเปลืองแก๊สหุงต้มประมาณ 2 กิโลกรัมและไม่ต้องใช้พัดลมดูดอากาศ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ปลาเขียงที่ลดลงประมาณ 15.4% ราคาประเมินของตู้อบ 38,025 บาท ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อค่าใช้จ่ายในการทำงานของตู้อบลมร้อนอบผลิตภัณฑ์ปลาเขียงที่ผู้ประกอบการใช้เดิมเท่ากับ 6.30 บาทต่อกิโลกรัม แต่ตู้อบลมร้อนที่ได้ออกแบบประดิษฐ์ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพียง 3.25 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อใช้ตู้อบปีละ 1,000 ชั่วโมง ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4.25 ปี

คำสำคัญ ตู้อบลมร้อนและรมควัน, ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

Design and Invent Hot Air Drying and Smoking Cabinet for Fishery Products

Tittiwat Tubchan Siam Sermsap and Petcharat Vongjanla*

Fishery Technological Development Division

Abstract

A moveable and convenient-to-use hot air and smoking cabinet is designed and invented. The cabinet structure is made from rectangular stainless steel pipe, 2.5x2.5 cm and the cabinet size is 60-cm x 95-cm x 200-cm. The cabinet has 2 swinging doors. The cabinet wall compose of 2 layers of 8-mm insulator made from a mixture of cement and wooden board (its thermal conductivity is less than 0.25 W/m.°C) and covered with 0.4-cm thick stainless steel on both inner and outer surfaces to made it safe and easy to clean. The convective heat transfer coefficient of cabinet is 0.86 W/m²°C. The smoking and hot air drying process can be operated at the same time and the food can be vertically hanged or placed on 5 stainless steel trays. Heat is delivered to the cabinet via 3 pipe and generated by liquid propane gas controlled by pressure valve and two thermometers inside, located at before and after passing through food in order to provide the suitable temperature.

The optimal temperature for hot air drying for fish sausage is 100°C for 5 hours duration, which consumes liquid propane gas for 2-kilograms without ventilating fan and the weight loss is 15.4 % of weight. The estimated cost of the hot air and smoking cabinet is 38,025 baht. The cost analysis of the conventional cabinet is 6.30 baht/kilograms, but for the hot air and smoking cabinet is enable to reduce cost to 3.25 baht/kilograms. If the smoking cabinet runs at 1000 hours/year, the return period will be 4.25 years.

Keywords : Hot Air Drying and smoking Cabinet , Fishery Products

คำนำ

การแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่มีขั้นตอนในการอบลมร้อนและรมควันนั้นมีมากขึ้น เช่น ปลาเซียง ไข่กรอกปลา ปลากรอบแห้ง ปลาอบรมควันด้วยขานอ้อย แต่สถานประกอบการ หรือกลุ่มเกษตรกรแปรรูปสัตว์น้ำยังไม่มีตู้อบลมร้อนและรมควันที่ครอบคลุมและเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ เช่น ถ้าตู้ออกแบบใช้สำหรับแบบถาดก็ไม่สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แบบแขวนได้ เช่น จำพวก ปลาเซียง หรือไข่กรอกปลา และบางโอกาสผู้แปรรูปสัตว์น้ำก็อาจประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนขึ้นเองซึ่งอาจเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร หรือคุณสมบัติที่ไม่เป็นการประหยัดพลังงาน ตู้ไม่คงทน จึงได้มีความคิดที่จะประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนที่สามารถใช้ได้ทั้งผลิตภัณฑ์แบบแขวน และแบบถาดสำหรับอบลมร้อน และรมควัน อีกทั้งออกแบบตู้ให้มีการประหยัดพลังงานโดยเลือกวัสดุที่นำมาทำให้มีความเป็นฉนวนความร้อนสูง มีความคงทน หาได้ง่ายในท้องถิ่น และราคาถูกเพื่อที่ผู้ประกอบการแปรรูปสัตว์น้ำสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้เอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันสำหรับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ
2. เพื่อศึกษาสภาวะอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอบปลาเซียงของตู้อบที่สร้างขึ้น

วิธีดำเนินการ

1. เพื่อออกแบบประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

- แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Viva Board)หนา 8 มม.
- แผ่นสแตนเลส sus 304 หนา 0.4 มม.
- ตะแกรงสแตนเลส sus 304 เส้นลวด 0.8 มม. รูตะแกรงขนาด 10 รู ต่อ 25 มม.
- สแตนเลสฉาก sus 304 ขนาด 25x25x3 มม.
- ก่อ่งสแตนเลสสี่เหลี่ยม sus 304 ขนาด 25x25 มม.
- เครื่องเชื่อมโลหะ
- เครื่องเลื่อยโลหะ
- เครื่องเจาะโลหะ
- เครื่องพับโลหะแผ่น
- เครื่องเจียรมือ
- กรรไกรตัดโลหะแผ่น

- อุปกรณ์อื่นๆ

1.2 การออกแบบและกำหนดส่วนประกอบของตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรสามารถนำไปประดิษฐ์ขึ้นเองได้ง่าย วัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่น ผนังตู้มีฉนวนเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานความร้อน และวัสดุที่ใช้ถูกสุขลักษณะไม่มีสารพิษหรือสิ่งปลอมปนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ การอบแต่ละครั้งต้องอบผลิตภัณฑ์ได้ไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัม

2. เพื่อศึกษาสภาวะอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอบปลาเชิงของตู้ที่สร้างขึ้น

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 600 กก. ความละเอียด 200 กรัม
- เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 60 กก.
- ถังแก๊สหุงต้ม LPG. ขนาด 15 กก.
- วาล์วปรับแรงดันแก๊สพร้อมชุดกันไฟกลับถึง
- เวอร์เนียส แคลิเปอร์
- นาฬิกาจับเวลา
- เครื่องปรับเปลี่ยนความถี่กระแสไฟฟ้า
- เทอร์โมมิเตอร์

2.2 ทดสอบเบื้องต้นโดยการกำหนดสภาวะการอบตามที่มีผลิตภัณฑ์ปลาเชิงวางจำหน่ายในท้องตลาดแล้ว (กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร วัดสาธุ จังหวัดสิงห์บุรี) ดังนี้อุณหภูมิที่ใช้ออบผลิตภัณฑ์ปลาเชิงก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ 100°C และ 80°C ตามลำดับ อบนาน 6 ชั่วโมง ได้น้ำหนักที่ลดลงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักก่อนอบ ใช้เป็นข้อมูลสำหรับหาสภาวะการอบของตู้ที่สร้างขึ้นต่อไป

2.3 ทดสอบสภาวะการอบที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ปลาเชิงของตู้ที่สร้างขึ้น

- กำหนดช่วงอุณหภูมิทดสอบ 80°C - 110°C และปรับแต่งท่อเปลวไฟเพื่อให้ได้ อุณหภูมิที่ต้องการ
- ชั่งน้ำหนักปลาเชิงก่อนนำเข้าตู้อบ แล้วอบปลาเชิงเมื่อผ่านไปได้ 3 ชั่วโมงจึงนำปลาเชิงออกมาชั่งน้ำหนัก ให้สังเกตสี และคำนวณเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงก่อนนำเข้าอบต่อ
- นำปลาเชิงกลับเข้าไปอบใหม่แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ ชั่วโมง และให้เปรียบเทียบสี และลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายแล้วในท้องตลาด การทดสอบดำเนินไปจนกระทั่งน้ำหนักปลาเชิงที่ทดสอบจะลดลงมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักก่อนนำเข้าตู้อบ
- ตลอดจนการทดลองให้ ชั่งน้ำหนักถังแก๊สหุงต้ม และวัดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไป

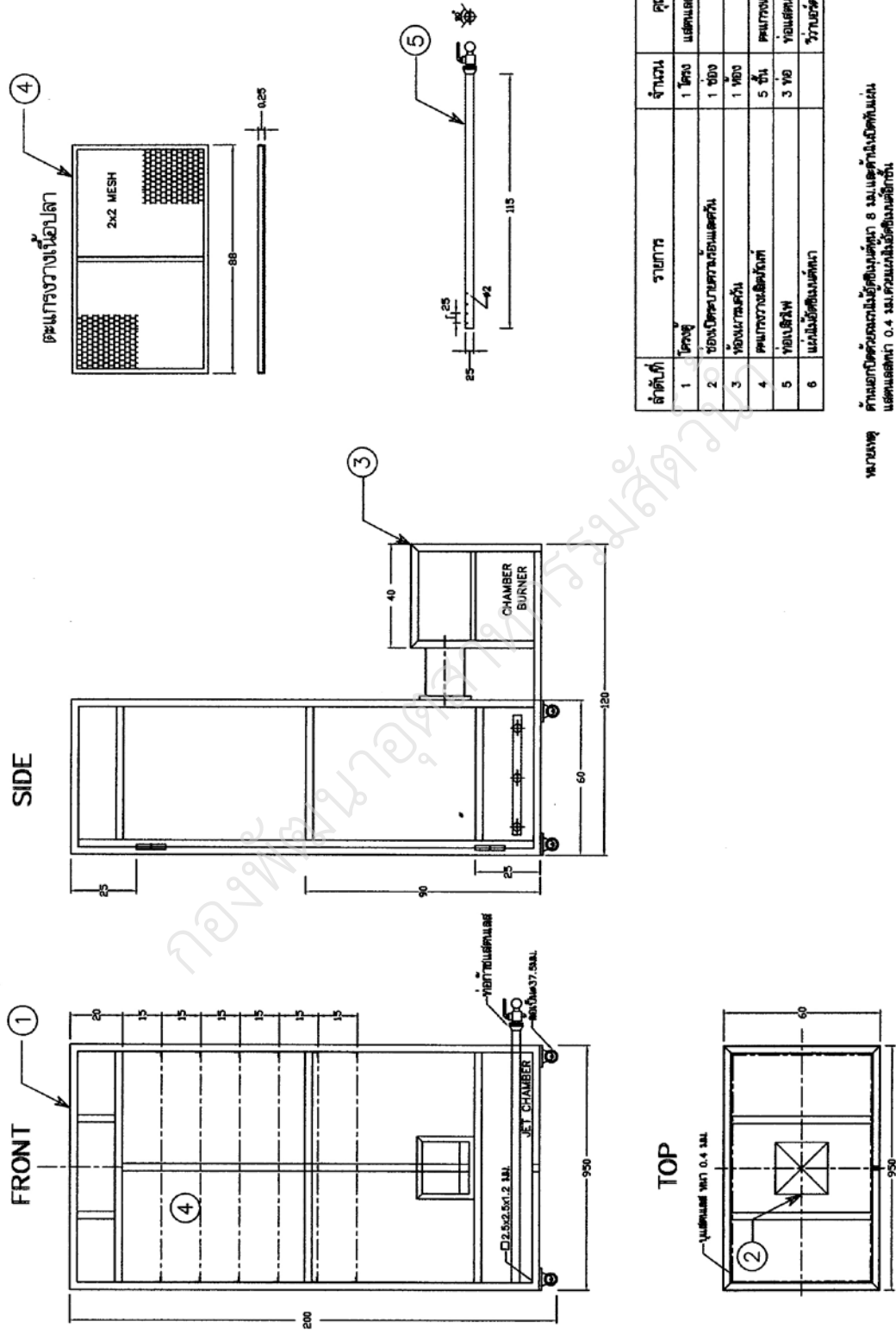
ผลการศึกษา

1. เพื่อออกแบบประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

ผลของการออกแบบตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำดังแสดงในภาพที่ 1 โครงตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทำจากสแตนเลสกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 2.5 x 2.5 ซม. เชื่อมยึดติดกันเป็นโครงตู้ขนาดด้านหน้ากว้าง 95 ซม. ลึก 60 ซม. สูง 2 ม. ปิดโครงด้วยไม้อัดซีเมนต์เป็นฉนวนความร้อน (ค่าการนำความร้อน ค่า k ต่ำกว่า $0.125 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) หนา 8 มม. จำนวน 2 ชั้น บนกล่องสแตนเลสสี่เหลี่ยมโดยมีระยะห่างเท่ากับความหนาของสแตนเลสกล่อง บนผนังด้านนอกและในตู้ด้วยแผ่นสแตนเลสหนา 0.4 มม. เพื่อป้องกันสิ่งปลอมปนจากฉนวนและทำความสะอาดได้ง่าย ความหนารวมของผนังตู้ 41.4 มม. และค่าฉนวนความร้อนรวมของผนังตู้เป็น $1.16 \text{ m}^2\text{C/W}$ (ดังรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก 1) แหล่งจ่ายความร้อนทำด้วยท่อสแตนเลสส่งเปลวไฟจากแก๊ส LPG 3 ท่อ พร้อมวาล์วปรับแรงดันและอุปกรณ์กันไฟย้อนกลับถึง ภายในส่วนบนของตู้มีราวสแตนเลส 3 แถวพร้อมกับตะขอเพื่อใช้สำหรับแขวนปลาเชียง และทำที่วางตะแกรงสแตนเลส 5 ถาด เวลาอบผลิตภัณฑ์ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้อากาศเหนือเปลวไฟร้อนกลายเป็นลมร้อนลอยขึ้นสูงผ่านผลิตภัณฑ์เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และความชื้นกับผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งลง และมีกล่องอยู่ด้านบนนอกส่วนล่างข้างหลังตู้ใช้สำหรับผลิตควัน โดยควันผ่านเข้าด้านล่างภายในตู้แล้วลอยขึ้นผ่านตัวผลิตภัณฑ์ได้ผลิตภัณฑ์รมควัน (ดังแสดงในภาพที่ 2) ภายนอกผนังตู้ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายในตู้ 2 ตำแหน่ง คือลมร้อนก่อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับตัวผลิตภัณฑ์ และลมร้อนหลังแลกเปลี่ยนความร้อนกับตัวผลิตภัณฑ์เพื่อใช้วัดช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีล้อ 4 ล้อ เพื่อให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก ภายในตู้สามารถแขวนหรือวางผลิตภัณฑ์สำหรับอบหรือรมควันได้ครั้งละไม่ต่ำกว่า 50 กิโลกรัม และต้นทุนในการประดิษฐ์ตู้อบลมร้อนนี้เท่ากับ 38,025 บาท ตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ



หมายเหตุ: ค่าขนาดเป็นค่าประมาณและอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการใช้งานจริง

ภาพที่ 2 แสดงรายละเอียดของตู้อบลมร้อน และรวมกันผลิตภัณฑ์ที่จัดทำ

ตารางที่ 1 การคำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนในการสร้างตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา
1	สแตนเลสกล่อง กว้าง 2.5 ซม. สูง 2.5 ซม. หน้า 1 มม.	5 เส้น	7,500
2	สแตนเลสแผ่น กว้าง 120 ซม. ยาว 240 ซม. หน้า 0.4 มม.	4 แผ่น	10,080
3	ท่อแก๊สและหัวปรับแก๊ส	1 ชุด	6,000
4	เทอร์โมมิเตอร์	2 อัน	1,200
5	วิว่าบอร์ด กว้าง 120 ซม. ยาว 240 ซม. หน้า 8 มม.	8 แผ่น	1,540
6	ลือเป็นขนาด 7.5 ซม.	4 ลือ	2,000
7	มือจับเปิดประตู	2 อัน	500
8	อื่นๆ		1,600
		รวม	30,420
		ค่าแรง 25%	7,605
		รวมทั้งสิ้น	38,025

2 เพื่อศึกษาภาวะอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบปลาเชียงของตู้อบที่สร้างขึ้น

จากการสอบถามข้อมูลผู้ผลิต (กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร วิชาฐา จังหวัดสิงห์บุรี) ความต้องการที่ให้ปริมาณน้ำระเหยออกต้องอย่างน้อย 15% ของน้ำหนักปลาเชียงที่ใช้อบ จากการทดลองเบื้องต้นตู้อบลมร้อนใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 5 ชั่วโมง จากตารางที่ 2 และ 3 เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ 100 °C และ 80 °C เป็น 110 °C และ 89 °C และมีการหมุนเวียนอากาศภายในตู้โดยใช้พัดลมดูดอากาศ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ปลาเชียงที่ลดลงจะเพิ่มขึ้นเป็น 17.6% และ 19.2% ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์เป็น 124 °C และ 97 °C หลังการอบ 3 ชั่วโมง พบว่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง 10% (ตารางที่ 4) สีของผลิตภัณฑ์จะแดงเข้มและเนื้อข้างในสุกไม่เป็นที่ต้องการของตลาด จึงหยุดการทดลองที่ 3 ชั่วโมง

เมื่อทดลองการอบโดยไม่ใช้พัดลมดูดอากาศ ที่อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ 100 °C และ 80 °C นาน 5 ชั่วโมงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ปลาเชียงที่ลดลงเป็น 15.4% (ตารางที่ 4) เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์เป็น 110 °C และ 84 °C น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ปลาเชียงที่ลดลงเป็น 15.7% (ตารางที่ 5) และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบมีสี และคุณลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ปลาเชียงที่ต้องการให้ลดลงก็อยู่ในช่วงที่กำหนด อีกทั้งยังไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพัดลม ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องติดพัดลมดูดอากาศ ในภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราน้ำหนักผลิตภัณฑ์ปลาเชียงที่ลดลงในสภาวะการอบต่างๆที่ทดสอบ พบว่าการใช้พัดลมดูดอากาศจะมีผลต่อการลดลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์มากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิ

จากผลการทดสอบสภาวะการอบปลาเชียงข้างต้นสามารถสรุปว่า อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและประหยัดในการอบลมร้อนผลิตภัณฑ์ปลาเชียงโดยไม่ใช้พัดลมดูดอากาศอยู่ที่ 100 °C และ 80 °C ใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมง ลิ่นเปลือกแก๊สหุงต้มประมาณ 2 กิโลกรัม

ตารางที่ 2 การทดลองครั้งที่ 1 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (100,80)°C ปลาเชียงจำนวน 10.2-kg

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิด้านล่าง (°C)	อุณหภูมิด้านบน (°C)	น้ำหนักถังแก๊ส (กิโลกรัม)	น้ำหนักปลาเชียง (กิโลกรัม)	หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ลดลงหลังการอบ
เริ่มต้น	30	30	31.2	10.2	ใช้พัลลมที่ความเร็วรอบ 20 Hz
1	100	80	30.8		
2	100	80	30.4		
3	105	84	30	9.2	9.8
4	100	80	29.6	8.8	13.7
5	100	80	29.2	8.4	17.6

ตารางที่ 3 การทดลองครั้งที่ 2 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (110,89)°C ปลาเชียงจำนวน 10.4-kg

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิด้านล่าง (°C)	อุณหภูมิด้านบน (°C)	น้ำหนักถังแก๊ส (กิโลกรัม)	น้ำหนักปลาเชียง (กิโลกรัม)	หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ลดลงหลังการอบ
เริ่มต้น	33	33	23.8	10.4	ใช้พัลลมที่ความเร็วรอบ 20 Hz
1	110	87	23.4		
2	110	89	23		
3	110	90	22.5	9.4	9.6
4	110	89	22.2	9	13.5
5	110	89	21.8	8.4	19.2

ตารางที่ 4 การทดลองครั้งที่ 3 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (124,97)°C ปลาเชียงจำนวน 9.4-kg

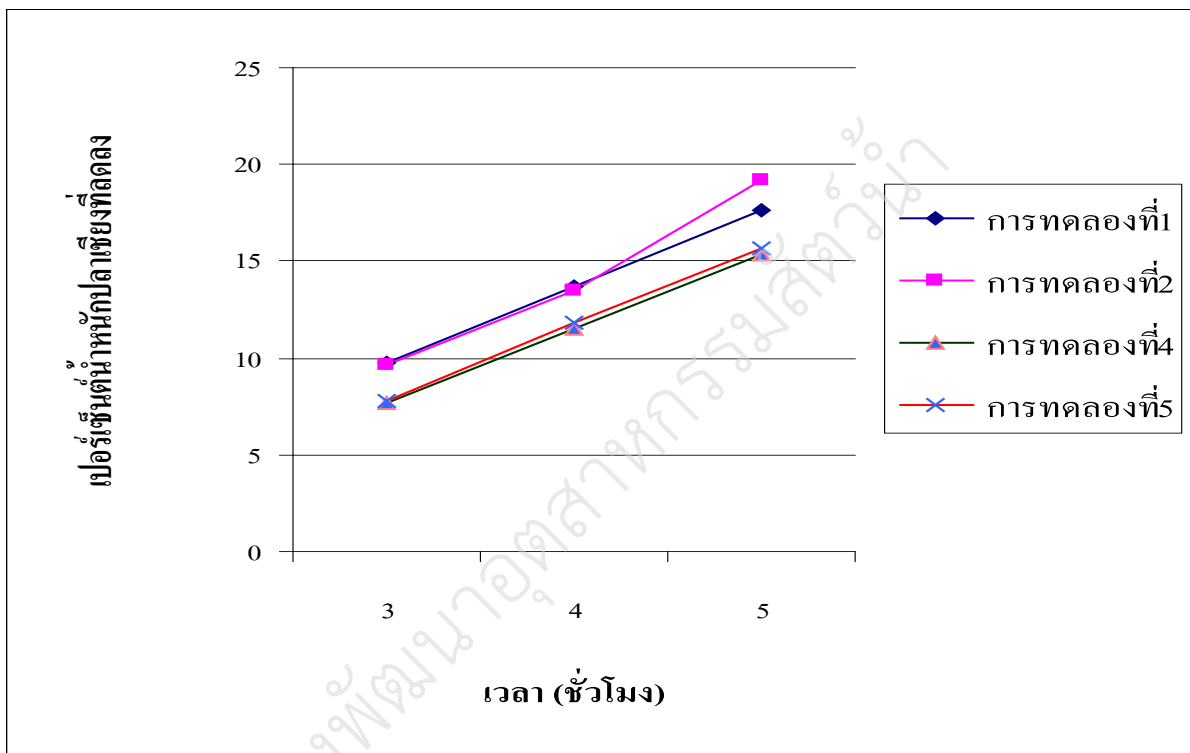
เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิด้านล่าง (°C)	อุณหภูมิด้านบน (°C)	น้ำหนักถังแก๊ส (กิโลกรัม)	น้ำหนักปลาเชียง (กิโลกรัม)	หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ลดลงหลังการอบ
เริ่มต้น	28	28	29	9.4	น้ำหนักปลาเชียงลดลง 1 kg
1	124	97	28.4		ใช้พัลลมระบายอากาศสลับเปลี่ยนพลังงาน
2	124	97	27.8		สีของปลาเชียงไหม้เนื้อปลาเชียงสุก
3	124	97	27.2	8.4	

ตารางที่ 5 การทดลองครั้งที่ 4 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (100,80)°C ปลาเชียงจำนวน 10.4-kg

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิด้านล่าง (°C)	อุณหภูมิด้านบน (°C)	น้ำหนักถังแก๊ส (กิโลกรัม)	น้ำหนักปลาเชียง (กิโลกรัม)	หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ลดลงหลังการอบ
เริ่มต้น	30	30	27.2	10.4	ไม่ใช้พัลลม
1	95	75	26.8		
2	100	80	26.4		
3	100	80	26.2	9.6	7.7
4	100	80	25.8	9.2	11.5
5	100	80	25.4	8.8	15.4

ตารางที่ 6 การทดลองครั้งที่ 5 อุณหภูมิก่อนและหลังผ่านผลิตภัณฑ์ (110,84)°C ปลาเชียงจำนวน 10.2-kg

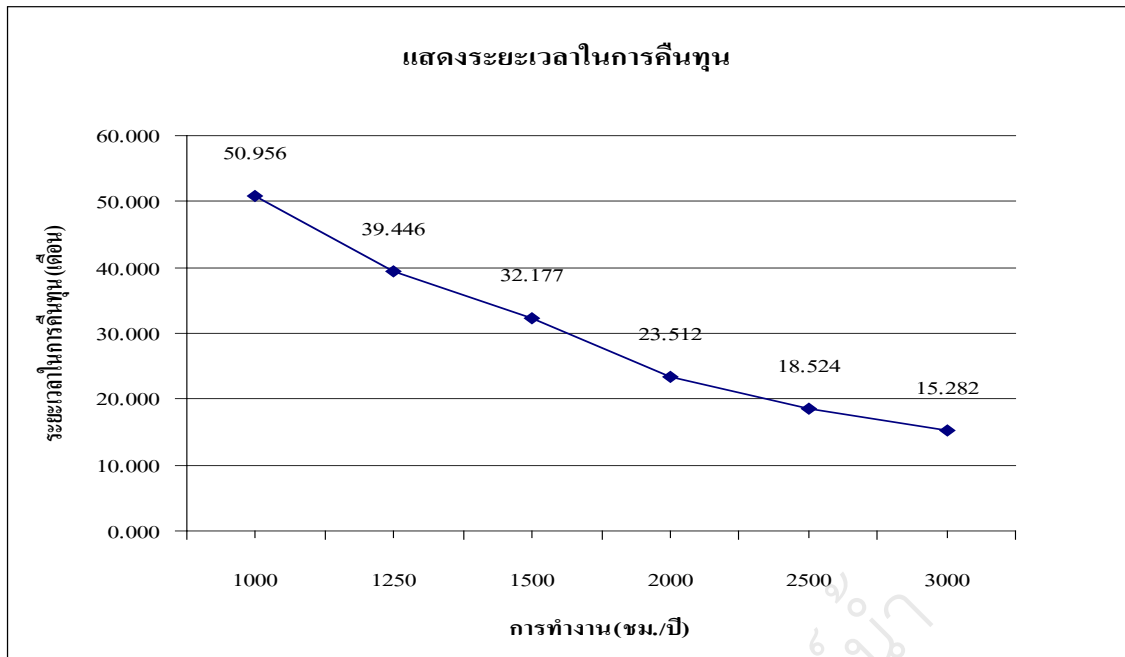
เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิด้านล่าง (°C)	อุณหภูมิด้านบน (°C)	น้ำหนักถังแก๊ส (กิโลกรัม)	น้ำหนักปลาเชียง (กิโลกรัม)	หมายเหตุ
เริ่มต้น	36	36	30.4	10.2	
1	110	82	29.8		
2	110	83	29.2		
3	110	85	28.8	9.4	7.8
4	110	87	28.2	9.0	11.8
5	110	87	27.8	8.6	15.7



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราน้ำหนักปลาเชียงที่ลดลง

การคำนวณ ค่าใช้จ่ายในการทำงาน จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน

ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงาน จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของตู้อบที่ออกแบบนี้ กำหนดจากต้นทุนในการประดิษฐ์ตู้อบเท่ากับ 38,025 บาท โดยการใช้งานของตู้อบปลาเชียงครั้งละ 50 กิโลกรัม อบวันละ 2 ครั้งๆละ 5 ชั่วโมง และการทำงาน 100 วันต่อปี พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำงานอบปลาเชียงเท่ากับ 3.25 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตู้อบที่ผู้ประกอบการใช้อยู่ในปัจจุบันจะเท่ากับ 6.30 บาทต่อกิโลกรัม (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 2) ส่วนจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของตู้อบที่ออกแบบนี้ (ภาพที่ 4) พบว่า การใช้งานตู้อบตามเงื่อนไขที่กำหนดข้างต้นหรือเท่ากับ 1,000 ชั่วโมงต่อปี ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 50.95 เดือน หรือ 4.25 ปี และเมื่อเพิ่มเวลาในการใช้งานให้สูงขึ้น ระยะเวลาในการคืนทุนก็จะสั้นลงตามลำดับ



ภาพที่ 4 ระยะเวลาคืนทุนของตู้อบลมร้อนและรมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

สรุปและข้อเสนอแนะ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบลมร้อนปลาเชิงอยู่ที่อุณหภูมิผ่านเข้าและออกจากผลิตภัณฑ์ 100°C และ 80°C ใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมง สิ้นเปลืองแก๊สหุงต้มประมาณ 2 กิโลกรัมและไม่ต้องใช้พัดลมดูดอากาศ น้ำหนักที่ลดลงของผลิตภัณฑ์ประมาณ 15.4% พัดลมดูดอากาศมีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของผลิตภัณฑ์มากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิ ราคาต้นทุนของตู้อบเท่ากับ 38,025 บาทต่อตู้ถ้าใช้งานตู้อบปีละ 1,000 ชั่วโมง ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4.25 ปี

ข้อเสนอแนะ เวลาแขวนปลาเชิงพยายามอย่าให้ตัวปลาเชิงติดกัน จะทำให้สีที่ได้ไม่สม่ำเสมอแก้ไขโดยการทำตะกร้อติดกับตะขอแขวนปลาเชิงเพื่อทำให้ปลาเชิงไม่ติดกันลมร้อนจะกระจายได้ทั่วถึงและควรตรวจสอบอุณหภูมิอย่าให้เกิน 100°C เป็นเวลานานเพราะจะทำให้สีของปลาเชิงที่ได้เข้มเกินไป ถ้าต้องการให้อัตราน้ำหนักที่ลดลงของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นก็ให้เปิดช่องเปิดที่อยู่ด้านบนตัวตู้ให้กว้างขึ้นเพื่อลมร้อนจะได้พาความชื้นไหลออกจากตู้ได้เร็ว และมากขึ้น

ในการทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของตู้อบครั้งนี้ไม่มีการทดสอบการรมควันกับผลิตภัณฑ์รมควัน เนื่องจากงบประมาณและเวลาไม่เพียงพอแต่หลักการรมควันเพียงต้องการกลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ให้เปลี่ยนไปซึ่งใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่ตู้อบนี้สามารถอบลมร้อนและรมควันพร้อมกันได้

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการกองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ คุณนิรชา วงษ์จินดา ที่ได้กรุณาจัดสรรงบประมาณให้ทำวิจัย ให้คำปรึกษา ผู้ประกอบอาชีพผลิตปลาเชิงไส้กรอกปลาที่ จ.ลพบุรี จ.สิงห์บุรี และนักวิชาการ ตลอดทั้งเจ้าหน้าที่กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ทุกท่านที่ช่วยให้การทำวิจัยประสบผลสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชุมพล ศฤงคารศิริ. 2546. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ฉบับปรับปรุงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ. 472 หน้า
- สุรศักดิ์ ชียงคบุตร. 2530. การปรับอากาศ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 279 หน้า
- SCG Siam Cement Group. 2007. แผ่นไม้อัดซีเมนต์ Viva Board : <http://www1.cementhai.com/crc/product/vivaboard.asp>, April, 10, 2007
- Engineering Toolbox. 2008. Resources. Tool and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications. Thermal Conductivity of some common Materials: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html, April, 23, 2008.

ภาคผนวก 1 : แสดงการคำนวณค่าฉนวนความร้อนของผนังตู้

สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์การไหลความร้อนผ่านฝ้าผนังหลายชั้น (สุรศักดิ์, 2530)

X = ความหนาวัสดุ

K = ส่วนผกผันของการต้านทานความร้อนของวัสดุ

R = ความต้านทานความร้อนของวัสดุ

K = X/R

R = X/K

C = ค่าการนำความร้อนของวัสดุ

C = 1/R

R_t = ความต้านทานรวมของฝ้าผนังหลายชั้น

$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

U = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านความร้อน

U = $1/R_t$

สมการการนำความร้อนผ่านวัสดุ

$Q = UA(t_o - t_i)$

Q = ค่าพลังงานความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ

U = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านความร้อน

A = พื้นที่ผิววัสดุ

$(t_o - t_i)$ = อุณหภูมิแตกต่างภายนอกและภายใน

ตู้อบรมร้อนขนาดกว้าง 0.95 เมตร ลึก 0.6 เมตร สูง 2 เมตร ประกอบด้วยแผ่นวิว่าบอร์ดหนา 8

มิลลิเมตร 2 ชั้น และมีช่องอากาศ 25 มิลลิเมตรภายในหุ้มด้วยสแตนเลสหนา 0.4 มิลลิเมตร

แผ่นวิว่าบอร์ด ค่า $K = 0.125 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (SCG Siam Cement Group, 2007)

ค่า K ของวัสดุ อื่นๆ (Engineering Toolbox, 2008)

อากาศ $K = 0.024 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

สแตนเลส $K = 16 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

จากสมการ $R = X/K$

แผ่นวิว่าบอร์ด $R = 0.008/0.125 = 0.064 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$

อากาศ $R = 0.025/0.024 = 1.0416 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$

สแตนเลส $R = 0.0004/16 = .000025 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$

ความต้านทานรวมของตู้อบรมร้อน

$$R_t = 0.064 + 0.064 + 1.0416 + 0.000025 = 1.16 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 1/1.16 = 0.86 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$Q = 0.86 \times 2 \left((0.95 \times 2) + (0.6 \times 2) + (0.95 \times 0.6) \right) \times (90 - 37) \\ = 3.89 \text{ W}$$

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสตาร์

ภาคผนวก 2 : แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานकु้มนทุน

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานकु้มนทุน

สำหรับตู้อบที่ได้ออกแบบ ใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมง อบครั้งละ 50 กิโลกรัมอบวันละ 2 ครั้ง ใช้แก๊สหุงต้มเฉลี่ย 2 กิโลกรัมต่อครั้ง เมื่อกำหนดให้การใช้งานเครื่อง 100 วัน หรือ 1,000 ชั่วโมง สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อกิโลกรัม) และระยะเวลาคืนทุนของตู้อบลมร้อนและรวมควันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (ชุมพล, 2546) ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้น

ค่าใช้จ่ายในการทำงานคำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ต้นทุนคงที่ ไม่รวมค่าใช้สถานที่

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight-Line Method

$$DP = (P-S)/L$$

P คือ ราคาซื้อของเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขาย หรือคงเหลือเมื่อเครื่องหมดอายุ (บาท)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

กำหนดให้ราคาซื้อตู้อบลมร้อน 38,025 บาท มูลค่าซากเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 5% ของ

ราคาซื้อ

$$\text{ราคาซากเครื่อง} = (5/100) \times 38,025 = 1,901.25 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (DP)} = (P-S)/L$$

$$= (38,025 - 1,901.25) / 10 = 3,612.37 \text{ บาท}$$

ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment) คิดค่าเสียโอกาส

$$I = (P+S)/2 \times i/100$$

I คือ ค่าเสียโอกาส

P คือ ราคาซื้อของเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขาย หรือคงเหลือเมื่อเครื่องหมดอายุ (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (เปอร์เซ็นต์) กำหนดให้อัตราดอกเบี้ย 7.5%

$$\text{ค่าเสียโอกาส} = (38,025 + 1,901.25) / 2 \times 7.5 / 100 = 1,497.23 \text{ บาท/ปี}$$

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed Cost) = ค่าเสื่อมราคา + ค่าเสียโอกาส

$$= (3,612.37 + 1,497.23)$$

$$= 5,109.6 \text{ บาทต่อปี}$$

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 100 วัน

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = 5 \times 100 = 500 \text{ บาท/ปี}$$

ค่าแก๊สหุงต้มเฉลี่ย 0.4 กิโลกรัม/ชั่วโมง ราคาแก๊สหุงต้มหน่วยละ 10.87 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 100 วัน คิดเป็นค่าแก๊สหุงต้ม $(0.4 \times 10 \times 10.87 \times 100) = 4,348$ บาท

ค่าจ้างแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 180 บาท/วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน คิดเป็นต่อ ชั่วโมง $180/8 = 22.5$ บาท/ชั่วโมง 1 คนทำงาน 1,000 ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าจ้างแรงงาน $22.5 \times 1000 = 22,500$ บาท/ปี

$$\begin{aligned} \text{รวมต้นทุนแปรผัน} &= \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าแก๊สหุงต้ม} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} \\ &= 500 + 4,348 + 22,500 \\ &= 27,348 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนในการใช้งานของตู้อบลมร้อน} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\ &= 5,109.6 + 27,348 \\ &= 32,457.6 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) ของตู้อบความร้อนที่ทำงาน 100 วัน/ปี ความสามารถในการทำงานของตู้อบ 100 กิโลกรัม/วัน หรือ 10 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม)} &= \text{ต้นทุนในการใช้งานของเครื่อง} / (\text{ความสามารถใน} \\ &\text{การทำงานของเครื่อง} \times \text{ชั่วโมงทำงาน}) \\ &= 32,457.6 / (100 \times 100) \\ &= 3.245 \text{ บาท/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/วัน)} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม)} \times \text{ความสามารถใน} \\ &\text{การทำงานของเครื่อง} \\ &= 3.245 \times 100 \\ &= 324.5 \text{ บาท/วัน หรือ } 32.45 \text{ บาท/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

สำหรับเครื่องที่สถานประกอบการใช้งานอยู่เป็นประจำเป็นตู้เหล็กหุบสีราคา 15,000 บาทใช้ คนงาน 1 คนปฏิบัติงานวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องได้ 0.373 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ใช้เวลาอบ 6 ชั่วโมง อบ ครั้งละ 30 กิโลกรัมอบวันละ 2 ครั้ง ใช้แก๊สหุงต้มเฉลี่ย 0.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อกำหนดให้การใช้งาน เครื่อง 100 วัน หรือ 1,200 ชั่วโมง สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อกิโลกรัม) และระยะเวลา คินทุนของตู้อบลมร้อนและรวมวันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

2 ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องที่สถานประกอบการใช้

ค่าใช้จ่ายในการทำงานคำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ต้นทุนคงที่ ไม่รวมค่าใช้สถานที่

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight-Line Method

$$DP = (P-S)/L$$

P คือ ราคาซื้อของเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขาย หรือคงเหลือเมื่อเครื่องหมดอายุ (บาท)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

กำหนดให้ราคาซื้อตู้อบรมร้อน 15,000 บาท มูลค่าซากเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 5% ของ

ราคาซื้อ

$$\text{ราคาซากเครื่อง} = (5/100) \times 15,000 = 750 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (DP)} = (P-S)/L$$

$$= (15,000-750)/10 = 1,425 \text{ บาท}$$

ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment) คิดค่าเสียโอกาส

$$I = (P+S)/2 \times i/100$$

I คือ ค่าเสียโอกาส

P คือ ราคาซื้อของเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขาย หรือคงเหลือเมื่อเครื่องหมดอายุ (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (เปอร์เซ็นต์) กำหนดให้อัตราดอกเบี้ย 7.5%

$$\text{ค่าเสียโอกาส} = (15,000+750)/2 \times 7.5/100 = 590.6 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed Cost)} = \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ค่าเสียโอกาส}$$

$$= (1,425+590.6)$$

$$= 2,015.6 \text{ บาทต่อปี}$$

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 10 บาท ทำงาน 100 วัน

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = 10 \times 100 = 1000 \text{ บาท/ปี}$$

ค่าไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟเฉลี่ย 0.373 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยหน่วยละ 2.78 บาท

ใน 1 ปีทำงาน 1200 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า = $0.373 \times 2.78 \times 1200 = 1,244.33$ บาท

ค่าแก๊สหุงต้มเฉลี่ย 0.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง ราคาแก๊สหุงต้มหน่วยละ 10.87 บาท ใน 1 ปี

ทำงาน 100 วัน คิดเป็นค่าแก๊สหุงต้ม $(0.5 \times 12 \times 10.87 \times 100) = 6,522$ บาท

ค่าจ้างแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 180 บาท/วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน คิดเป็นต่อ

ชั่วโมง $180/8 = 22.5$ บาท/ชั่วโมง 1 คนทำงาน 1200 ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าจ้างแรงงาน $22.5 \times 1200 =$

27,000 บาท/ปี

$$\begin{aligned}
 \text{รวมต้นทุนแปรผัน} &= \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าแก๊สหุงต้ม} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} \\
 &= 1000 + 1244.33 + 6522 + 27000 \\
 &= 35,766.33 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ต้นทุนในการใช้งานของตู้อบลมร้อน} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\
 &= 2,015.6 + 35,766.33 \\
 &= 37,781.93 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) ของตู้อบความร้อนที่ทำงาน 100 วัน/ปี
ความสามารถในการทำงานของตู้อบ 60 กิโลกรัม/วัน หรือ 5 กิโลกรัม/ชั่วโมงได้

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) = ต้นทุนในการใช้งานของเครื่อง / (ความสามารถในการทำงานของเครื่อง x ชั่วโมงทำงาน)

$$\begin{aligned}
 &= 37,781.93 / (60 \times 100) \\
 &= 6.3 \text{ บาท/กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/วัน) = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) x ความสามารถในการทำงานของเครื่อง

$$\begin{aligned}
 &= 6.3 \times 60 \\
 &= 378 \text{ บาท/วัน หรือ } 31.5 \text{ บาท/ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

การใช้งานคุ้มทุนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเดิมที่สถานประกอบการใช้งาน

การใช้งานคุ้มทุน = ต้นทุนคงที่ / (ค่าใช้จ่ายเดิม - ค่าใช้จ่ายใหม่)

ค่าใช้จ่ายตู้อบเดิมใช้เวลาอบ 12 ชั่วโมงคิดเป็น 378 บาท/วัน (31.5 บาท/ชั่วโมง) ค่าใช้จ่ายสำหรับตู้อบตัวใหม่ใช้เวลาอบ 10 ชั่วโมงคิดเป็น 324.5 บาท/วัน (32.45 บาท/ชั่วโมง) ต้นทุนคงที่ของตู้อบตัวใหม่ 5,109.6 บาท/ปี

$$\begin{aligned}
 \text{การใช้งานคุ้มทุน} &= 5,109.6 / (378 - 324.5) \\
 &= 95.5 \text{ วัน/ปี หรือ } 955 \text{ ชั่วโมง/ปี}
 \end{aligned}$$

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ต้นทุนผันแปร = ค่าบำรุงรักษา + ค่าแก๊สหุงต้ม + ค่าจ้างแรงงาน

ต้นทุนรวม = ต้นทุนผันแปร + ดอกเบี้ย

ผลประโยชน์ที่ได้รับ = ค่าใช้จ่ายเดิม x วันทำงานต่อปี

ผลประโยชน์สุทธิ = ผลประโยชน์ที่ได้รับ - ต้นทุนรวม

ระยะเวลาคืนทุน(เดือน) = (ราคาเครื่อง / ผลประโยชน์สุทธิ) x 12

ต้นทุนผันแปร = 500 + 4348 + 22500 = 27,348 บาท/ปี

ต้นทุนรวม = 27,348 + 1497.23 = 28,845.23 บาท/ปี

ผลประโยชน์ที่ได้รับ = 378 x 100 = 37,800 บาท/ปี

$$\begin{aligned} \text{ผลประโยชน์สุทธิ} &= 37,800 - 28,845.23 &= 8,954.77 \text{ บาท/ปี} \\ \text{ระยะเวลากู้เงิน} &= (38025 / 8954.77) \times 12 &= 50.95 \text{ เดือน หรือ } 4.25 \text{ ปี} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์การคืนทุนต่อบลมร้อนและรวมคว้นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

ชั่วโมง ทำงาน (ชั่วโมง/ ปี)	ดอกเบี้ย (บาท/ปี)	ต้นทุน ผันแปร (บาท/ปี)	ต้นทุน รวม (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ ที่ได้รับ (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ สุทธิ (บาท/ปี)	ระยะเวลา คืนทุน (เดือน)
1000	1497.23	27348.00	28845.23	37800.00	8954.77	50.956
1250	1497.23	34185.00	35682.23	47250.00	11567.77	39.446
1500	1497.23	41022.00	42519.23	56700.00	14180.77	32.177
2000	1497.23	54696.00	56193.23	75600.00	19406.77	23.512
2500	1497.23	68370.00	69867.23	94500.00	24632.77	18.524
3000	1497.23	82044.00	83541.23	113400.00	29858.77	15.282