

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๕/๒๕๕๑



Technical Paper no. 5/2008

การออกแบบและทดลองประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู๋
Mussels De-Clumping Machine

สยาม เสริมทรัพย์
จิตติวัฒน์ ทับจัน
เพชรรัตน์ วงษ์จันทา

Siam Sermsap
Titiwat Tubchan
Petcharat Vongjanla

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ
กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Fishery Technological Development Division
Department of Fisheries
Ministry of Agriculture and Cooperative

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๕/๒๕๕๑



Technical Paper no. 5/2008

การออกแบบและทดลองประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู๋
Mussels De-Clumping Machine

สยาม เสริมทรัพย์
ฐิติวัฒน์ ทับจัน
เพชรรัตน์ วงษ์จันทา

Siam Sermsap
Titiwat Tubchan
Petcharat Vongjanla

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ
กรมประมง
๒๕๕๑

Fishery Technological Development Division
Department of Fisheries

2008

รหัสทะเบียนวิจัยเลขที่ 49-0806-49106

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
ABSTRACT	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	3
วิธีดำเนินการ	3
ผลการศึกษา	6
สรุปและข้อเสนอแนะ	12
คำขอขอบคุณ	13
เอกสารอ้างอิง	13
ภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลลักษณะขนาดพวงหอย และความหนาของตัวหอยแมลงภู	14
ภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลการทดลองเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเพลลาบน และเพลลาล่างที่ความถี่ 20 Hz และการทดลองเปลี่ยนความเร็วรอบที่ความถี่ 20 22.5 25 Hz	16
ภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพ และสมรรถนะเครื่องแยกตัวหอย แมลงภู	18
ภาคผนวกที่ 4 แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานคุ้มทุน	20

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การคำนวณหาสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ที่ความถี่ 20 Hz	9
2 ผลของระยะห่างระหว่างเพลาคู่บนที่แตกต่างกัน 3 ระดับต่อสมรรถนะเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	10
3 การคำนวณหาสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ ที่ความถี่ 20 22.5 25 Hz	10
4 ผลของความถี่เครื่องปรับรอบที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ณ. ระยะห่างเพลาคู่บน 5D และเพลาคู่ล่าง 1.2T ต่อประสิทธิภาพเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	11
5 การคำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนในการประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	11
ตารางผนวกที่	
3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	18
3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	18
3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย LSD (95%) ของระยะห่างเพลาคู่บน 3 ระดับต่อสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	18
3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่ที่ระดับต่างๆต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	19
3.5 การวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย LSD (95%) ของความถี่ที่ระดับต่างๆต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่	19

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู	7
2 การทำงานของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู	7
3 แสดงขนาด และความเร็วของฟูล์เลย์เมื่อใช้เครื่องทดความเร็วรอบที่ 20 Hz	8
4 ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู	12

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

การออกแบบและทดลองประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู
สยาม เสริมทรัพย์ จิตวิวัฒน์ ทับจัน และ เพชรรัตน์ วงษ์จันทา*
กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

บทคัดย่อ

เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ออกจากพวงหอย (หลังการเก็บเกี่ยว) ออกแบบโดยใช้มอเตอร์ 2 แรงม้า ขับเพลายางคู่ 2 ชุด ชุดบนและล่างในแต่ละชุดเพลาคู่หมุนเข้าหากัน โดยเพลาคู่ชุดบนมีระยะห่างของเพลามากกว่าเพลาคู่ชุดล่างทำหน้าที่บีบพวงหอยให้มีขนาดเล็กลงหรือหลุดออกจากพวงใหญ่ในขั้นแรก และชุดล่างทำหน้าที่บีบและดึงตัวหอยให้ออกจากเชือก และแยกตัวหอยออกจากกัน

ทดลองประสิทธิภาพ และสมรรถนะการแยกตัวหอยของเครื่อง ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวหอยที่แยกแล้วไม่แตกต่อน้ำหนักหอยในแต่ละพวง และน้ำหนักตัวหอยที่แยกได้เปรียบเทียบกับ เวลา 1 ชั่วโมงตามลำดับนั้น ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ คือระยะห่างของเพลาคู่ชุดบน และชุดล่าง และเพิ่มความเร็วยรอบของเพลาคู่ชุดบนโดยการเพิ่มความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์ โดยแปรระยะห่างของเพลาคู่ชุดบน 3 ระดับ คือ 0.3, 0.4, 0.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพวงหอย และเพลาคู่ล่าง 3 ระดับคือ 1, 1.2, 1.4 เท่าของขนาดความหนาของตัวหอย และแปรความเร็วรอบของเพลาคู่ชุดบนที่ความถี่ 20, 22.5, และ 25 Hz พบว่าเมื่อความถี่ 20 Hz ระยะห่างเพลาคู่ชุดบน และชุดล่างไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกตัวหอย ($P > 0.05$) ในขณะที่ระยะห่างเพลาคู่ชุดบนเท่านั้นมีผลทำให้เกิดความแตกต่างของสมรรถนะ ($P < 0.05$) ส่วนความเร็วรอบของการหมุนที่เพิ่มขึ้นที่ความถี่ 25 Hz มีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลง ($P < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อสมรรถนะในการแยกตัวหอย ดังนั้นการแยกตัวหอยเมื่อใช้ระยะห่างระหว่างเพลาคู่ชุดบน 0.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพวงหอย และระยะห่างระหว่างเพลาคู่ล่าง 1.2 เท่าของขนาดความหนาของตัวหอย ณ ความถี่ที่ทำให้เกิดความเร็วยรอบเพลาคู่ชุดบนที่ 20 Hz ให้ประสิทธิภาพการแยกตัวหอยได้ 71.2% จากพวงหอยและสมรรถนะการแยกตัวหอยได้ 485.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง เป็นสภาวะของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแยกตัวหอยแมลงภู่ออกจากพวงหอยของเครื่องในการทดลองครั้งนี้ และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ณ ราคาเครื่อง 75,270 บาท ถ้าเครื่องสามารถแยกหอยได้ 485.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปิดเครื่องทำงาน 800 ชั่วโมง/ปี เสียค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง 0.081 บาท/กิโลกรัมหอย เทียบกับค่าใช้จ่ายในการแยกหอยด้วยแรงงานคนที่ 0.33 บาท/กิโลกรัมหอย ต้องใช้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 8.70 เดือน

คำสำคัญ เครื่องแยกหอย หอยแมลงภู

De-Clumping Machine

Siam Sermsap Tittiwat Tubchan and Petcharat Vongjanla*

Fishery Technological Development Division

Abstract

The mussel de clumping machine (post harvest) was designed and invented by using a 2-hp motor to drive two rubber shaft sets, upper and lower shaft set comprising of 2 shafts. Each shaft rotates toward each other. The upper set having wider gap between shafts than the lower one is utilized to trim the size of mussel clump, or initially detach mussels out of the clump where as the lower set functions to take mussels out of the tied ropes or clump.

Efficiency, based on weight percentage of non-damage mussels to all mussel of each clump, and productivity, based on weight of de clumped mussel within 1 hour were investigated. The effects of the length of gap between shafts of both shaft sets, and speed of the rotating shafts on efficiency and productivity were studied. The gap of the upper and lower set were varied into 3 levels which were 0.3, 0.4 and 0.5 of the average diameter of the mussel clump, and 1, 1.2, and 1.4 of the thickness of mussels, respectively, and the speed of the rotating shafts was varied by adjusting the frequency of electricity (20, 22.5, 25 Hz) which was supplied to the motor to generate a constant velocity of each frequency were studied. The result showed that at 20 Hz speed, the gap between the upper and lower shafts sets insignificantly affected on the efficiency ($p>0.05$) where as only the gap of the upper set significantly affects on the productivity ($p<0.05$). However, increasing speed of the rotating shafts increased the efficiency ($p<0.05$), but not for the productivity. The result showed that the optimal condition for de clumping machine was the 0.5 times of the average diameter of the mussel clump of the upper set gap and the 1.2 times of the thickness of mussels of the lower set gap at 20 Hz which provided 71.2% efficiency and 485.6 kg/h productivity. Also, economic analysis was studies. The estimated price of the machine is 75,270 baht. If the machine is operated at 800 h/yr and its productivity is 485.6 kg/h, the cost of running the machine will be 0.081 baht/kg comparing with 0.33 baht/kg of the traditional method (labor cost) and the return period will be 8.70 months.

Key word: Mussel De-Clumping Machine, Mussel

คำนำ

การเก็บเกี่ยวหอยแมลงภู่แบบแวนเป็นพวงเพื่อจำหน่ายนั้นจะต้องแยกหอยแมลงภู่ออกจากเส้นเชือกเป็นตัวๆ และทำความสะอาดตัวหอย ในปัจจุบันยังใช้แรงงานคนเป็นหลักเมื่อมีความจำเป็นจะต้องเก็บเกี่ยวหอยแมลงภู่เป็นจำนวนมากจะต้องสิ้นเปลืองทั้งแรงงานและเวลา ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากและอาจทำให้หอยตายหรืออายุในการเก็บสั้นลง ยังทำให้เสียโอกาสในการค้าขายและจัดส่งสินค้าในแต่ละวัน

ดังนั้นจึงได้ออกแบบประดิษฐ์เครื่องแยกหอยแมลงภู่แบบเลี้ยวด้วยเชือกแวน โดยออกแบบให้มีเพลลา 2 ชุด โดยเพลลาชุดบนทำหน้าที่บีบให้หอยแยกออกจากเส้นเชือก และเพลลาชุดล่างเป็นตัวบีบให้หอยแยกตัวออกจากกัน และเชือกที่ใช้สำหรับแวนสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีกทั้งยังประหยัดเวลา และแรงงานคนในการแยกหอยแมลงภู่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่แทนแรงงานคน
2. เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพ สมรรถนะ และวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องมือที่สร้างขึ้น

วิธีดำเนินการ

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยและการทดสอบประสิทธิภาพสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

- เพลาลูกกลิ้งยาง \varnothing 15 ซม.
- เหล็กฉาก 5 ซม.หนา 2 มม.
- เหล็กแผ่น หนา 1 มม.
- สายพาน ล่อง B
- ฟูลี่
- เฟือง เกียร์
- ตั๊กตารองเส้นเพลลาขนาด 5 ซม.
- เครื่องกลึงโลหะ
- เครื่องเชื่อมโลหะ
- เครื่องเลื่อยโลหะ
- เครื่องเจาะโลหะ

- เครื่องตัดโลหะแผ่น
- เครื่องพับโลหะแผ่น
- อุปกรณ์อื่นๆ

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

- เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 60 กก. ความละเอียด 200 กรัม
- เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 1 กก. ความละเอียด 10 กรัม
- เวอร์เนียแคลิเปอร์
- นาฬิกาจับเวลา
- แอมมิเตอร์
- เครื่องทดสอบความเร็วรอบ

2 การออกแบบและประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ในการออกแบบเครื่องแยกตัวหอยแมลงภูแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ 1 ส่วนของโครงสร้าง 2 ชุดเพลลาบิบหอยออกจากพวง 3 ชุดส่งกำลัง พู่เลย์ที่ครอบและเฟืองกลับทิศทาง

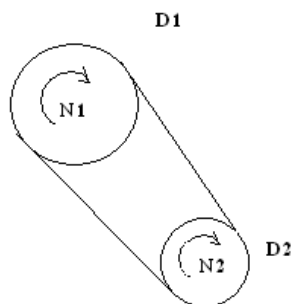
- โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องแยกหอยแมลงภูออกแบบโดยให้มีขนาดเหมาะสมกับพวงหอยที่เก็บเกี่ยวได้เคลื่อนย้ายได้สะดวก ล้างทำความสะอาดง่าย และเหมาะสมกับความสูงของคนไทยโดยในการออกแบบใช้ความสูงเฉลี่ยของคนงานที่ 165 - 170 ซม.

- ชุดเพลลาบิบแยกหอยออกจากพวงออกแบบให้มีเพลลาขงคู่ 2 ชุด เพลลาคู่ชุดบนและเพลลาคู่ชุดล่าง ทั้ง 2 ชุดเพลลาเหล็กหุ้มด้วยยาง เพลลาคู่แต่ละตัวทั้ง 2 ชุดจะหมุนเข้าหากัน (แบบบนลงล่าง) ด้วยความเร็วรอบที่ไม่เท่ากัน เพลลาขงในแต่ละชุดสามารถปรับเลื่อนเข้าออกในแนวระดับได้

- ใช้มอเตอร์ 3 เฟสเป็นตัวขับ ส่งถ่ายกำลังและทดสอบความเร็วรอบด้วยพู่เลย์ สายพาน และกลับทิศทางด้วยชุดเฟือง

การกำหนดชุดทดรอบใช้การคำนวณความเร็วรอบดังสมการข้างล่าง

สมการการคำนวณความเร็วรอบ (บรรเลง และกิตติ, 2530)



$$N1D1 = N2D2$$

$$N1 = \text{ความเร็วรอบพู่เลย์ตัวที่ 1}$$

$$D1 = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางตัวที่ 1}$$

$$N2 = \text{ความเร็วรอบพู่เลย์ตัวที่ 2}$$

$$D2 = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางตัวที่ 2}$$

3. การทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

จากหลักการทำงานของเครื่องแยกตัวหอยที่ใช้เพลลาหมุนชุดบนทำหน้าที่บีบหอยขึ้นต้นเพื่อให้หอยคลายตัวหรือหลุดจากเส้นเชือก และเพลลาชุดล่างทำหน้าที่บีบผงหอยที่ยังติดเชือกหรือติดกันเป็นผงให้หลุดออกเป็นตัว ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องได้แก่

1. ระยะห่างของเพลลาชุดบน และเพลลาชุดล่าง
2. ความเร็วของการหมุนของเพลลาบนและเพลลาล่าง

ในการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภูโดยดำเนินการทดสอบเป็น 2 การทดลองดังนี้

3.1 ทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะห่างระหว่างเพลลาชุดบน และเพลลาชุดล่าง ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกตัวหอยแมลงภูของเครื่องฯ โดยออกแบบการทดลองเป็น 3^2 Factorial Experimental Design ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ๆ ละ 3 ระดับ คือ ปัจจัยระยะห่างของเพลลาชุดบน และเพลลาชุดล่าง เพลลาชุดบนกำหนดระยะห่างเป็น 3 ระดับ 0.5, 0.4 และ 0.3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของผงหอย เพลลาชุดล่างกำหนดระยะห่างเป็น 3 ระดับ 1, 1.2, และ 1.4 เท่าของขนาดความหนาของตัวหอย

3.2 ทดลองเพื่อศึกษาผลของความเร็วรอบการหมุนของ เพลลาบน/เพลลาล่าง ต่อสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู โดยนำสภาวะที่มีสมรรถนะสูงที่สุด (ระยะห่างระหว่างเพลลาชุดทั้งบนและล่าง) ที่ได้จากข้อ 3.1 มาเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเพลลาจากเครื่อง 3 ระดับโดยใช้เครื่องทดสอบความเร็วรอบที่ 20,22.5,25 Hz ทำการทดลองความเร็วรอบละ 3 ครั้ง

3.3 วิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะภาพของเครื่อง

- สุ่มหีบผงหอยแล้วใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดผงหอยในส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของผงหอย และการวัดความหนาของหอยก็ทำเช่นเดียวกันคือสุ่มดึงตัวหอยออกจากส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของผงหอยแล้ววัดความหนา เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผงหอยในแต่ละผงแล้วจัดวางให้เรียบร้อย หลังจากนั้นให้ทำเช่นเดียวกันจนครบ 12 พวง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของผงหอย และความหนาของตัวหอยทั้งหมดเพื่อใช้กำหนดระยะห่างระหว่างเพลลา

- ปรับตั้งระยะห่างระหว่างเพลลาชุดทั้งชุดบนและชุดล่างให้เป็นไปตามแผนการทดลอง แล้วให้ผู้ปฏิบัติงานนำผงหอยป้อนเข้าสู่เครื่อง

- เริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มป้อนผงหอยเข้าเครื่องจนกระทั่งผงหอยผ่านออกมาจากเครื่อง

- ชั่งน้ำหนักหอยที่หลุดออกจากผง หอยที่ติดผงเชือก หอยที่แตก หอยที่ไม่แตก และ

น้ำหนักเชือก และบันทึกผล

- ระหว่างการทดลองให้บันทึกค่าการใช้ไฟฟ้า

3.4 วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภูประสิทธิภาพ

ในการคำนวณกำหนดให้เป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหอยตัวที่ไม่แตกต่อน้ำหนักหอยรวมของแต่ละพวง ส่วนสมรรถนะของเครื่องกำหนดจากน้ำหนักหอยที่หลุดจากแต่ละพวงเทียบกับเวลา 1 ชั่วโมง

- ประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องหาได้จากสมการ

$$\text{Eff} = \frac{100w_g}{w_t} \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

$$\text{Per} = \frac{3600w_o}{t} \quad \text{กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

เมื่อ Eff = ประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

Per = สมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

w_g = น้ำหนักหอยตัวที่ไม่แตก (กิโลกรัม)

w_t = น้ำหนักหอยรวม (กิโลกรัม)

w_o = น้ำหนักหอยที่หลุดออกจากพวง (กิโลกรัม)

t = เวลาที่ใช้ในการแยกตัวหอยแมลงภู่ (วินาที)

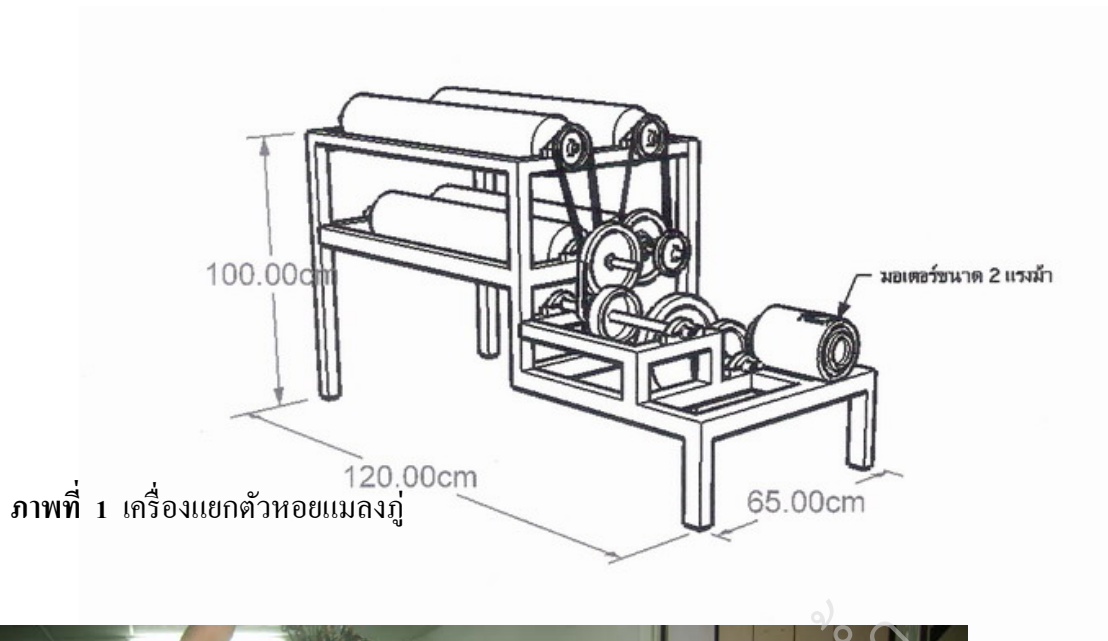
3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ หาดต้นทุนค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานคุ้มทุน (ชุมพล, 2546)

4. วิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยของพวงหอย ความหนาของตัวหอย วิเคราะห์ความแตกต่างของการทดลองในข้อ 2.1 และ 2.2 ด้วย Analysis of variance (ANOVA) และ Least Square Difference (LSD) การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS for windows (ประกายรัตน์, 2548: ชีรศักดิ์, 2546)

ผลการศึกษา

1. ผลการออกแบบประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ประกอบด้วยโครงเครื่องมีขนาด 65x120x100 ซม. เพลาชุดบนและเพลาชุดล่างหุ้มด้วยยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม ความแข็ง 40 shore หุ้มยางยาว 42 ซม. ประกอบด้วยชุดฟูล์เลย์ที่ครอบ และมอเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 1 ส่วนภาพที่ 2 แสดงการทำงานของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ ซึ่งเพลาชุดบนทำหน้าที่บีบหอยขึ้นต้นเพื่อให้หอยคลายตัวหรือหลุดจากเส้นเชือก และเพลาชุดล่างทำหน้าที่บีบพวงหอยที่ยังติดเชือกหรือติดกันเป็นพวงให้หลุดออกเป็นตัว



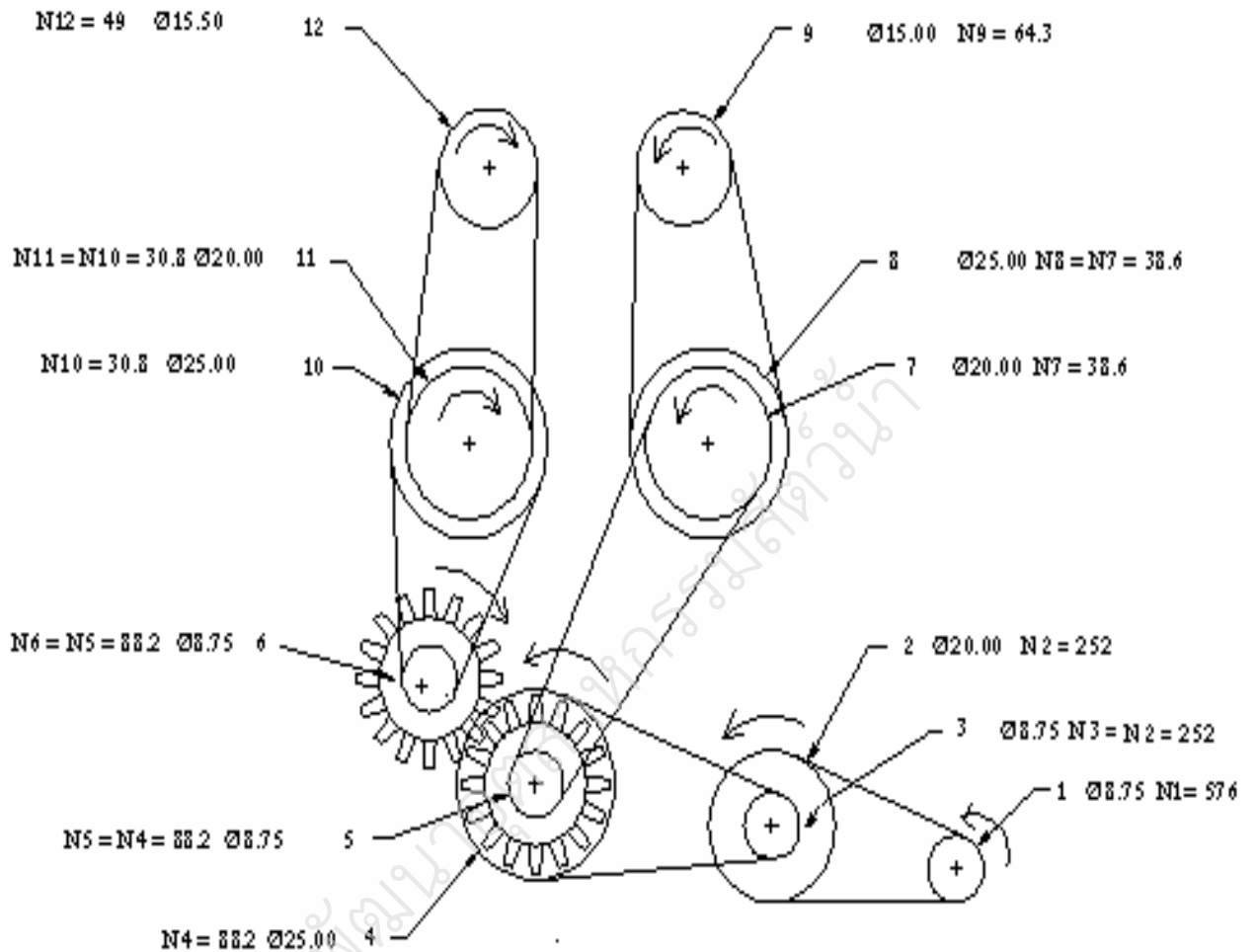
ภาพที่ 1 เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู



ภาพที่ 2 การทำงานของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ในภาพที่ 3 แสดงการเลือกใช้ฟู้เล่ย์เพื่อทกรอบเพลลาบิบพวงหอยที่ทำให้มีความเร็วรอบที่แตกต่างกันซึ่งผลการคำนวณขนาดและความเร็วรอบของฟู้เล่ย์จำนวน 12 โดยฟู้เล่ย์ตัวที่ 1 ต่อจากมอเตอร์ส่งกำลังโดยสายพานไปยังฟู้เล่ย์ตัวที่ 2 เพื่อทลดความเร็วรอบและส่งกำลังต่อด้วยฟู้เล่ย์ตัวที่ 3 ไปยังฟู้เล่ย์ตัวที่ 4 เพื่อทลดความเร็วรอบและขับเพลลาเฟืองเพื่อกลับทิศทาง หลังจากนั้นฟู้เล่ย์ตัวที่ 5 ส่งกำลังไปยังฟู้เล่ย์ตัวที่ 7 เพื่อทลดความเร็วรอบและขับเพลลาบิบหอยตัวล่างแล้วส่งกำลังต่อด้วยฟู้เล่ย์ตัวที่ 8 ไปยังฟู้เล่ย์ตัวที่ 9 เพิ่มความเร็วรอบและขับเพลลาบิบหอยตัวบน เฟืองกลับทิศทางทำให้ฟู้เล่ย์ตัวที่ 6 หมุนกลับทิศทางและส่งกำลังไปยังฟู้เล่ย์ตัวที่ 10 เพื่อทลดความเร็วรอบและขับเพลลาบิบหอยตัวล่างแล้วส่งกำลังต่อด้วยฟู้เล่ย์ตัวที่ 11

ไปยังฟุ่ลย์ตัวที่ 12 เพื่อเพิ่มความเร็วรอบและขับเพลลาบีบหอยด้วบน โดยปรับความถี่เครื่องปรับรอบเป็น 20 Hz มอเตอร์มีความเร็วรอบ 1440 รอบต่อนาที



ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฟุ่ลย์ Ø : ซม.

ความเร็วรอบของฟุ่ลย์ N : รอบ/นาที

ภาพที่ 3 แสดงขนาด และความเร็วของฟุ่ลย์เมื่อใช้เครื่องทดความเร็วรอบ ที่ 20 Hz

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

หอยแมลงภู่ที่ใช้ทดสอบนำมาจาก 2 แหล่งคือ จังหวัดชลบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของพวงหอย (D) มีค่าระหว่าง 7-19 เซนติเมตร และความหนาของตัวหอย (T) มีค่าระหว่าง 1.62-2.76 เซนติเมตร (รายละเอียดแสดงในภาคผนวกที่ 1)

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยโดยปรับระยะห่างเพลลาบนเป็น 3 ระดับ 0.5D, 0.4D, และ 0.3D ส่วนเพลลาล่างกำหนดระยะห่างเป็น 3 ระดับเท่ากับ T, 1.2T และ 1.4T ในการทดลองนี้ใช้ความเร็วรอบที่ความถี่ 20 Hz ซึ่งผลการทดลองในตารางที่ 1 แสดงค่าสมรรถภาพ (น้ำหนักหอยหลุดจากพวงต่อชั่วโมง) และประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์หอยที่ไม่แตกต่อน้ำหนักพวงหอย) ของเครื่อง

แยกตัวหอยเมื่อปรับระยะห่างของเพลาคู่บนและเพลาคู่ล่าง ซึ่งมีค่าระหว่าง 273-485.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 63.6-77.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การคำนวณหาสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภูที่ความถี่ 20 Hz

ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	ครั้งที่	น.นหอยรวม (กก.)	น.นหอยหลุดรวม (กก.)	น.นหอยแตกรวม (กก.)	น.นหอยดีหลุด (กก.)	เวลา (วินาที)	สมรรถนะ (กก./ชม.)	ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ยสมรรถนะ (กก./ชม.)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)
0.5D	T	1	7.4	6.4	0.4	6.2	32	720.0	83.8	473.3	77.3
		2	5	3.4	0.2	3.4	36	340.0	68.0		
		3	5	4.0	0	4.0	40	360.0	80.0		
0.5D	1.2T	1	8.3	6.6	0.2	6.6	33	720.0	79.5	485.6	71.2
		2	4.6	3.2	0.2	3.0	34	338.8	65.2		
		3	5.8	4.2	0.3	4.0	38	397.9	69.0		
0.5D	1.4T	1	6.5	3.8	0.4	3.6	34	402.4	55.4	389.5	63.6
		2	5.8	3.4	0.2	3.4	40	306.0	58.6		
		3	5.6	4.6	0.3	4.3	36	460.0	76.8		
0.4D	T	1	6.4	5.0	0.5	4.8	36	500.0	75.0	325.1	63.9
		2	6.4	3.6	0.4	3.4	50	259.2	53.1		
		3	4.4	3.0	0.2	2.8	50	216.0	63.6		
0.4D	1.2T	1	5.2	3.9	0.4	3.7	33	425.5	71.2	290.0	66.5
		2	4.4	2.6	0.2	2.6	40	234.0	59.1		
		3	5.2	3.8	0.4	3.6	65	210.5	69.2		
0.4D	1.4T	1	5.3	2.0	0.2	1.9	32	225.0	35.8	273.0	55.6
		2	3.2	1.8	0.5	1.5	30	216.0	46.9		
		3	5.0	4.2	0.1	4.2	40	378.0	84.0		
0.3D	T	1	6.0	5.0	0.3	4.8	40	450.0	80.0	383.7	69.9
		2	3.4	2.2	0.2	2.0	30	264.0	58.8		
		3	4.8	3.4	0	3.4	28	437.1	70.8		
0.3D	1.2T	1	6.7	5.5	0.2	5.3	45	440.0	79.1	409.2	77.8
		2	4.8	3.8	0	3.8	32	427.5	79.2		
		3	4.0	3.2	0.2	3.0	32	360.0	75.0		
0.3D	1.4T	1	7.5	5.5	0.2	5.5	32	618.8	73.3	469.3	74.6
		2	5.4	4.4	0.2	4.2	36	440.0	77.8		
		3	4.4	3.2	0.2	3.2	33	349.1	72.7		

เมื่อ D = ขนาดเฉลี่ยของพวงหอย

T = ความหนาเฉลี่ยของตัวหอย

จากการวิเคราะห์ค่าแปรปรวนทางสถิติพบว่าระยะห่างของเพลาคู่บนและเพลาคู่ล่างไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกตัวหอยอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ภาพผนวกที่ 3.1) ส่วนการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเพลาคู่ต่อสมรรถนะการแยกตัวหอยนั้น พบว่าระยะห่างของเพลาคู่บนเท่านั้นที่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของสมรรถนะอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ภาพผนวกที่ 3.2, 3.3 และตารางที่ 2) โดยพบว่าระยะห่างที่ 0.5D จะให้สมรรถนะสูงสุดเท่ากับ 485.57 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ผลของระยะห่างระหว่างเพลาคู่บนที่แตกต่างกัน 3 ระดับต่อสมรรถนะเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสมรรถนะจาก LSD
0.5D	485.57a
0.4D	429.57b
0.3D	465.41a

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของพวงหอย

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรพิมพ์เล็ก a, b เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยวิธี LSD

ดังนั้นในการศึกษาผลของความเร็วรอบของเพลาคู่ต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกทดสอบโดยกำหนดระยะห่างของเพลาคู่บนที่ 0.5D และ 1.2T สำหรับเพลาคู่ล่างแล้วปรับความเร็วรอบที่ความถี่ 20, 22.5, 25 Hz ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพในการแยกตัวหอยเท่ากับ 71.2%, 60.4% และ 38.1% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มความถี่มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการแยกหอยลดลงคือทำให้จำนวนหอยแยกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความถี่ที่ 25 Hz ประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่างจากการปรับความเร็วรอบที่ความถี่ 20 และ 22.5 Hz (ภาคผนวกที่ 3.4 และ 3.5, ตารางที่ 4) สำหรับสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยที่ความถี่ 20, 22.5 และ 25 Hz มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 485.6, 429.6 และ 465.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ (ตารางที่ 3) และเมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติก็พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเพลานบนไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างต่อสมรรถนะในการแยกตัวหอย (ภาคผนวกที่ 3.4 และ 3.5)

ตารางที่ 3 การคำนวณหาสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู ที่ความถี่ 20,22.5,25Hz

ความถี่ (Hz)	ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	น.น.หอยรวม (กก.)	น.น.หอยหลุดรวม (กก.)	น.น.หอยแตกรวม (กก.)	น.น.หอยดีหลุด (กก.)	เวลา (วินาที)	สมรรถนะ (กก./ชม.)	ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ยสมรรถนะ (กก./ชม.)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)
20	0.5D	1.2T	83	66	2	66	33	720.00	79.52	485.6	71.2
			46	32	2	30	34	338.82	65.22		
			58	42	3	40	38	397.89	68.97		
22.5	0.5D	1.2T	50	30	6	26	28	385.71	52.00	429.6	60.4
			52	34	6	30	30	408.00	57.69		
			56	44	6	40	32	495.00	71.43		
25	0.5D	1.2T	50	22	8	16	20	396.00	32.00	465.4	38.1
			54	24	10	18	22	392.73	33.33		
			47	27	8	23	16	607.50	48.94		

เมื่อ D = ขนาดเฉลี่ยของพวงหอย

T = ความหนาเฉลี่ยของตัวหอย

ตารางที่ 4 ผลของความถี่เครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ณ. ระยะห่างเพลาคู่บน 5D และเพลาคู่ล่าง 1.2T ต่อประสิทธิภาพเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ความถี่เครื่องปรับอากาศ (Hz)	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพจาก LSD
20	69.9a
22.5	60.37a
25	38.09b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรพิมพ์เล็ก a, b เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยวิธี LSD

เมื่อ D = ขนาดเฉลี่ยของพวงหอย

T = ความหนาเฉลี่ยของตัวหอย

3. การคำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนในการประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

จากราคาวัสดุและค่าแรงที่เป็นต้นทุนในการประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภูเป็นเงิน

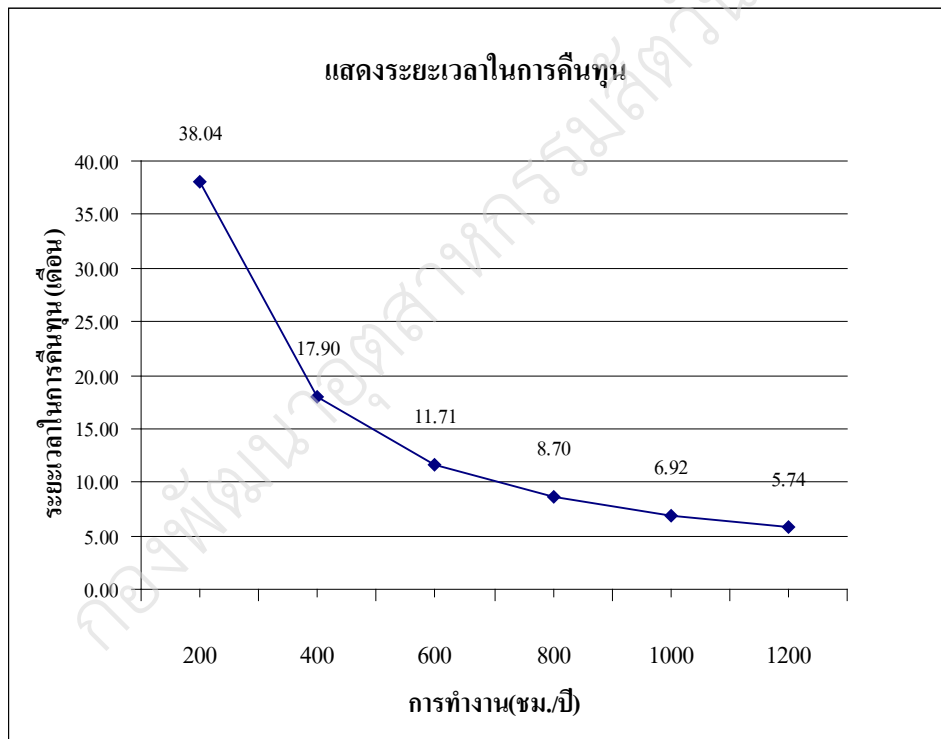
75,270 บาท ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การคำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนในการประดิษฐ์เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา
1	โครงเครื่องสแตนเลส	1 โครง	15,000
2	มอเตอร์ 2 แรงม้า สามสาย	1 ตัว	7,500
3	เกียร์ทครอบ	1 ชุด	3,700
4	ลูกกลิ้งยาง	4 ชุด	16,000
5	ตุ้กดารองล้นเพลลา 25 มิลลิเมตร	14 ชุด	3,500
6	ล้อยูรีเทน 10 เซนติเมตร	4 ล้อ	2,600
7	สแตนเลสแผ่น กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 240 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร	1 แผ่น	4,000
8	เฟืองตรง	2 เฟือง	2,400
9	พูลเลย์	8 ชุด	1,200
10	ชุดควบคุมการทำงาน	1 ชุด	2,000
		รวม	57,900
		ค่าแรง 30%	17,370
		รวมทั้งสิ้น	75,270

4. การคำนวณ ค่าใช้จ่ายในการทำงาน จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน

ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงานเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ที่ประดิษฐ์ขึ้นกำหนดจากแรงงานในการปฏิบัติงาน 1 คน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 1.382 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และความสามารถในการแยกตัวหอยเฉลี่ย 485.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และกำหนดให้การใช้งานเครื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 100 วันทำงาน หรือ 800 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายในการทำงาน 0.081 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 39.33 บาทต่อชั่วโมง ในขณะที่ค่าจ้างในการแยกตัวหอยแมลงภู่ด้วยแรงงานคนซึ่งอยู่ที่ 0.33 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 160.25 บาทต่อชั่วโมง (ตามรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวกที่ 2) ดังนั้นการใช้งานเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่เพื่อจะให้ได้จุดคุ้มทุนจะต้องทำอย่างน้อย 83.65 ชั่วโมงต่อปี ส่วนระยะเวลาคืนทุนของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่ เมื่อจำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปีเพิ่มมากขึ้นระยะเวลาคืนทุนจะสั้นลง ดังแสดงในภาพที่ 4 ถ้าใน 1 ปีทำงานที่ 800 ชั่วโมง ระยะเวลาคืนทุนจะเท่ากับ 8.70 เดือน หรือ 8 เดือน 21 วัน



ภาพที่ 4 ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เครื่องแยกตัวหอยแมลงภู่โครงเครื่องประกอบด้วยโครงเหล็กสแตนเลสขนาด 65x120x100 ซม. มีเพลาคู่ชุด บน/ล่าง หุ้มด้วยยาง \varnothing 15 ซม. ความแข็ง 40 shore ยาว 42 ซม. และชุดพู่เล่ย์ทดรอบ ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 สาย ขนาด 2 แรงม้า

ผลการทดลองประสิทธิภาพ และสมรรถนะการแยกตัวหอยของเครื่องการใช้ระยะห่างระหว่างเพลาคู่บน 0.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพวงหอย และระยะห่างระหว่างเพลาคู่ล่าง 1.2 เท่าของ

ขนาดความหนาของตัวหอย ความถี่ที่ทำให้เกิดความเร็วรอบเพลาที 20 Hz ให้ประสิทธิภาพการแยกตัวหอยได้ 71.2% จากพวงหอยและสมรรถนะการแยกตัวหอยได้ 485.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง เป็นสภาวะของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแยกตัวหอยแมลงภู่ออกจากพวงหอยของเครื่องในการทดลองครั้งนี้ และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จากการประเมินราคาเครื่องได้ 75,270 บาท เครื่องสามารถแยกหอยได้ 485.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยเปิดทำงาน 800 ชั่วโมง/ปี ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง 0.081 บาท/กิโลกรัมหอย เทียบกับค่าใช้จ่ายในการแยกหอยด้วยแรงงานคนที่ 0.33 บาท/กิโลกรัมหอย ใช้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 8.70 เดือน

ข้อเสนอแนะสำหรับเครื่องแยกหอยแมลงภู่ว่า ควรหลีกเลี่ยงเพลายางให้เป็นลักษณะเกลียวเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการบีบหอยหรือให้หอยมีเวลาขยายตัวได้นานขึ้น ถ้าหอยมีโคลนลื่นควรนำฉีดล้างก่อน หรือทำแกนกลเพื่อลดตัวหอยช่วยให้เพลายางดูดพวงหอยลงได้ง่าย และเครื่องแยกหอยแมลงภู่นี้เหมาะสมกับพวงหอยที่ใช้เชือกเส้นเดี่ยว แต่ไม่เหมาะสมกับพวงหอยที่ใช้ฮวน หรือแหหรือเชือกที่มีการถักเพราะทำให้หอยหลุดออกยากหรือหลุดแล้วต้องมาทำการเขย่าออกจากตาข่ายอีกครั้ง

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการกองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ คุณนิรชา วงษ์จินดาที่ได้กรุณาจัดสรรงบประมาณให้ทำวิจัย กลุ่มเกษตรกรเลี้ยงหอยแมลงภู่น้ำจืดและเจ้าหน้าที่ประมง จ.ประจวบคีรีขันธ์ จ.ชลบุรี จ.ตราด ตลอดจนเจ้าหน้าที่กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดงานวิจัยจนประสบผลสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชุมพล ศฤงคารศิริ. 2546. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ฉบับปรับปรุงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ. 472 หน้า
- ธีระศักดิ์ อัจฉนนนท์. 2546. ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์ เล่ม 2. สกายบุ๊กส์, กรุงเทพฯ 564 หน้า
- บรรเลง สรนิล และกิตติ นิงสานนท์. 2530. การคำนวณ และออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล ระบบ SI. สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร. 270 หน้า.
- ประกายรัตน์ สุวรรณ. 2548. คู่มือการใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 12 สำหรับ Windows. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ 332 หน้า

ภาคผนวกที่ 1 : ข้อมูลดิบขนาดพวงหอย และความหนาของตัวหอยแมลงภู่

ข้อมูลขนาดพวงหอย และความหนาของหอยแมลงภู่

วัดขนาดหอยและพวงหอยก่อนทดลอง ครั้งที่1					วัดขนาดหอยและพวงหอยก่อนทดลอง ครั้งที่2				
พวง ที่	ความ หนาตัว หอย (ซม.)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางพวง หอย (ซม.)	ค่าเฉลี่ย ความหนาตัว หอย (ซม.)	ค่าเฉลี่ยขนาด เส้นผ่าน ศูนย์กลาง พวงหอย (ซม.)	พวง ที่	ความ หนาตัว หอย (ซม.)	ขนาดเส้น ผ่าน ศูนย์กลาง พวงหอย (ซม.)	ค่าเฉลี่ย ความหนา ตัวหอย (ซม.)	ค่าเฉลี่ยขนาด เส้นผ่าน ศูนย์กลางพวง หอย (ซม.)
1	2.00	14	1.95	15.3	13	2.37	12	2.14	12.3
	1.85	19				2.06	13		
	2.00	13				1.98	12		
2	2.00	11	1.87	10.7	14	2.06	14	2.07	14.3
	1.70	11				2.05	14		
	1.90	10				2.11	15		
3	1.90	13	1.90	12.3	15	2.14	12	2.19	12.7
	1.80	11				2.19	12		
	2.00	13				2.25	14		
4	1.65	11	1.72	11.0	16	2.15	15	2.15	11.7
	1.70	11				2.31	11		
	1.80	11				2.00	9		
5	2.00	12	1.92	10.7	17	2.18	11	2.08	11.7
	1.85	11				2.17	11		
	1.90	9				1.90	13		
6	2.00	14	1.90	12.3	18	1.98	12	2.16	13.8
	1.90	11				2.40	10		
	1.80	12				2.10	19		
7	1.75	10	1.87	11.7	19	1.91	12	2.10	12.3
	1.95	13				2.11	12		
	1.90	12				2.29	13		
8	2.10	11	1.85	10.7	20	2.18	14	2.08	14.7
	1.80	11				2.04	14		
	1.65	10				2.02	16		
9	1.95	9	1.90	10.0	21	2.06	12	2.06	13.0
	2.00	11				2.15	15		
	1.75	10				1.98	12		
10	2.20	9	2.05	10.7	22	2.09	13	1.90	14.0
	1.85	11				1.98	14		
	2.10	12				1.62	15		
11	2.00	11	2.02	10.0	23	2.05	11	2.07	10.7
	2.10	9				2.10	12		
	1.95	10				2.07	9		
12	2.30	7	2.08	7.7	24	2.28	15	2.23	14.3
	1.75	8				2.27	13		
	2.20	8				2.15	15		
ค่าเฉลี่ยรวม			1.92	11.1	ค่าเฉลี่ยรวม			2.10	13.0

ภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

วัดขนาดหอยและพวงหอยก่อนทดลอง ครั้งที่3				
พวง ที่	ความ หนาตัว หอย (ซม.)	ขนาดเส้น ผ่าน ศูนย์กลาง พวงหอย (ซม.)	ค่าเฉลี่ย ความหนา ตัวหอย (ซม.)	ค่าเฉลี่ยขนาด เส้นผ่าน ศูนย์กลาง พวงหอย (ซม.)
25	2.00	14	2.10	11.3
	2.04	11		
	2.25	9		
26	2.18	12	2.19	12.7
	2.12	14		
	2.27	12		
27	2.56	15	2.39	12.0
	2.39	9		
	2.21	12		
28	2.59	12	2.36	11.3
	2.76	10		
	1.73	12		
29	2.20	13	2.21	12.0
	2.20	12		
	2.22	11		
30	2.41	12	2.10	11.3
	1.96	10		
	1.94	12		
7	2.50	14	2.37	12.3
	2.18	12		
	2.43	11		
8	2.38	11	2.34	11.0
	2.20	10		
	2.44	12		
9	2.30	11	2.39	11.0
	2.30	11		
	2.57	11		
10	2.02	12	2.07	11.7
	2.10	11		
	2.08	12		
11	2.10	11	1.98	12.0
	1.83	12		
	2.00	13		
12	2.04	11	2.06	10.3
	2.00	10		
	2.14	10		
ค่าเฉลี่ยรวม			2.21	11.6

ภาคผนวกที่ 2 : ข้อมูลการทดลองเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเพลานบนและเพลาล่างที่ความถี่ 20 Hz และการทดลองเปลี่ยนความเร็วรอบที่ความถี่ 20 22.5 25 Hz

เมื่อ T = ความหนาเฉลี่ยของตัวหอย

D = ขนาดเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของพวงหอย

ทดลองครั้งที่ 1 ความถี่ 20 Hz

ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	น.นรวม (กิโลกรัม)	น.น หอย ดีหูลูด (กิโลกรัม)	น.น.หอย แดกหูลูด (กิโลกรัม)	น.น.หอย รวมหูลูด (กิโลกรัม)	น.น หอยดี ดีดเชือก (กิโลกรัม)	น.น.หอยแตก ดีดเชือก (กิโลกรัม)	น.น.รวมดีด พวงเชือก (กิโลกรัม)	น.น.เชือก (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
0.5D	T	7.8	6.2	0.2	6.4	0.8	0.2	1.4	0.4	32
	1.2T	9.0	6.6	0.0	6.6	1.5	0.2	2.4	0.7	33
	1.4T	7.0	3.6	0.2	3.8	2.5	0.2	3.2	0.5	34
0.4D	T	6.8	4.8	0.2	5.0	1.1	0.3	1.8	0.4	36
	1.2T	5.8	3.7	0.2	3.9	1.1	0.2	1.9	0.6	33
	1.4T	5.8	1.9	0.1	2.0	3.2	0.1	3.8	0.5	32
0.3D	T	6.4	4.8	0.2	5.0	0.9	0.1	1.4	0.4	40
	1.2T	7.1	5.3	0.2	5.5	1.2	0.0	1.6	0.4	45
	1.4T	8.0	5.5	0.0	5.5	1.8	0.2	2.5	0.5	32

ทดลองครั้งที่ 2 ความถี่ 20 Hz

ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	น.นรวม (กิโลกรัม)	น.น หอย ดีหูลูด (กิโลกรัม)	น.น.หอย แดกหูลูด (กิโลกรัม)	น.น.หอย รวมหูลูด (กิโลกรัม)	น.น หอยดี ดีดเชือก (กิโลกรัม)	น.น.หอยแตก ดีดเชือก (กิโลกรัม)	น.น.รวมดีด พวงเชือก (กิโลกรัม)	น.น.เชือก (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
0.5D	T	5.6	3.4	0.0	3.4	1.4	0.2	1.6	0.6	36
	1.2T	5.2	3.0	0.2	3.2	1.4	0.0	1.4	0.6	34
	1.4T	6.4	3.4	0.0	3.4	2.2	0.2	2.4	0.6	40
0.4D	T	7.0	3.4	0.2	3.6	2.6	0.2	2.8	0.6	50
	1.2T	5.0	2.6	0.0	2.6	1.6	0.2	1.8	0.6	40
	1.4T	3.8	1.5	0.3	1.8	1.2	0.2	1.4	0.6	30
0.3D	T	3.6	2.0	0.2	2.2	1.2	0.0	1.2	0.2	30
	1.2T	5.6	3.8	0.0	3.8	1.0	0.0	1.0	0.8	32
	1.4T	6.0	4.2	0.2	4.4	1.0	0.0	1.0	0.6	36

ภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ทดลองครั้งที่ 3 ความถี่ 20 Hz

ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	น.นรวม (กิโลกรัม)	น.น หอยดีหลุด (กิโลกรัม)	น.น.หอยแตกหลุด (กิโลกรัม)	น.น.หอยรวมหลุด (กิโลกรัม)	น.น หอยดีติดเชือก (กิโลกรัม)	น.น.หอยแตกติดเชือก (กิโลกรัม)	น.น.รวมติดฟางเชือก (กิโลกรัม)	น.น.เชือก (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
0.5D	T	5.4	4.0	0.0	4.0	1.0	0.0	1.4	0.4	40
	1.2T	6.4	4.0	0.2	4.2	1.5	0.1	2.2	0.6	38
	1.4T	6.0	4.3	0.3	4.6	1.0	0.0	1.4	0.4	36
0.4D	T	5.2	2.8	0.2	3.0	1.4	0.0	2.2	0.8	50
	1.2T	5.6	3.6	0.2	3.8	1.2	0.2	1.8	0.4	65
	1.4T	5.6	4.2	0.0	4.2	0.7	0.1	1.4	0.6	40
0.3D	T	5.4	3.4	0.0	3.4	1.4	0.0	2.0	0.6	28
	1.2T	4.4	3.0	0.2	3.2	0.8	0.0	1.2	0.4	32
	1.4T	5.0	3.2	0.0	3.2	1.0	0.2	1.8	0.6	33

ทดลองเปลี่ยนความเร็วรอบที่ความถี่ 20 22.5 25 Hz

ความถี่ (Hz)	ระยะห่างระหว่างเพลานบน	ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	น.นหอยรวม (กิโลกรัม)	น.นหอยหลุดรวม (กิโลกรัม)	น.นหอยแตกรวม (กิโลกรัม)	น.นหอยดีหลุด (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
20	0.5D	1.2T	83	66	2	66	33
			46	32	2	30	34
			58	42	3	40	38
22.5	0.5D	1.2T	50	30	6	26	28
			52	34	6	30	30
			56	44	6	40	32
25	0.5D	1.2T	50	22	8	16	20
			54	24	10	18	22
			47	27	8	23	16

ภาคผนวกที่ 3 : การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพ และสมรรถนะเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ตารางผนวกที่ 3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1034.151(a)	4	258.538	2.130	.111
Intercept	128836.963	1	128836.963	1061.627	.000
ระยะห่างระหว่างเพลานบน	744.916	2	372.458	3.069	.067
ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	289.236	2	144.618	1.192	.323
Error	2669.876	22	121.358		
Total	132540.990	27			
Corrected Total	3704.027	26			

ตารางผนวกที่ 3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	121534.396(a)	4	30383.599	1.795	.166
Intercept	4080067.320	1	4080067.320	241.045	.000
ระยะห่างระหว่างเพลานบน	119752.447	2	59876.223	3.537	.047
ระยะห่างระหว่างเพลาล่าง	1781.949	2	890.974	.053	.949
Error	372384.944	22	16926.588		
Total	4573986.660	27			
Corrected Total	493919.340	26			

ตารางผนวกที่ 3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย LSD (95%) ของระยะห่างเพลาคู่บน 3 ระดับต่อสมรรถนะของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

(I) ระยะห่าง	(J) topgap	Mean	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
		Difference (I-J)			Lower Bound	Upper Bound
ระหว่างเพลาคู่บน					Lower Bound	Upper Bound
0.5D	0.4D	153.4333(*)	58.86007	.015	31.9521	274.9146
	0.3D	28.7333	58.86007	.630	-92.7479	150.2146
0.4D	0.5D	-153.4333(*)	58.86007	.015	-274.9146	-31.9521
	0.3D	-124.7000(*)	58.86007	.045	-246.1812	-3.2188
0.3D	0.5D	-28.7333	58.86007	.630	-150.2146	92.7479
	0.4D	124.7000(*)	58.86007	.045	3.2188	246.1812

เมื่อ T = ความหนาเฉลี่ยของตัวหอย

D = ขนาดเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของพวงหอย

ภาคผนวกที่ 3 ต่อ

ตารางผนวกที่ 3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่ที่ระดับต่างๆต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
performance	Between Groups	4826.931	2	2413.466	.120	.889
	Within Groups	121140.518	6	20190.086		
	Total	125967.449	8			
efficiency	Between Groups	1599.456	2	799.728	11.123	.010
	Within Groups	431.383	6	71.897		
	Total	2030.839	8			

ตารางผนวกที่ 3.5 การวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย LSD (95%) ของความถี่ที่ระดับต่างๆต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

Dependent Variable	(I) ความถี่ (Hz)	(J) ความถี่ (Hz)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound	Lower Bound	Upper Bound	
ประสิทธิภาพ	20.00	22.50	56.00000	116.01749	.646	-227.8846	339.8846
		25.00	20.16000	116.01749	.868	-263.7246	304.0446
	22.50	20.00	-56.00000	116.01749	.646	-339.8846	227.8846
		25.00	-35.84000	116.01749	.768	-319.7246	248.0446
	25.00	20.00	-20.16000	116.01749	.868	-304.0446	263.7246
		22.50	35.84000	116.01749	.768	-248.0446	319.7246
สมรรถนะ	20.00	22.50	9.53000	6.92325	.218	-7.4106	26.4706
		25.00	31.81333(*)	6.92325	.004	14.8727	48.7539
	22.50	20.00	-9.53000	6.92325	.218	-26.4706	7.4106
		25.00	22.28333(*)	6.92325	.018	5.3427	39.2239
	25.00	20.00	-31.81333(*)	6.92325	.004	-48.7539	-14.8727
		22.50	-22.28333(*)	6.92325	.018	-39.2239	-5.3427

* The mean difference is significant at the .05 level.

ภาคผนวกที่ 4 : แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานคุ้มทุน

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน และการใช้งานคุ้มทุน

จากการทดสอบเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู๋โดยใช้คนงาน 1 คนปฏิบัติงานวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องได้ 1.382 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 485.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้การใช้งานเครื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน ทำงานปีละ 800 ชั่วโมง (100วัน) สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อกิโลกรัม) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู๋ (ชุมพล, 2546) ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

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)

กำหนดให้ราคาซื้อของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู๋เท่ากับ 75,270 บาท มูลค่าซากเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 5% ของราคาซื้อ

$$\text{ราคาซากเครื่อง} = (5/100) \times 75,270 = 3,763.5 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสื่อมราคา (DP)} &= (P-S)/L \\ &= (75,270-3,763.5)/10 = 7,150.65 \text{ บาท} \end{aligned}$$

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%

$$\text{ค่าเสียโอกาส} = (75,270+3,763.5)/2 \times 7.5/100 = 2,963.75 \text{ บาท/ปี}$$

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed Cost) = ค่าเสื่อมราคา + ค่าเสียโอกาส

$$= (7,150.65+2,963.75)$$

$$= 10,114.4 \text{ บาทต่อปี}$$

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 100 วัน ค่าบำรุงรักษา = $5 \times 100 = 500$ บาท/ปี

ค่าไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟเฉลี่ย 1.382 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยหน่วยละ 2.5 บาท ใน 1 ปีทำงาน 800 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า = $1.382 \times 2.5 \times 800 = 2,764$ บาท

ค่าน้ำประปา ใช้ในการล้างเครื่องเฉลี่ย 100 ลิตร/วัน ราคาน้ำประปาหน่วยละ 10 บาท ใน 1 ปีทำงาน 100 วัน คิดเป็นค่าน้ำประปา $(100 \times 10 \times 100) / 1000 = 100$ บาท

ค่าจ้างแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 180 บาท/วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน คิดเป็นต่อชั่วโมง $180 / 8 = 22.5$ บาท/ชั่วโมง 1 คนทำงาน 800 ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าจ้างแรงงาน $22.5 \times 800 = 18,000$ บาท/ปี

$$\begin{aligned} \text{รวมต้นทุนแปรผัน} &= \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าน้ำประปา} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} \\ &= 500 + 2,764 + 100 + 18,000 \\ &= 21,364 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนในการใช้งานของเครื่องแยกหอยแมลงภู} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\ &= 10,114.4 + 21,364 \\ &= 31,478.4 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม) ของเครื่องแยกหอยแมลงภูที่ทำงาน 800 ชั่วโมง/ปี ความสามารถในการทำงานของเครื่อง 485.6 กิโลกรัม/ชั่วโมงได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม)} &= \text{ต้นทุนในการใช้งานของเครื่อง} / (\text{ความสามารถในการทำงานของเครื่อง} \times \text{ชั่วโมงทำงาน}) \\ &= 31,478.4 / (800 \times 485.6) \\ &= 0.081 \text{ บาท/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/ชั่วโมง)} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/กิโลกรัม)} \times \text{ความสามารถในการทำงานของเครื่อง} \\ &= 0.081 \times 485.6 \\ &= 39.33 \text{ บาท/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

การใช้งานค้ำทุน

$$\text{การใช้งานค้ำทุน} = \text{ต้นทุนคงที่} / (\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน})$$

อัตราค่าจ้างแยกหอยแมลงภู 0.33 บาท/กิโลกรัม เปรียบเทียบกับอัตราการทำงาน 485.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้อัตราค่าจ้างต่อชั่วโมงเท่ากับ $0.33 \times 485.6 = 160.25$ บาท/ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{การใช้งานค้ำทุน} &= 10114.4 / (160.25 - 39.33) \\ &= 83.65 \text{ ชั่วโมง/ปี} \end{aligned}$$

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปร} &= \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าน้ำ} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} \\ \text{ต้นทุนรวม} &= \text{ต้นทุนผันแปร} + \text{ดอกเบี้ย} \\ \text{ผลประโยชน์ที่ได้รับ} &= \text{อัตราค่าจ้างแยกหอยแมลงภูต่อชั่วโมง} \times \text{ชั่วโมงการทำงานต่อปี} \\ \text{ผลประโยชน์สุทธิ} &= \text{ผลประโยชน์ที่ได้รับ} - \text{ต้นทุนรวม} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุน(เดือน)} &= (\text{ราคาเครื่อง} / \text{ผลประโยชน์สุทธิ}) \times 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปร} &= 500 + 2,764 + 100 + 18,000 = 21,364 \text{ บาท/ปี} \\ \text{ต้นทุนรวม} &= 21,364 + 2,963.75 = 24,327.75 \text{ บาท/ปี} \\ \text{ผลประโยชน์ที่ได้รับ} &= 160.25 \times 800 = 128,200 \text{ บาท/ปี} \\ \text{ผลประโยชน์สุทธิ} &= 128,200 - 24,327.75 = 103,872.25 \text{ บาท/ปี} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= (75,270 / 103,872.25) \times 12 = 8.70 \text{ เดือน} \\ &\text{หรือ 8 เดือน 21 วัน} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องแยกตัวหอยแมลงภู

ชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมง/ปี)	ดอกเบี้ย (บาท/ปี)	ต้นทุนผันแปร (บาท/ปี)	ต้นทุนรวม (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ที่ได้รับ (บาท/ปี)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
200	2963.70	5341.00	8304.70	32050.00	23745.30	38.04
400	2963.70	10682.00	13645.70	64100.00	50454.30	17.90
600	2963.70	16023.00	18986.70	96150.00	77163.30	11.71
800	2963.70	21364.00	24327.70	128200.00	103872.30	8.70
1000	2963.70	26705.00	29668.70	160250.00	130581.30	6.92
1200	2963.70	32046.00	35009.70	192300.00	157290.30	5.74