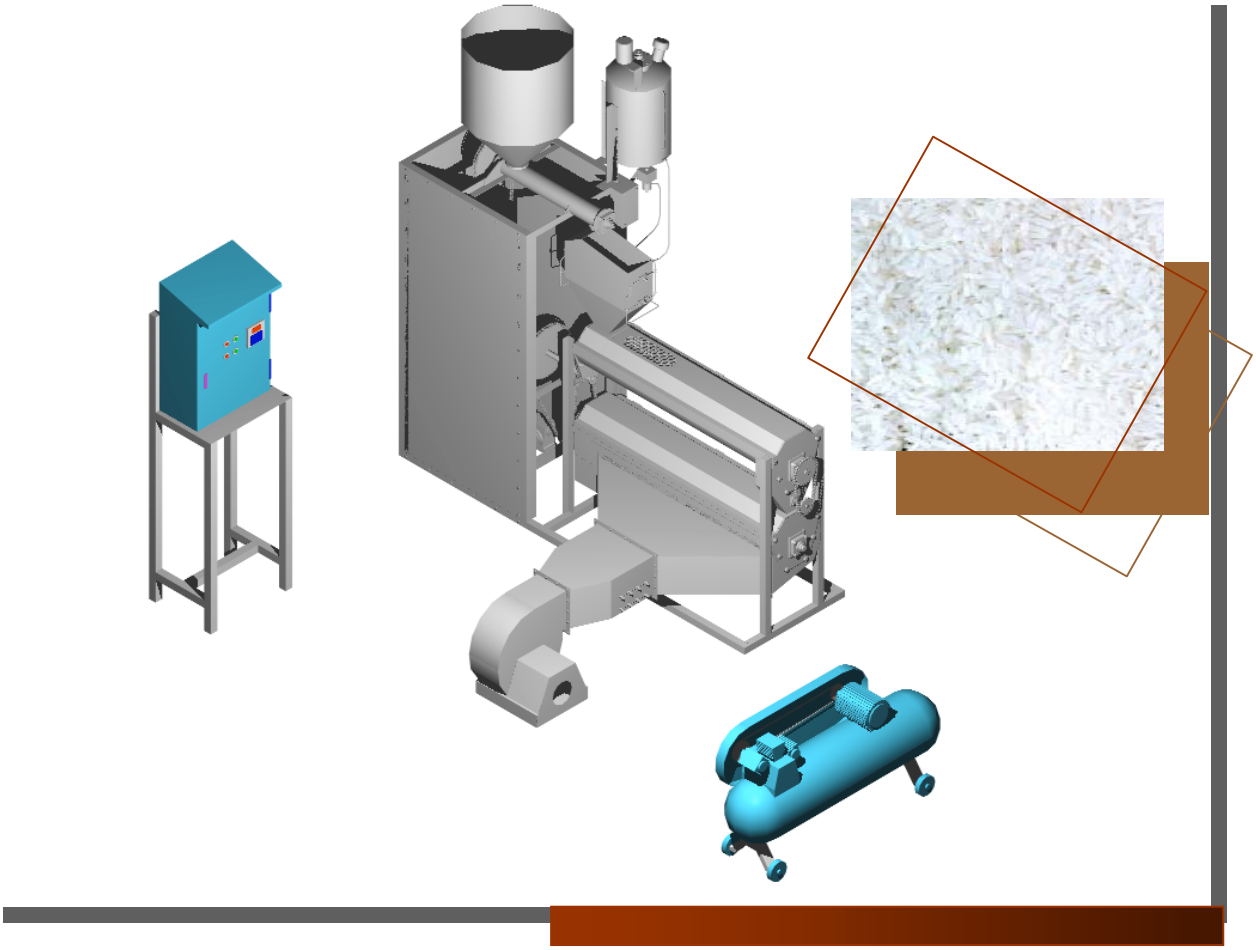
รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาเครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร



เลขที่สัญญา RDG4820031

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

โดย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มกราคม 2549

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาเครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร

เลขที่สัญญา RDG4820031

เสนอต่อ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
โดย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มกราคม 2549

รายชื่อคณะผู้ดำเนินการวิจัย

รศ.ดร.วินิต ชินสุวรรณ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	หัวหน้าโครงการ
รศ.ดร.วรรณา ตุลยธัญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	นักวิจัย

คำขอบคุณ

คณะผู้ดำเนินการวิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนสำหรับการศึกษานี้ พร้อมทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการนี้เป็นอย่างดี

วินิต ชินสุวรรณ

มกราคม 2549

สารบัญ

หน้า

รายชื่อคณะผู้ดำเนินการวิจัย i

คำขอบคุณ ii

สารบัญ iii

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร iv

เครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร

- *ความนำ* 1
- *วัตถุประสงค์ของโครงการ* 1
- *ผลที่จะเกิดขึ้นจากโครงการ* 1
- *แนวคิดในการออกแบบ* 2
- *ส่วนประกอบหลัก* 2
- *รายละเอียดแบบแปลน* 3
- *หลักการทำงาน* 3
- *รายละเอียดของเครื่อง (โดยสังเขป)* 4
- *ความสามารถในการทำงานเมื่อเคลือบไอโอดีนให้ข้าวสาร* 5
- *วิธีการใช้งาน* 6
- *การทำความสะอาด* 8
- *การประมาณค่าใช้จ่ายในการใช้งาน* 9

ภาคผนวก 12

ภาคผนวก ก. *รายละเอียดแบบแปลนเครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร* 13

ภาคผนวก ข. *ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารที่ผ่านการเคลือบ และดัชนีความขาวของข้าวสารที่ผ่านการเคลือบด้วยสภาวะต่าง ๆ* 29

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

เครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหารที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในขั้นตอนของการป้อนข้าวสาร การฉีดพ่นสารเคลือบ และการอบลดความชื้น โดยมีความสามารถในการทำงานประมาณ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ข้าวสารหลังการเคลือบแร่ธาตุอาหารและอบลดความชื้น มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากความชื้นเริ่มต้นเพียงประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) และมีปริมาณข้าวสารแตกหักประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ใช้เคลือบข้าวสาร 200 ตันต่อปี หรือใช้งานประมาณ 100 วันต่อปี ค่าใช้จ่ายในการใช้งานมีค่าประมาณ 480 บาทต่อตัน สำหรับกรณีที่ใช้งานเชิงพาณิชย์ และมีค่าประมาณ 300 บาทต่อตัน สำหรับกรณีที่มีผู้บริจาคเครื่องเพื่อการกุศล ทั้งนี้โดยไม่คิดรวมถึงค่าสารที่ใช้เคลือบ

นอกจากนี้แล้วเครื่องนี้ยังออกแบบให้สามารถปรับอัตราการป้อนต่างๆ ความเร็ว และอุณหภูมิของลมร้อน เพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์ยิ่งขึ้น สำหรับวัสดุที่ใช้สร้างส่วนใหญ่ใช้เหล็กแสตนเลส โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับชิ้นส่วนที่สัมผัสกับข้าวสารในทุกขั้นตอนของการเคลือบ ทั้งนี้เพื่อให้เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร และเพื่อให้แข็งแรงทนทาน

วินิต ชินสุวรรณ

มกราคม 2549

เครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร

ความนำ

การเคลือบเมล็ดข้าวด้วยสารพอลิเมอร์พร้อมสารอาหาร เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว วัตถุประสงค์หลักคือการเพิ่มวิตามินและแร่ธาตุในข้าวสาร เพราะข้าวสารที่ผ่านการขัดสีแล้ว วิตามินและแร่ธาตุจะถูกกำจัดออกไปพร้อมกับรำ การสูญเสียเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการสีข้าว การเสริมแร่ธาตุในข้าวสารสามารถทำได้โดยการนำข้าวที่สะอาดมาเคลือบด้วยเจลแป้งที่ผสมแร่ธาตุอาหารที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส แล้วจึงผ่านการทำให้แห้งโดยลมร้อน ทำให้ได้ข้าวสารที่มีแร่ธาตุอาหารติดอยู่กับเมล็ดข้าว ซึ่งมีการสูญเสียน้อยหลังจากการล้างน้ำหรือการหุงต้ม ทั้งนี้จากผลงานวิจัยเรื่อง การเพิ่มคุณภาพการสีโดยการใช้จุลธาตุบางชนิดและการเสริมธาตุไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก ในเมล็ดข้าวและผลิตภัณฑ์แป้งข้าว ทำให้ได้กรรมวิธีต่างๆ แต่ในการผลิตจริงระดับอุตสาหกรรม ยังไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากขาดเครื่องจักรกล ที่ฉีดพ่นเจลแป้งผสมแร่ธาตุอาหารลงบนเมล็ดข้าว พร้อมการอบแห้ง ซึ่งหากมีเครื่องมือดังกล่าวนอกจากจะทำการผลิตได้ปริมาณมากต่อครั้งแล้วยังเป็นจุดสำคัญที่จะช่วยให้เกิดการขยายผลในเชิงสาธารณะอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างเครื่องต้นแบบ สำหรับเคลือบเจลแป้งผสมแร่ธาตุบนเมล็ดข้าวสาร ซึ่งสามารถผลิตต่อเนื่องได้ไม่น้อยกว่า 100 กิโลกรัมข้าวสารต่อชั่วโมง

ผลที่จะเกิดขึ้นจากโครงการ

เครื่องเคลือบเจลแป้งบนเมล็ดข้าวสาร ขนาดการผลิตได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 100 กิโลกรัมข้าวสารต่อชั่วโมงทำงาน พร้อมแบบพิมพ์เขียว และคู่มือการใช้งานและบำรุงรักษา โดย

- การทำงานของเครื่องประกอบด้วยส่วนฉีดพ่นเจลแป้งเพื่อเคลือบเมล็ดข้าว และส่วนกาอบแห้งเมล็ดข้าว
- สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง
- วัสดุอุปกรณ์ตัวเครื่อง ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นสนิม และยอมรับได้ในอุตสาหกรรมอาหาร
- สามารถผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหารโดยการใช้เจลแป้งข้าว
- ผลิตภัณฑ์ข้าวเคลือบที่ได้มีคุณลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างจากข้าวสารปกติก่อนนำเข้าเครื่องมากนัก

แนวคิดในการออกแบบ

จากวัตถุประสงค์โครงการและข้อกำหนดของเครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหารที่จะสร้างขึ้น จึงกำหนดแนวคิดในการออกแบบให้ใช้เหล็กแสตนเลสในการสร้างชิ้นส่วนเพื่อให้เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร และใช้เกลียวลำเลียงที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของวัสดุได้ สำหรับการป้อนข้าวสารเพื่อฉีดพ่น การคลุกสาร และการอบแห้ง ทั้งนี้โดยออกแบบให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้แล้วยังออกแบบให้สามารถปรับอัตราการไหลของวัสดุและอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้อบลดความชื้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์มากยิ่งขึ้น เครื่องที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 เครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร

ส่วนประกอบหลัก

1) ถังบรรจุและเกลียวป้อน
2) ถังบรรจุสารพ่น
3) ห้องพ่นเคลือบสาร
4) ปั๊มลม
5) รางคลุก
6) รางอบลดความชื้น
7) ชุดเป่าลมร้อน
8) กลไกและต้นกำลังขับ
9) ชุดควบคุม

รายละเอียดแบบแปลน

เครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหารที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีรายละเอียดแบบแปลน ดังแสดงในภาคผนวก ก.

หลักการทำงาน

เกลียวป้อนซึ่งอยู่ใต้ถังบรรจุทำหน้าที่ป้อนวัสดุจากถังลงสู่ห้องพ่นเคลือบสารในอัตราที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ (สามารถปรับอัตราการป้อนได้) ในขณะที่หัวพ่นซึ่งอยู่ในห้องพ่นเคลือบสาร ทำหน้าที่พ่นสารที่ต้องการเคลือบไปยังวัสดุที่ไหลลงมา วัสดุที่ถูกพ่นเคลือบสารแล้วจะร่วงลงสู่รางคลุก ซึ่งเกลียวลำเลียงในรางคลุกทำหน้าที่คลุกเคล้าวัสดุที่ถูกพ่นเคลือบสารแล้ว พร้อมทั้งลำเลียงวัสดุดังกล่าวลงสู่รางอบลดความชื้น เกลียวลำเลียงในรางอบลดความชื้นทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุที่ถูกพ่นเคลือบสารแล้วไปยังช่องทางออก ในขณะที่ลมร้อนจากชุดเป่าลมร้อนทำหน้าที่ลดความชื้น วัสดุจากช่องทางออกจะเป็นวัสดุที่ถูกเคลือบสารที่ต้องการหลังจากลดความชื้นแล้ว

รายละเอียดของเครื่อง (โดยสังเขป)

รายการ	รายละเอียด
1. ถังบรรจุและเกลียวป้อน	ถังบรรจุขนาด 90 ลิตร เกลียวป้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. ระยะห่างระหว่างเกลียว 4.5 ซม.
2. ถังบรรจุสารพ่น	ถังบรรจุสารขนาด 30 ลิตร ภายในถังมีใบกวนสาร
3. ห้องพ่นเคลือบสาร	จำนวน 4 หัวพ่น อัตราการพ่น 18 ลิตร/ชั่วโมง (รวม 4 หัวพ่น) ที่ความดันลม 1.5 บาร์
4. ปั๊มลม	ปั๊มลมมาตรฐานที่จำหน่ายในท้องตลาด ความจุของถังลม 148 ลิตร ความดัน 20 กิโลกรัม/ตร.ซม. มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 กิโลวัตต์
5. รางคลุก	ความยาว 1.2 เมตร เกลียวลำเลียงขนาด 18 ซม. ระยะห่างระหว่างเกลียว 9 ซม.
6. รางอบลดความชื้น	ความยาว 1.2 เมตร เกลียวลำเลียงขนาด 18 ซม. ระยะห่างระหว่างเกลียว 9 ซม.
7. ชุดเป่าลมร้อน	พัดลมแบบหอยโข่ง ขนาด 60 ลบ.ม./นาที ที่ความเร็วรอบ 2,860 รอบต่อนาที มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 กิโลวัตต์ แท่งทำความร้อนขนาด 10.5 กิโลวัตต์
8. กลไกและต้นกำลังขับ	ถ่ายทอดกำลังโดยระบบโซ่และเฟือง มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ชุดเฟืองทด 1:10
9. ชุดควบคุม	สามารถควบคุมความเร็วรอบชุดขับเกลียวป้อน เกลียวลำเลียงของรางคลุก และเกลียวลำเลียงของรางอบลดความชื้นได้ สามารถควบคุมความเร็วพัดลมได้
10. รายละเอียดอื่นๆ	สามารถปรับ ● อัตราการป้อน ● อุณหภูมิอบลดความชื้น ● ความเร็วลมร้อน

ความสามารถในการทำงานเมื่อเคลือบไอโอดีนให้ข้าวสาร

ส่วนผสมของสารที่ใช้พ่น

- ✪ โปแตสเซียมไอโอเดท 0.33 กรัม (ไอโอดีน 0.196 กรัม)
- ✪ แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จำนวน 400 กรัม
- ✪ น้ำสะอาด 20 ลิตร

ข้าวสารที่นำมาเคลือบ

- ✪ ข้าวขาวคละ

ความสามารถในการทำงาน

- ✪ อัตราการทำงาน : มากกว่า 250 กิโลกรัม/ชม.
- ✪ ความชื้นที่เพิ่มขึ้นหลังการเคลือบ : ประมาณ 0.5 % (wb)
- ✪ ข้าวสารแตกหักหลังการเคลือบ : ประมาณ 1 %

ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารที่ผ่านการเคลือบ

การศึกษาปริมาณไอโอดีนในข้าวสารที่ผ่านการเคลือบด้วยอัตราการป้อน อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้อบแห้ง และปริมาณไอโอดีนที่เสริมระดับต่างๆ และดัชนีความขาวของข้าวสารที่ผ่านการเคลือบ มีผลแสดงในภาคผนวก ข.

วิธีการใช้งาน

วิธีการใช้งาน	ภาพการใช้งาน
1. เปิดสวิตช์ไฟฟ้าหลัก (A) เปิดสวิตช์พัดลม (B) และสวิตช์แท่งทำความร้อน (C) ของชุดเป่าลมร้อน โดยให้ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมมีค่าความถี่ 55.8 Hz	
2. ตั้งอุณหภูมิที่ชุดควบคุมอุณหภูมิ (D) ให้ทำงานที่ 48 องศาเซลเซียส เพราะเป็นอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมต่อการใช้อบลดความชื้นข้าว ปล่อยให้ลมร้อนเข้าสู่ระบบการทำงานของเครื่องเป็นเวลาประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในรางอบลดความชื้นค่อนข้างคงที่ในขณะทำงาน	
3. บรรจุสารที่ใช้พ่นลงในถังบรรจุสารพ่น โดยถังบรรจุสารมีความจุประมาณ 30 ลิตร	
4. เปิดสวิตช์มอเตอร์ชุดกวนสารพ่น เพื่อไม่ให้สารพ่นในถังบรรจุตกตะกอน (ถ้าจำเป็น)	

วิธีการใช้งาน (ต่อ)

วิธีการใช้งาน	ภาพการใช้งาน
5. บรรจุวัสดุที่ต้องการเคลือบสารลงในถังบรรจุ ซึ่งสามารถบรรจุข้าวสารได้ประมาณ 60 กิโลกรัม	
6. เปิดปั๊มลม และตั้งความดันลมในการพ่นเคลือบที่ 1.5 บาร์ ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลของสารที่ใช้พ่นรวม 4 หัวพ่น ประมาณ 18 ลิตร/ชั่วโมง	
7. เปิดวาล์วท่อส่งสารพ่น เพื่อให้สารที่ต้องการพ่นไหลเข้าสู่หัวพ่นในห้องพ่นเคลือบ	
8. เปิดสวิตช์มอเตอร์ชุดเกลียวป้อน (E) เพื่อให้เกลียวป้อนใต้ถังบรรจุป้อนวัสดุเข้าสู่ห้องพ่นเคลือบสาร โดยความถี่ที่ใช้ในการทำงานอยู่ที่ 56 Hz ซึ่งจะทำให้อัตราป้อนวัสดุอยู่ที่ประมาณ 260 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	

วิธีการใช้งาน (ต่อ)

วิธีการใช้งาน	ภาพการใช้งาน
9. ภายหลังทำตาม 8 ขั้นตอนแล้ว เครื่องเคลือบจะทำการเคลือบสารให้กับวัสดุ ขณะทำการเคลือบให้ผู้ปฏิบัติงานสังเกตหัวพ่นสาร หากสารที่ใช้พ่นมีสิ่งเจือปนอาจจะทำให้หัวพ่นเกิดการอุดตัน กรณีที่หัวพ่นอุดตันให้ผู้ปฏิบัติงานใช้มือกดปุ่มทางด้านหลังของหัวพ่น เพื่อทำความสะอาดหัวพ่น	
10. ในระหว่างการปฏิบัติงานควรตรวจสอบและเติมวัสดุและสารพ่นในถังบรรจุ เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง	
11. ข้าวสารหลังจากการเคลือบควรตากให้เย็นก่อนบรรจุลงภาชนะ	
12. หากต้องการหยุดการทำงานให้ปิดวาล์วท่อส่งสารพ่นก่อน และปล่อยให้เครื่องทำงานต่อจนกว่าข้าวจะไหลออกจากรางอบลดความชื้นจนหมด แล้วจึงปิดสวิตช์แท่งทำความร้อน พัดลม สวิตช์มอเตอร์ชุดเกลียวป้อน และสวิตช์ไฟฟ้าหลัก	

การทำความสะอาด

1) นำสารที่ใช้พ่นส่วนที่เหลือออกจากถังบรรจุ แล้วเติมน้ำสะอาดลงในถังบรรจุสารพ่น พร้อมทั้งเปิดสวิตช์มอเตอร์ชุดกวนสารพ่นเพื่อล้างถังบรรจุสารพ่น การล้างถังบรรจุสารพ่นควรล้างอย่างน้อย 2 ครั้ง
2) นำน้ำสะอาดเติมลงถังบรรจุสารพ่นและเปิดวาล์วท่อส่งสารพ่น พร้อมทั้งเปิดปั๊มลมเพื่อให้ความดันลมนำน้ำเข้าไปล้างสารพ่นที่ยังตกค้างอยู่ภายในท่อ
3) ถอดหัวพ่นในห้องพ่นเคลือบทั้ง 4 หัว ออกนำมาล้างให้สะอาดและตากให้แห้ง รวมทั้งทำความความสะอาดห้องพ่นเคลือบให้สะอาด
4) เปิดฝารางคลุกและรางอบลดความชื้นเพื่อนำข้าวสารที่ตกค้างภายในออก และทำความสะอาดรางคลุกให้สะอาด
5) ประกอบชิ้นส่วนที่ทำการล้างให้เหมือนเดิมพร้อมใช้งานในครั้งต่อไป

การประมาณค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

เนื่องจากเครื่องเคลือบสารนี้สามารถใช้เคลือบสารต่างๆ ได้หลากหลายในปริมาณการเคลือบที่แตกต่างกันให้แก่ข้าวสาร ซึ่งสารที่ใช้เคลือบมีราคาที่ต่างกัน ดังนั้น การประมาณการค่าใช้จ่ายในการทำงานจึงไม่รวมถึงค่าสารเคลือบ ซึ่งสามารถประมาณค่าใช้จ่ายแยกออกจากกันได้ เมื่อทราบสารและปริมาณที่จะใช้เคลือบ การประมาณการค่าใช้จ่ายนี้จะประมาณการในหน่วยบาทต่อตันที่ใช้งานในแต่ละปีโดยขึ้นอยู่กับปริมาณข้าวสารที่จะเคลือบต่อปี สำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์ และการใช้งานเพื่อการกุศล (มีผู้บริจาคเครื่อง) ซึ่งมีรายละเอียดของการประมาณการดังนี้

กำหนดให้

U = ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน (บาท/ตัน)

A = ปริมาณข้าวสารที่เคลือบต่อปี (ตัน/ปี)

P = ราคาแรกซื้อของเครื่องเคลือบข้าวสาร (บาท)

Y = อายุการใช้งาน (ปี)

i = อัตราดอกเบี้ย (%ต่อปี)

R = ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/ปี)

L = อัตราค่าจ้างแรงงาน (บาท/คน-วัน)

N = จำนวนแรงงานที่ต้องการใช้ในการทำงาน (คน)

E = กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในการทำงาน (กิโลวัตต์)

e = อัตราค่ากระแสไฟฟ้า

C = ความสามารถในการทำงานของเครื่องเคลือบสาร (ตัน/วัน)

เมื่อใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา และประมาณราคาเมื่อหมดอายุการใช้งานเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ของราคาแรกซื้อ พร้อมทั้งกำหนดให้ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง สามารถเขียนสมการของค่าใช้จ่ายในการใช้งานในแต่ละปีได้ดังนี้

ในกรณีที่ใช้งานเชิงพาณิชย์ :

$$U = \frac{P}{A}\left((0.9/Y) + 0.55i\right) + \frac{R}{A} + \frac{1}{C}\left(LN + 8Ee\right) \qquad \text{.....(1)}$$

ในกรณีที่มีผู้บริจาคเครื่องเพื่อการกุศล:

$$U = \frac{R}{A} + \frac{1}{C}\left(LN + 8Ee\right) \qquad \text{.....(2)}$$

เมื่อใช้ค่าต่างๆ โดยประมาณสำหรับตัวแปรในสมการที่ 1 และ 2 ดังต่อไปนี้

$$U = \frac{2,000}{A} + 291$$

P = 400,000 บาท ซึ่งเป็นราคาเครื่องโดยประมาณเมื่อมีการผลิต

Y = 15 ปี ซึ่งเป็นอายุใช้งานโดยประมาณเมื่อคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ในการสร้าง ซึ่งเป็นเหล็กแสตนเลส และไม่มีชิ้นส่วนที่ชำรุดสึกหรอได้ง่าย

i = 5.50 % ต่อปี ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร โดยเป็นอัตราที่ค้นหาจาก Web Site ของธนาคาร เมื่อเดือน มกราคม 2549 สำหรับลูกค้าเกษตรกรรายคนชั้นดีเลิศ

R = 2,000 บาท/ปี ซึ่งเป็นค่าประมาณการโดยพิจารณาจากชิ้นส่วนต่างๆที่ทำจากเหล็กแสตนเลส ซึ่งสึกหรอได้ยากและไม่มีกลไกที่ต้องบำรุงรักษามาก

C = 2 ตัน/วัน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ

L = 150 บาท/คน-วัน ซึ่งเป็นอัตราค่าจ้างแรงงานทั่วไป

N = 2 คน ซึ่งเป็นจำนวนแรงงานที่เพียงพอต่อการปฏิบัติงาน

E = 12.5 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นค่าประมาณที่ได้จากการทดสอบ

e = 2.82 บาท/กิโลวัตต์-ชม. ซึ่งเป็นอัตราที่ค้นหาจาก Web Site ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เมื่อเดือน มกราคม 2549

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนสมการของค่าใช้จ่ายในการใช้งานในแต่ละปีที่แสดงในสมการที่ 1 และ 2 ได้ใหม่ดังแสดงในสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

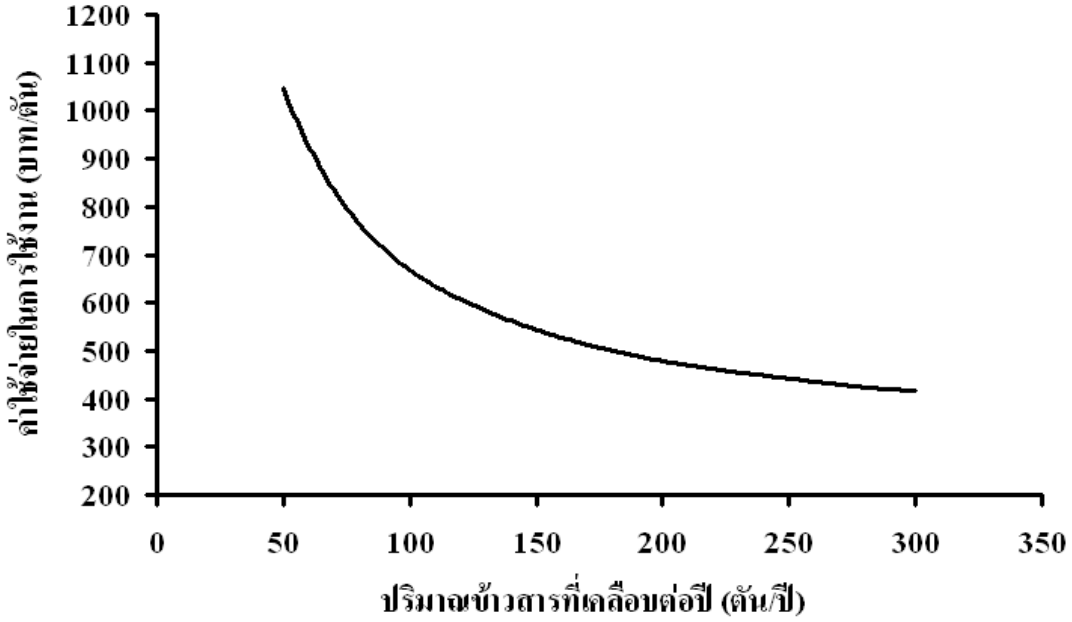
ในกรณีที่ใช้งานเชิงพาณิชย์ :

$$U = \frac{38,100}{A} + 291 \qquad \ldots\ldots(3)$$

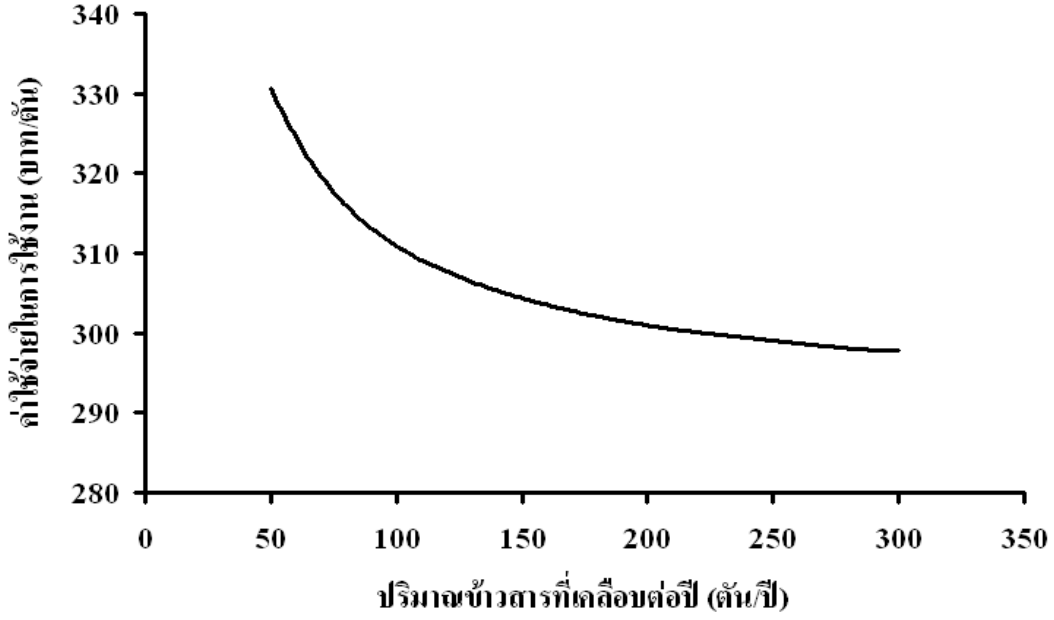
ในกรณีที่มีผู้บริจาคเครื่องเพื่อการกุศล :

……(4)

จากสมการที่ 3 และ 4 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งาน (บาท/ตัน) และปริมาณข้าวสารที่เคลือบต่อปี (ตัน/ปี) ในกรณีที่ใช้งานเชิงพาณิชย์และในกรณีที่มีผู้บริจาคเครื่องเพื่อการกุศลได้ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายในการใช้งาน มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกตามปริมาณข้าวสารที่เคลือบต่อปี จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ ในกรณีที่เคลือบข้าวสาร 200 ตันต่อปีหรือทำงานปีละ 100 วัน ค่าใช้จ่ายในการทำงานเท่ากับ 482 บาทต่อตัน และ 301 บาทต่อตัน สำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์และการใช้งานเมื่อมีผู้บริจาคเครื่องเพื่อการกุศลตามลำดับ



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานและปริมาณข้าวสารที่เคลือบต่อปี กรณีที่ใช้งานเชิงพาณิชย์

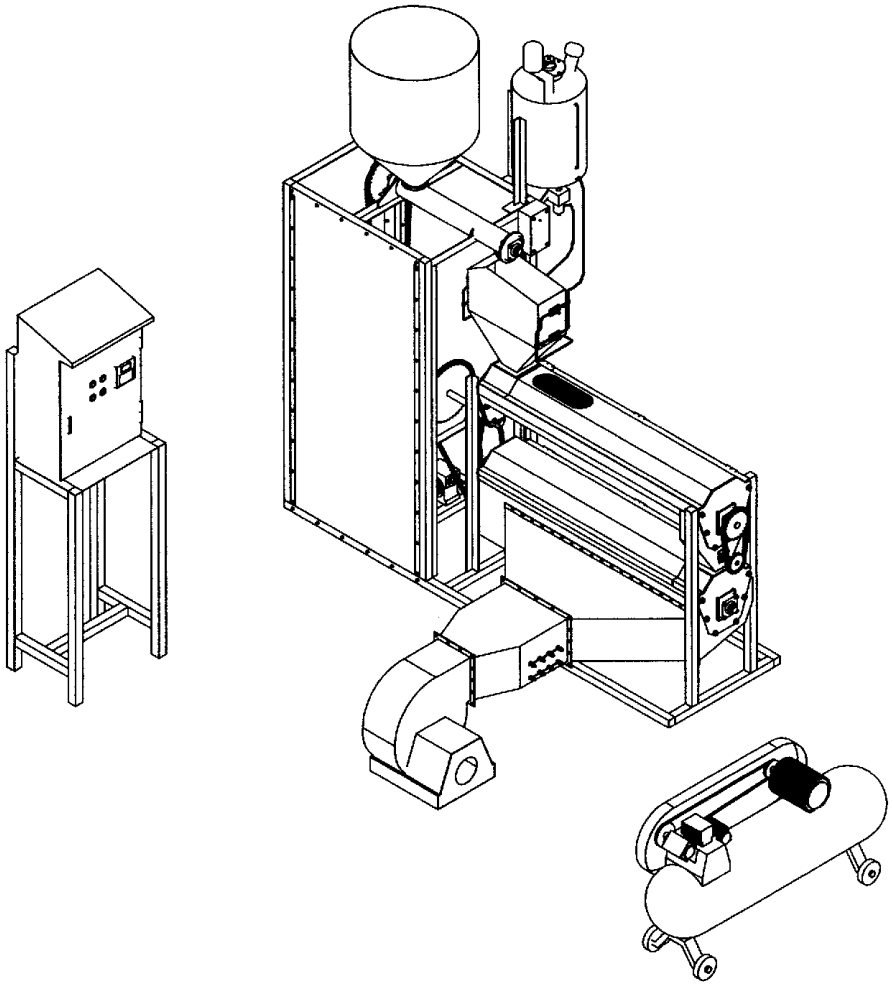


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานและปริมาณข้าวสารที่เคลือบต่อปี กรณีที่มีผู้บริจาคเครื่องเพื่อการกุศล

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดแบบแปลนเครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร



Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Darwing No.

Scale : -		Name	Date	Department of Agricultural Engineering
	Drawn		03/01/49	
Gen Tolerances ISO2768 :	Checked			Khon Kaen University
Fitting	Allowance	Title : เครื่องผลิตข้าวเคลือบแร่ธาตุอาหาร		Darwing No. MC - 01